

# **Dylanwad llifoedd isel ar bysgod y *Salmo* a'u hysglyfaeth, y macroinfertebratau.**

Traethawd ymchwil â gyflwynir er gradd Doethur mewn  
Athroniaeth

gan

Ifan Bryn Jâms, BSc. (Anrhydedd)



**Ysgol y Biowyddorau**

**Prifysgol Caerdydd**

**2017**

## **DATGANIAD**

Nid yw'r gwaith hwn wedi ei gyflwyno fel testun ar gyfer unrhyw radd neu ddyfarniad arall o'r Brifysgol hon neu unrhyw brifysgol neu man addysgol arall. Nid yw chwaith yn cael ei gyflwyno ar y cyd fel ymgeisyddiaeth ar gyfer unrhyw radd neu ddyfarniad arall.

Llofnodwyd ..... (ymgeisydd) Dyddiad .....

## **GOSODIAD 1**

Caiff y traethawd hwn ei gyflwyno yn gyflawniad rhannol o'r gofynion am radd PhD.

Llofnodwyd ..... (ymgeisydd) Dyddiad .....

## **GOSODIAD 2**

Mae'r traethawd hwn yn ganlyniad fy ngwaith / ymchwil annibynnol, ac eithrio lle caiff ei ddatgan fel arall, ac nid yw'r traethawd wedi ei olygu gan drydydd parti tu hwnt i'r hyn â ganiateir gan Bolisi Prifysgol Caerdydd ar Ddefnydd Golygyddion Trydydd Parti gan Fyfyryr Gradd Ymchwil. Caiff ffynhonnellau eraill eu cydnabod drwy gyfeiriadau diamwys. Fy naliadau i y mynegir.

Llofnodwyd ..... (ymgeisydd) Dyddiad .....

## **GOSODIAD 3**

Rhof ganiatâd i gynnwys y traethawd, o'i dderbyn, fod ar gael ar-lein yng nghronfa Mynediad Agored y Brifysgol a benthyciadau rhyng-lyfrgellol, ac i'r teitl a'r grynodedb fod ar gael i sefydliadau allanol.

Llofnodwyd ..... (ymgeisydd) Dyddiad .....

## **GOSODIAD 4: GWAHARDDIAD CYRCHU EISOES WEDI EI GYTUNO**

Rhof ganiatâd i gynnwys y traethawd, o'i dderbyn, fod ar gael ar-lein yng nghronfa Mynediad Agored y Brifysgol a benthyciadau rhyng-lyfrgellol yn dilyn terfyniad gwaharddiad cyrchu eisoes wedi ei gytuno gan y Pwyllgor Safonau ac Ansawdd Academiaidd.

Llofnodwyd ..... (ymgeisydd) Dyddiad .....

## Cydnabyddiaeth

Braf yw cael estyn diolch ffurfiol i “*supergroup*” byd y goruchwylwyr doethurol! Diolchgar fyddai fyth i Siân, Isabelle a Hefin am y cyfle i ddilyn y gwaith ymchwil hwn, eu harbenigedd gwyddonol a’u cyfeillgarwch. Buodd arweiniad Steve Ormerod a’r diweddar John Morgan o fudd mawr wrth ddatblygu’r testun yn ogystal.

Mawr yw’n nyled i’r llu o bobl sydd wedi cymhorthi â’r broses o gasglu samplau o’r maes, a’u dadansoddi yn y labordy: Aimee Holborow, Alex King, Ankita Sinha, April Howell, Bentley Halpin, Berwyn Ifor, Caitlin Searle, Claudia Martin, Dafydd Jones, Dayna Lea, Douglas Branch, Huw Beckett, Iwan Garmon, Iwan Williams, Joseff Mason, Matt Nicholls, Megan Williams, Norhisham Razi, Owen Wright, Rosie Tiley a Steffan Samuel. Gwerthfawrogaf gyfraniad Dŵr Cymru i’r prosiect hwn. Dyma gwmni sydd wirioneddol am ei gwsmeriaid ac eu hamgylchedd. Rwy’n ddiolchgar i aelodau staff niferus Dŵr Cymru am eu cymorth a’u hagwedd enghreifftiol. Diolchaf Alan Carpenter a Mike Sidaway am eu hamser a’u harbenigedd yn y maes, a Bill Beaumont a Dylan Roberts am eu haddysg o’r dull electrobysgota a’u cymorth ymarferol. Diolch yn fawr hefyd i Tegau Andrews am rannu ei harbenigedd terminolegol ac i Elizabeth Frances Williams (Nain) am ei gwaith teipio trylwyr.

Trysoraf y trafodaethau ecolegol ac ystadegol a gafwyd â Caitlin Pearson, Carsten Müller, Cayetano Gutiérrez-Cánovas, Cristina Canhoto, Don A’Bear, Fred Windsor, Hugh Feeley, Ian Vaughan, Marian Pye, Rob Thomas, Sarah Johnston, Steve Thomas, Tom Crowther, Tom Worthington ac Willow Smallbone. Estynir diolch hefyd i Dan Perkins a Katrin Layer-Dobra am rannu hafaliadau mathemategol. Yn ategol i’r sawl y enwir eisoes, hoffwn ddiolch hefyd am gyfeillgarwch a chymorth Dave Stanton, Emma Gilmartin, Isa-Rita Russo, Jade O’Leary, James Vafidis, Katherine Dunkley, Laura Evans, Luke Evans, Matt Dray, Mike Reynolds, Rhian Newman a Rhidian Thomas. Diolch i hogiau’r tŷ hefyd: Dafydd Meirion, Dewi Foulkes a Dylan Rees, fy chwaer, Greta Fflur, a’r rhieni, Gwen a Gareth, am eu cefnogaeth.

Mae cyflwyno’r traethawd hwn yn cyflawni cymal olaf fy addysg ffurfiol, addysg yr wyf wedi cael y ffrind o’i derbyn oll drwy’r Gymraeg. Diolchaf y Coleg Gymraeg Cenedlaethol am y cyllid a’r cymorth, a Phrifysgol Caerdydd am y gefnogaeth i gwblhau’r cymal olaf hwn. Mae’r astudiaeth yn rhan o Gonsortium rhyngddisgyblaethol DURESS (Diversity in Upland Rivers for Ecosystem Service Sustainability; Y Cyngor Ymchwil Amgylcheddol Naturiol).

## Cynnwys

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Pennod 1: Cyflwyniad cyffredinol</b> .....   | <b>1</b>  |
| 1.1.      | Pysgodfa'r Ddaear a'r salmonidau .....  | 1         |
| 1.2.      | Hinsawdd newidiol a'r gylchred hydrolegol .....   | 3         |
| 1.3.      | Amcanion ymchwil .....  | 5         |
| <b>2.</b> | <b>Pennod 2: Adolygiad llenyddol: Dylanwad llif isel ar bariaid salmonid (<i>Salmo trutta</i> L. a <i>Salmo salar</i> L.)</b> .....                 | <b>8</b>  |
| 2.1.      | Crynodeb .....  | 8         |
| 2.2.      | Cyflwyniad .....  | 8         |
| 2.3.      | Pariaid mewn amgylchedd llifeiriol .....  | 12        |
| 2.4.      | Macroinfertebratau fel adnodd gynhaliol .....   | 13        |
| 2.5.      | Ymatebion ymddygiadol pariaid <i>S. salar</i> a <i>S. trutta</i> i lifoedd isel .....   | 15        |
| 2.6.      | Ymatebion poblogaethol pariaid <i>S. salar</i> a <i>S. trutta</i> i lifoedd isel .....  | 16        |
| 2.6.1.    | <i>Rheoliad dwysedd-ddibynnol</i> .....   | 17        |
| 2.6.2.    | <i>Parhad dwysedd-annibynnol</i> .....  | 20        |
| 2.7.      | Casgliad .....  | 21        |
| <b>3.</b> | <b>Pennod 3: Dargadwedd brithyllod (<i>Salmo trutta</i> L.) ucheldirol a sefydlogrwydd eu hadnodd ysglyfaethol o dan leihad llif arbrofol</b> ..... | <b>24</b> |
| 3.1.      | Crynodeb .....  | 24        |
| 3.2.      | Cyflwyniad .....  | 24        |
| 3.3.      | Methodoleg .....  | 27        |
| 3.3.1.    | <i>Y safle</i> .....  | 27        |
| 3.3.2.    | <i>Dyluniad arbrofol</i> .....  | 28        |
| 3.3.3.    | <i>Mesur effeithiolrwydd y driniaeth</i> .....  | 30        |
| 3.3.4.    | <i>Samplu'r pysgod</i> .....  | 30        |
| 3.3.5.    | <i>Samplu'r macroinfertebratau</i> .....  | 31        |
| 3.3.6.    | <i>Dadansoddiad ystadegol</i> .....   | 31        |
| 3.4.      | Canlyniadau .....   | 33        |
| 3.4.1.    | <i>Y driniaeth</i> .....  | 33        |
| 3.4.2.    | <i>Ymateb brithyllod</i> .....  | 34        |
| 3.4.3.    | <i>Ymateb ysglyfaeth macroinfertebrataidd</i> .....   | 35        |
| 3.5.      | Trafodaeth .....  | 37        |
| 3.5.1.    | <i>Gwerthusiad o'r fethodoleg</i> .....   | 37        |
| 3.5.2.    | <i>Ymatebion brithyllod a'u hysglyfaeth</i> .....   | 38        |
| 3.6.      | Casgliad .....  | 40        |
| <b>4.</b> | <b>Pennod 4: Llif is hirdymor yn gysylltiedig â chynhwysedd bioegniol is mewn afon Gymreig</b> .....  | <b>41</b> |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.      | Crynodeb.....   | 41        |
| 4.2.      | Cyflwyniad.....   | 41        |
| 4.3.      | Methodoleg.....   | 45        |
| 4.3.1.    | <i>Y safle</i> .....  | 45        |
| 4.3.2.    | <i>Dyluniad arbrofol</i> .....  | 46        |
| 4.3.3.    | <i>Mesur effeithiolrwydd y driniaeth</i> .....  | 46        |
| 4.3.4.    | <i>Samplu'r biota</i> .....   | 47        |
| 4.3.5.    | <i>Dadansoddiad ystadegol</i> .....   | 48        |
| 4.4.      | Canlyniadau.....  | 49        |
| 4.4.1.    | <i>Y driniaeth llif</i> .....   | 49        |
| 4.4.2.    | <i>Ymatebion y pysgod</i> .....   | 50        |
| 4.4.3.    | <i>Macroinfertebratau</i> .....   | 56        |
| 4.4.4.    | <i>Deunydd organig</i> .....  | 60        |
| 4.5.      | Trafodaeth.....   | 60        |
| 4.6.      | Casgliad.....   | 63        |
| <b>5.</b> | <b>Pennod 5: Ymwrthedd gweithred ecosystem nantyddol ucheldirol mewn sychder eithafol: Arbrawf mewn mesocosmau rhaeadrol unigryw.</b> ..... | <b>64</b> |
| 5.1.      | Crynodeb.....   | 64        |
| 5.2.      | Cyflwyniad.....   | 64        |
| 5.3.      | Methodoleg.....   | 66        |
| 5.3.1.    | <i>Safle'r astudiaeth</i> .....   | 66        |
| 5.3.2.    | <i>Dyluniad arbrofol</i> .....  | 67        |
| 5.3.3.    | <i>Mesur y driniaeth</i> .....  | 70        |
| 5.3.4.    | <i>Mesur dwysedd, maint cyrff a biomas infertebratau, a chasglu deunydd organig</i> .....   | 71        |
| 5.3.5.    | <i>Dadansoddiad ystadegol</i> .....   | 72        |
| 5.4.      | Canlyniadau.....  | 75        |
| 5.4.1.    | <i>Cyflyrau anfiotig y sychder</i> .....  | 75        |
| 5.4.2.    | <i>Adnoddau organig craidd</i> .....  | 78        |
| 5.4.3.    | <i>Strwythur cymunedol: Y benthos</i> .....   | 79        |
| 5.4.4.    | <i>Strwythur maint y benthos</i> .....  | 84        |
| 5.4.5.    | <i>Stoc biomas infertebrataidd</i> .....  | 87        |
| 5.4.6.    | <i>Allforiant infertebratau: strwythur cymunedol y drifft</i> .....   | 88        |
| 5.5.      | Trafodaeth.....   | 92        |
| 5.6.      | Casgliad.....   | 96        |
| <b>6.</b> | <b>Pennod 6: Cyfyngiadau bioegniol sychder eithafol mewn rhywogaeth enghreifftiol: y brithyll brown.</b> .....                              | <b>97</b> |
| 6.1.      | Crynodeb.....   | 97        |
| 6.2.      | Cyflwyniad.....   | 97        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 6.3.       | Methodoleg.....                               | 101        |
| 6.3.1.     | <i>Dyluniad arbrofol</i> .....                | 101        |
| 6.3.2.     | <i>Cyflwyno a monitro brithyllod</i> .....    | 101        |
| 6.3.3.     | <i>Samplu a phrosesu</i> .....                | 102        |
| 6.3.4.     | <i>Clustnodi nodweddion gweithredol</i> ..... | 102        |
| 6.3.5.     | <i>Dadansoddiad ystadegol</i> .....           | 103        |
| 6.4.       | Canlyniadau .....                             | 104        |
| 6.5.       | Trafodaeth .....                              | 113        |
| 6.6.       | Casgliad .....                                | 116        |
| <b>7.</b>  | <b>Pennod 7: Trafodaeth gyffredinol</b> ..... | <b>117</b> |
| 7.1.       | Synthesis.....                                | 117        |
| 7.2.       | Cyfyngiadau .....                             | 121        |
| 7.3.       | Casgliad .....                                | 123        |
| <b>8.</b>  | <b>Cyfeiriadaeth</b> .....                    | <b>125</b> |
| <b>9.</b>  | <b>Talfyriadau</b> .....                      | <b>150</b> |
| <b>10.</b> | <b>Atodiadau</b> .....                        | <b>151</b> |

## Crynodeb

O holl bysgod y Ddaear, anodd yw adnabod dwy rywogaeth sydd wedi eu hastudio cystal â'r brithyll brown (*Salmo trutta* L.) ac eog yr Iwerydd (*Salmo salar* L.). Cyflawna'r pysgod hyn swyddogaethau ecolegol ac economaidd sylweddol. Mae'n syndod, felly, nad oes dealltwriaeth fanylach o oblygiadau newid hinsawdd byd-eang ar y bysgodfa *Salmo*. Wrth i'r blaned gynhesu, a'r gylchred hydrolegol newid, disgwylir cynnydd yng ngerwinder ac amledd achosion o lif isel yn nentydd ac afonydd tiriogaeth gynhenid y pysgod hyn. Bwlch pendant ac amlwg yn y sail wybodaeth yw dealltwriaeth o ddylanwad llifoedd isel ar y brithyll a'r eog.

Defnyddir dulliau gwreiddiol (astudiaethau mewn dyfroedd llifeiriol naturiol) a chyfleusterau arbrofol arloesol (mesocosmau rhaeadrol ucheldirol) i brofi dilysrwydd y ddamcaniaeth gyffredinol fod lleihad llif yn dylanwadu'n negyddol ar boblogaethau *Salmo* spp. ifanc, a'u hysglyfaeth, y macroinfertebratau. Ceir awgrym nad yw'r pysgod yn ceisio ffoi dylanwad llif isel cymedrol drwy symud i ddyfroedd dyfnach. Gwelwyd lleihad yn niferoedd pysgod o dan gyflyrau llif isel; roedd hyn yn gysylltiedig â chynhaliaeth maethol dlotach. Yn wahanol i leihad llif cymedrol, cyflwyna sychder eithafol gasgliad o heriau amgen i fiota dyfrol, gan gynnwys tymheredd uwch a chrynodiad ocsigen is; cyflyrau sy'n angheuol i bysgod y Salmonidae (Cuvier). Yn yr astudiaeth hon canfyddir fod sychder eithafol hefyd yn achosi crebachiad i gynhaliaeth maethol pysgodfa. O'r pysgod â lwydda i oroesi sychder, cofnodwyd cyfraddau twf is mewn arbrawf rhagarweiniol.

Fel neges gyffredinol, arwain llifoedd is mewn nentydd ac afonydd at reolaeth lymach o boblogaethau *Salmo* ifanc, yn enwedig o safbwynt eu cynhaliaeth maethol. Ymresymir y bydd lleihad yn nifer yr aelodau a ffitrwydd y garfan hon o bysgod yn debygol o fod â goblygiadau pellach ar gyfer recriwtiad pysgod hyn.

## Ffigyrau

|   |    |
|---|----|
| Ffigwr 2.1: Cylchredau bywyd symledig y brithyll brown ac eog yr Iwerydd.....                                   | 11 |
| Ffigwr 2.2 Macroinfertebratau dyfroedd llifeiriol.....  | 14 |
| Ffigwr 3.1: Lleoliad a dyluniad arbrawf lleihad llif .....  | 29 |
| Ffigwr 3.2: Lleihad llif arbrofol yn dylanwadu dwyseddau brithyllod yn ôl cyfaint fwy nag arwynebedd gwlyb..... | 35 |
| Ffigwr 3.3: Dwysedd a biomas ysglyfaeth fenthig yn sefydlog dan leihad llif .....                               | 36 |
| Ffigwr 3.4: Sefydlogrwydd cyfansoddiad benthos yn wyneb aflonyddiad llif isel arbrofol.....                     | 36 |
| Ffigwr 3.5: Cynllun system bwmpio arbrawf lleihad llif .....  | 38 |
| Ffigwr 4.1: Ymatebion posibl salmonidau nantyddol .....   | 42 |
| Ffigwr 4.2: Lleoliad Bryn Aled .....  | 47 |
| Ffigwr 4.3: Dwyseddau <i>Salmo</i> ifanc yn is mewn parth afon dan leihad llif arbrofol.....                    | 50 |
| Ffigwr 4.4: Cyfraddau twf tebyg brithyllod parthau rheoli a llif isel .....                                     | 53 |
| Ffigwr 4.5: Cyfraddau twf tebyg eogiaid parth rheoli a pharth llif isel.....                                    | 54 |
| Ffigwr 4.6: Dosraniad maint a thwf cymedrig poblogaethau penlletwad .....                                       | 55 |
| Ffigwr 4.7: Sefydlogrwydd dwyseddau infertebrataidd .....   | 57 |
| Ffigwr 4.8: Mâs cymedrig ysglyfaeth pysgod yn is dan lif isel.....  | 58 |
| Ffigwr 4.9: Amrywiant rhyng-sampl uchel deunydd organig .....   | 60 |
| Ffigwr 5.1: Lleoliadau mesocosmau arbrofol Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne.....                                   | 68 |
| Ffigwr 5.2: Dyluniad arbrofol .....   | 69 |
| Ffigwr 5.3: Nodweddion y sychder: Dŵr cynnes, bas, llonydd a fwy hypocsig .....                                 | 77 |
| Ffigwr 5.4: Stoc deunydd organig benthig mewn sychder .....   | 78 |
| Ffigwr 5.5: Ymraniad deubarthol strwythur cymunedol yn ôl statws asid / amniwtral nentydd .....                 | 80 |
| Ffigwr 5.6: Newid graddol ac adferiad sydyn cymuned infertebrataidd.....  | 82 |
| Ffigwr 5.7: Dylanwad tymhorol a lleoliad yn hwy nag effaith sychder ar nifer infertebratau .....                | 83 |
| Ffigwr 5.8: Maint cyrff infertebratau benthig (data cyfunol y pedwar bloc).....                                 | 85 |
| Ffigwr 5.9: Maint cyrff infertebratau benthig yn ôl bloc .....  | 85 |
| Ffigwr 5.10: Strwythur maint cymuned infertebrataidd ucheldirol yn wydn i aflonyddiad sychder.....              | 86 |
| Ffigwr 5.11: Stoc biomas benthos macroinfertebrataidd yn sefydlog mewn sychder.....                             | 87 |
| Ffigwr 5.12: Cymedr cyfradd noflithro tacsonau yn is yn ystod sychder .....                                     | 91 |
| Ffigwr 5.13: Cymedr dwysedd noflithro tacsonau yn uwch yn ystod sychder .....                                   | 91 |
| Ffigwr 5.14: Tueddfryd infertebratau i noflithro yn uwch yn ystod sychder .....                                 | 91 |



|   |     |
|---|-----|
| Ffigwr 5.15: Mesocosmau iseldirol Labordy Afon y <i>Freshwater Biological Association</i> .....             | 93  |
| Ffigwr 6.1: Perthynas tymheredd a crynodiad O <sub>2</sub> â buddsoddiad egni salmonidau .....              | 100 |
| Ffigwr 6.2: Pedwar grŵp o infertebratau yn ôl tebygrwydd nodweddion gweithredol .....                       | 103 |
| Ffigwr 6.3: Lleihad yn argaeledd ysglyfaeth yn ystod sychder.....   | 105 |
| Ffigwr 6.4: Cyfraniad infertebratau tirol yn fwy mewn dalgylchoedd asidaidd nag amniwtral .....             | 106 |
| Ffigwr 6.5: Cyfraniad infertebratau tirol a dyfrol i'r sail maethol fel nifer eitemau ysglyfaeth.....       | 107 |
| Ffigwr 6.6 Cyfraniad infertebratau tirol a dyfrol i gyfanswm biomas y sail ysglyfaethol.....                | 108 |
| Ffigwr 6.7: Cyfraniad niferoedd y pedwar grŵp o infertebratau a adnabuwyd yn ôl nodweddion gweithredol..... | 109 |
| Ffigwr 6.8: Cyfraniad biomas y pedwar grŵp o infertebratau a adnabuwyd yn ôl nodweddion gweithredol .....   | 110 |
| Ffigwr 6.9: Amledd ymddygiad fforio brithyllod .....  | 111 |
| Ffigwr 6.10: Cyfradd twf cyfyngiedig pariad mewn sychder .....  | 112 |

## Tablau

|   |     |
|---|-----|
| Tabl 3.1: Brithyll Nant Sere .....  | 34  |
| Tabl 3.2: Nifer a chanlyniadau dadansoddiad amlnewidyn y gymuned fenthig .....                                      | 37  |
| Tabl 4.1: Maint salmonidau parth rheoli a llif isel yn debyg .....  | 51  |
| Tabl 4.2: Cynhyrchiant is salmonidau Carfan 0+ yn gysylltiedig â dwyseddau is yn hytrach na chyfraddau twf is ..... | 52  |
| Tabl 4.3: Modelau llinol cyffredinol yn mynegi sefydlogrwydd dwyseddau infertebrataidd.....                         | 58  |
| Tabl 4.4: Modelau llinol cyffredinol yn mynegi lleihad maint corff ysglyfaeth infertebrataidd.....                  | 59  |
| Tabl 4.5: Crynodeb o ddwyseddau, cymedrau màs a biomas byw adnodd ysglyfaethol pysgodfa Afon Aled .....             | 59  |
| Tabl 5.1: Cemeg y dŵr.....  | 75  |
| Tabl 5.2: Nodweddion y sychder.....   | 76  |
| Tabl 5.3: Rhestr macroinfertebratau'r drifft.....   | 88  |
| Tabl 6.1: Mesuriadau o dwf brithyllod.....  | 112 |

# 1. Pennod 1: Cyflwyniad cyffredinol

## 1.1. Pysgodfa'r Ddaear a'r salmonidau

Yn gyfredol, mae dros 7.5 biliwn o bobl ar y Ddaear. Disgwylir i'r rhif hwn gynyddu i 8 biliwn erbyn 2024, ac i 10 biliwn erbyn 2056 (Worldometers 2017a). Un o brif heriau'r boblogaeth hon fydd bwydo'i phobl. Ceir tystiolaeth o ddibyniaeth hynafiaid pobl modern ar bysgod fel adnodd maethol o olion ffosil a ffurfiwyd 1.95 miliwn o flynyddoedd yn ôl (Braun *et al.* 2010). Heddiw, ceir trafodaethau am symudiad i'r Anthroposen, ac mae rhwydwaith gysylltiol dynoliaeth yn prysur ffurfio Pangaea Newydd (Pearce 2017): uwch-gyfanidir rhithol lle caiff nwyddau, gan gynnwys bwyd, eu cludo'n sydyn ledled y byd. Pob blwyddyn, bellach, mae poblogaeth y blaned yn bwyta dros 140 miliwn tonnall o anifeiliaid dyfrol pob blwyddyn (data 2014; FAO 2016). Mae teulu'r Salmonidae, sy'n cynnwys brithyllod, eogiaid, torgochiaid a phenllwydion, yn gydran annatod o'r bysgodfa fyd-eang hon.

Prin yw'r pysgod sydd wedi eu hastudio cystal â dau aelod o'r Salmonidae: y brithyll brown (*Salmo trutta* L.) ac eog yr Iwerydd (*Salmo salar* L.) (Jonsson a Jonsson 2011). Yr enwocaf o'r ddau, o bosib, yw'r eog - 'Brenin y Pysgod' fel y'i gelwir gan y naturiaethwr Frank Buckland (Jones 1959). Ceir tystiolaeth o ddylanwad y pysgodyn hwn ar ddiwylliannau Celtaidd yng Nghymru ac Iwerddon, gan ymddangos mewn chwedlau fel cymeriad sy'n gloddfa doethineb (MacKillop 2004). Enghreifftir hyn yn chwedl Culhwch ac Olwen o Lyfr Coch Hergest (tua 1400): gyda chymorth Eog Llyn Llyw, yr hynaf a'r doethaf o'r Anifeiliaid Hynaf, y daw Culhwch o hyd i Mabon fab Modron. Gan ryddhau Mabon, mae Culhwch yn llwyddo i gyflawni un o'r deugain Annoeth y gosododd Ysbaddaden Bencawr, tad Olwen, a fydd, o'u cyflawni hwy oll, yn caniatáu iddo briodi Olwen.

Hyd yn gymharol ddiweddar, roedd y bysgodfa eog Gymreig wyllt o bwys masnachol mewn ardaloedd megis Glannau'r Fenai (Jones 2017). Yn nhe orllewin Cymru, mae crefft y cryglwyr o ddal yr eog a'r sewin (cyfnod dŵr hallt y brithyll brown) yn dal yn fyw. Heddiw, yr eog (*S. salar*) sydd ar flaen y gad yng ngham nesaf ffermio, sef cynhyrchiant anifeiliaid â genynnau wedi'u haddasu. Ym Mis Awst 2017, wedi bron i 25 mlynedd o heriau cyfreithiol a moesol, rhoddwyd hawl i gwmni o'r enw AquaBounty Technologies werthu'r llwyth masnachol cyntaf (4.5 tonnall) o'u heog addasedig i gwsmeriaid yng Nghanada (Waltz 2017). Mae'r eog hwn yn ymgorffori genyn rheoli hormon twf o'r eog chinook (*Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum) ac elfennau rheoli genynnol pysgodyn o ogledd-orllewin Môr yr Iwerydd, *Zoarcetes americanus* (Bloch a

Schneider). O wneud hynny, mae'r pysgodyn addasedig hwn yn cyrraedd maint addas i'r farchnad yn hanner yr amser a gymer ei frawd gwyllt. Gall cynyddu effeithiolrwydd cynhyrchu protein yn y fath fodd fod yn rhan o ateb yr her i fwydo'r 2.5 biliwn o bobl ychwanegol y disgwylir yn y 40 mlynedd nesaf.

Un canlyniad amlwg o ffurfio'r Pangaea Newydd yw ail-gysylltiad rhannau o'r Ddaear sydd wedi bod ar wahân cyhyd ac, yn ei sgil, cytrefiad organebau a ystyriwyd yn draddodiadol-estron. Y brithyll brown, sy'n gynhenid i ddyfroedd Ewrop, yw un o arloeswyr yr organebau ymledol ac estron hyn. Am ei boblogrwydd ymhlith pysgotwyr hamdden, a'i allu i gytreffu ecosystemau amrywiol, mae'r brithyll brown, i bob pwrpas, bellach wedi ei gyflwyno, ac i'w ddarganfod, ledled y byd (Nelson 2006). Nid yw hynny wedi bod at ddant nifer o gadwraethwyr, gan fod y brithyll fel brig ysglyfaethwr, yn medru cael dylanwad cryf ar weddill y we fwyd.

Datblygodd y bysgodfa *Salmo* hamdden yn yr 19<sup>eg</sup> ganrif pan fu cynnydd yn amser rhydd a chyfoeth pobl Prydain ar gefn y Chwyldro Diwydiannol (1760 – 1840). Galluogodd ffurfiad rheilffordd eang i'r dosbarth canol newydd deithio i'r Alban i eoca. Perchen y dosbarth hwn o bysgotwyr agwedd tra gwahanol i'r rhai a fu; gan uniaethu â'r disgrifiad o "sbotismyn y maes", mynnent bysgota, hela a saethu ffesantod yn ôl y tymhorau (The Fishing Museum 2017). Ynghyd â dulliau arbenigol (gan gynnwys bysgota â phluen), mae diwylliant pendant sy'n gysylltiedig â 'hela'r' brithyll a'r eog yn parhau; yr unig bysgod (ynghyd a'r penllwyd *Thymallus thymallus* L. gan rai) i'w hystyried yn 'helwriaeth'. Caiff unrhyw rywogaeth arall ei hadnabod fel pysgodyn bras ar Ynysoedd Prydain.

Anodd yw amcan gwerth economaidd pysgodfa wyllt megis y brithyll (Baglinière a Maise 1999). Fel ffon fesur, dechrau'r 1990au cafodd gwerth pysgodfa brithyll brown (pysgod preswyl, dŵr croyw yn unig) Cymru ei hamcan (tebygol o fod yn dan-amcaniad) yn £12 miliwn (Awdurdod Afonydd Cenedlaethol 1993). Gwerth i berchnogion y bysgodfa yn unig yw'r ffigwr hwn; nid yw'n ystyried cyfraniadau megis gwariant cysylltiedig pysgotwyr hamdden yn yr economi leol. Nid yw'r ffigwr chwaith yn cynnwys y bysgodfa sewin nac eog yr Iwerydd. O ystyried dosraniad byd-eang a hoffter pysgotwyr pluen o'r brithyll brown fel helwriaeth, mae'r gwerth economaidd byd-eang yn siŵr o fod yn sylweddol.

Yn hanesyddol, mae genws y *Salmo* wedi sbarduno dychymyg pobl Ewrop gan dylanwadu ar ddiwylliant cymdeithasau. Wrth ystyried gwawr yr Anthroposen, mae'r brithyll (*S. trutta*) a'r eog (*S. salar*) mor bwysig ag erioed i ddynoliaeth. Aeth anghenion maethol dynoliaeth tu hwnt i gynhaliaeth poblogaethau anifeiliaid gwyllt y

tir ers cryn amser. Effeithlonrwydd amaethyddiaeth gymerodd yr awenau'r pryd hynny. Yn y cefnforoedd, ymddengys fod poblogaethau gwyllt anifeiliaid dyfrol hefyd yn cyrraedd eu nenfwd cynhaliol (Pauly *et al.* 2002). Yn 2013, am y tro cyntaf, cynhyrchwyd mwy o bysgod na chig eidion drwy ffermio (Marshall 2013). Mae cynhyrchiant effeithlon eogiaid wedi'u haddasu'n enynnol yn torri tir newydd, ac yn debygol o chwarae rhan amlwg yn economi acwafeithrin y dyfodol. Fel poblogaeth wyllt, eu gwerth fel gwobrau i bysgotwyr hamdden sy'n gwneud y brithyll brown ac eog yr Iwerydd yn amlwg ar lwyfan economaidd ryngwladol, yn arbennig felly yng Nghymru. Yn wir, mae Cymru'n enwog am ei physgodfa sewin, ar Afon Tywi yng Ngorllewin Cymru, yn enwedig. Yn ecolegol, mae gan bysgod y *Salmo* swyddogaethau rheoli amlwg fel ysglyfaethwyr ar frig gweoedd bwyd dyfrol.

## **1.2. Hinsawdd newidiol a'r gylchred hydrolegol**

Mae'r Ddaear oddeutu 4.54 biliwn o flynyddoedd oed (Dalrymple 2001). Dros y cyfnod hwnnw, mae hinsawdd y blaned wedi amrywio'n gyson, gan newid o fod yn 'belen eira' â'i harwyneb i gyd wedi rhewi, i 'dŷ gwydr' heb rew arni o gwbl (Wales *et al.* 2017). Dechreuodd y Cyfnod Cwaternaid 2.6 miliwn o flynyddoedd yn ôl, ac mae eira wedi bodoli'n gyson ar begynau'r blaned ers hynny. Dros y cyfnod mwyaf diweddar hwn, mae'r hinsawdd wedi amrywio rhwng cyfnodau oer a chynnes. Ceir esboniad am yr amrywiant o ystyried cylchredau amrywiol y Ddaear o gwmpas yr Haul. Adnabyddir y cyfnodau oer hyn fel Oesau Iâ, pan bu haenau mawr o rew yn estyn dros lawer o Ogledd America, Ewrop, yr Antartig, a rhannau o Asia a De America. Bu'r Oes Iâ diwethaf yn ei hanterth 21,000 o flynyddoedd yn ôl, pan roedd lefel y môr 130 m yn is nag y mae heddiw (Siegert 2001). Y pryd hwnnw, amcanir bod rhyw 130,000 o bobl yn byw yn Ewrop (Wales *et al.* 2017) - ychydig llai na phoblogaeth gyfredol dinas Casnewydd (149,100 yn 2016; Llywodraeth Cymru, 2017). Ceir dros 700 miliwn o bobl ar y cyfandir bellach (Worldometers 2017b).

Pan giliodd yr Oes Iâ diweddaraf, oddeutu 14,000 o flynyddoedd yn ôl, roedd y brithyll brown ac eog yr Iwerydd yn prysur ail-gytrefu nentydd ac afonydd Ewrop a Gogledd America wrth iddynt ddadmer (Jonsson a Jonsson 2011). Annhebygol y byddai'r pysgod hyn wedi goroesi'r rhew. Damcaniaeth fwy tebygol yw bod y pysgod arloesol cyntaf i ail-gytrefu wedi deillio o guddfannau heb rew ac ymledu drwy ddyfroedd hallt (Ferguson 2006). Ers hynny, mae cylchredau bywyd eog a brithyll y *Salmo* wedi addasu i gyfundrefnau llif dalgylchoedd amrywiol. Dibynna'r pysgod, er enghraifft, ar lifoedd uwch i hwyluso eu taith i'r môr o ddyfroedd croyw ar y tir (y cyfnod gleisio;

manylion ym Mhennod 2). Gan anweddu, cludo a chyddwyso dŵr o amgylch y blaned, rheola'r gylchred hydrolegol gyfundrefnau llif amrywiol afonydd y Ddaear.

Seiliwyd rhan helaeth y Chwyldro Diwydiannol ar egni tanwydd ffosil. Roedd glo yn allweddol i gynnydd cynhyrchiant economaidd; digwyddodd hynny ym Mhrydain yn gyntaf gan ledaenu, yn ei dro, ar hyd llwybrau masnach rhyngwladol. Yn gyffredinol, gyda cynhyrchiant economaidd uwch, daw cynnydd i amser rhydd ac ansawdd bywydau pobl. Nodwyd eisoes fod rhyddid i hamddena wedi sbarduno diwylliant helwriaeth gref. Wrth hylosgi glo, olew a nwy naturiol rhyddheir nwyon tŷ gwydr, gan gynnwys ocsid nitrus a charbon deuocsid (CO<sub>2</sub>). Bydd newid defnydd tir yn gallu achosi suddfannau CO<sub>2</sub> i droi'n ffynonellau, gan gynyddu crynodiad nwyon tŷ gwydr atmosffer y Ddaear. Mae cynnydd i grynodiad nwyon tŷ gwydr yn cynyddu effeithiolrwydd yr atmosffer i ddargadw ymbelydredd thermal, sy'n cynhesu'r blaned.

Mae cynhesu'r blaned wedi newid nodweddion yr hinsawdd, gan addasu, ymysg ffactorau eraill, eithafion hinsoddol a'r cylchred hydrolegol. Yn Ewrop a Gogledd America, cynefin traddodiadol eog yr lwerydd a'r brithyll brown, disgwylir cynnydd i ddigwyddiadau hinsoddol eithafol megis llifogydd, sychderau a thonboethion (Bates *et al.* 2008; Jonsson a Jonsson 2009; Kovats *et al.* 2014). Mae ecolegwyr wedi brysio i geisio canfod beth fydd dylanwad y newidiadau hinsoddol hyn ar ecosystemau'r Ddaear, gan gynnwys ecosystemau dyfrol. Yn yr ecosystemau hyn delir y cyfalaf naturiol sy'n darparu nifer o wasanaethau hanfodol i ddynoliaeth. Un adnodd a ddarpara nifer o wasanaethau ac sydd angen gwybodaeth amdano yw'r bysgodfa salmonid.

Gellir symleiddio nod holl astudiaethau newid hinsawdd ar organebau byw i geisio ateb dau gwestiwn: (1) a oes gan yr organeb y gallu (plastigedd ffenoteipaidd) i ymdopi â'r raddfa o newid hinsoddol lle y mae hi?, a (2) a all yr organeb fudo i amgylchedd sy'n bodloni ei hanghenion i oroesi? Yn achos biota dyfroedd croyw, ceir cymhlethdod ychwanegol wrth geisio ateb y cwestiynau hyn (manylir yn y man).

Wrth ystyried camu'r trothwy cronolegol i'r Anthroposen, mae angen ffynhonnell egni na fydd yn cyfrannu ymhellach i newid hinsoddol. Mae ffynonellau niwclear, solar a gwynt yn cynnig rhan o'r ateb. Cynigia bŵer hydro fodd o gynhyrchu swm sylweddol o egni trydanol drwy gronni dŵr tu ôl i argae, a defnyddio'r potensial egni i droelli tyrbinau. Mae'r nifer o argaeau sydd wedi eu hadeiladu'n fyd-eang yn sylweddol. Ar gyfartaledd, adeiladwyd un argae, dros 15 m o uchder, pob diwrnod dros y 130 o flynyddoedd diwethaf (Cook 2017). Mae anterth yr ymdrech peirianyddol hwn wedi cyrraedd y brig mewn gwledydd datblygedig, ac yn wir caiff nifer o argaeau eu tynnu

lawr bellach (Bednarek 2001). Mewn llawer ystyr, fodd bynnag, megis dechrau mae'r broses mewn gwledydd eraill sy'n ceisio am annibyniaeth egniol (Altinbilek 2002). Enghreifftir dylanwad rhwystrau o'r fath ar fiota dŵr croyw gan bysgod sy'n mudo mewn dyfroedd llifeiriol. Prin geir cynrychioliad mwy gweledol o sgil effeithiau posib argaeau na'r darlun o eog yn nofio yn erbyn gwaelod mur argae mewn ymgais anobeithiol i gyrraedd lleoliad silio i fyny'r afon. O ganlyniad, caiff ymdrech amlwg ei fuddsoddi i geisio lliniaru rhwystrau gwneuthuredig ar deithiau pysgod mudol, yn arbennig y Salmonidae (Katopodis a Williams 2012).

Yn gyfredol, ceir trafodaeth ymysg economegyddion am chwyldro diwydiannol newydd sydd wedi ei seilio ar gynhyrchiant a dosraniad datganoledig gwybodaeth (y rhyngwrwd), nwyddau (cerbydau sy'n gyrru eu hunain) ac egni. Mewn model economaidd o'r fath, byddai adeiladau unigol yn cynhyrchu egni i gynnal eu hunain trwy ddulliau adnewyddadwy, gan werthu'r gweddill i rwydwaith ddatganoledig effeithlon. Gellid dychmygu'r fath drefn fel rhan o'r ateb i'r her o leddfu effeithiau a goblygiadau newid hinsawdd, a diddymu'r angen am beirianweithiau mawr canolog i gynhyrchu trydan, gan gynnwys argaeau. Yn y cyfamser, fodd bynnag, hyd yn oed os byddai rhyddhad nwyon tŷ gwydr drwy weithgarwch dynoliaeth yn terfynu heddiw, bydd y blaned yn parhau i gynhesu am gyfnod (Hansen *et al.* 2005). Yn ôl un senario, bydd llwyddo i atal tymheredd y Ddaear i fod dim mwy na 2 °C yn uwch na lefelau cyn-ddiwydiannol yn 2100, yn dibynnu ar allyriadau nwyon tŷ gwydr i fod rhwng 40 - 70 % yn is erbyn 2050 o'u cymharu â 2010 (IPCC 2014). Nid yw penderfyniad Llywodraeth yr Arlywydd Trump yn Unol Daleithiau yr America ym mis Mehefin 2017 i beidio ymrwymo i Gytundeb Hinsawdd Paris yn magu hyder yn hyn o beth; ond mae'n bell o fod yn weithred dyngedfennol (Brahic 2017).

### **1.3. Amcanion ymchwil**

Mae angen data ar frys ar allu pysgod gwyllt y Salmonidae i ymdopi â'r newidiadau fydd i'r gylchred hydrolegol. Mae'n bosib bydd chwyldro diwydiannol oes y rhyngwrwd yn cynnig modd i ddynoliaeth wireddu economi byd-eang sydd â rheolaeth dros grynodiad atmosfferig nwyon tŷ gwydr. Yn y cyfamser, dylid paratoi at newidiadau hinsoddol tebygol. Mae diffyg data empeiraidd ar ddylanwad sychderau ar bysgod, gan gynnwys diffyg dealltwriaeth o ymatebion pysgodfeydd Ewrop (Piniewski *et al.* 2017). Yn yr astudiaeth hon, profir dilysrwydd damcaniaethau allweddol, gyda data arbrolfol, o ddylanwad llifoedd isel ar boblogaethau brithyll ac eog, a'u hadnoddau maethol (macroinfertebratau), mewn dyfroedd llifeiriol.

Seilir yr astudiaeth yn nyfroedd llifeiriol Cymru. Yma, ceir nifer o enghreifftiau clasurol o brosesau geomorffolegol, datblygiad tirluniau, ac ymatebion afonol i newidiadau hinsoddol a dylanwadau anthropolegol caiff eu hadnabod yn rhyngwladol (Griffiths 2008). Mae'r ffaith hon yn golygu bod gwybodaeth gymharol fanwl ar gael am hanes hydrolegol Cymru. Er enghraifft, trwy asesu gwaddodion, daeth Brewer a'i gydweithwyr (2000) i'r casgliad fod lleihad wedi bod yn amledd a gerwinder llifogydd yn wyth o afonydd Cymru yn ystod ail hanner yr ugeinfed ganrif.

Yn reddfol, mae'r term 'llif isel' yn ymddangos yn gymharol syml i'w ddehongli. O fynd ati i geisio diffinio disgrifiadau amrywiol hydrograff, sylweddolir, fodd bynnag, pwysigrwydd y cyd-destun. Mewn astudiaeth yn rhannau uchaf Afon Ystwyth, dangosa Foulds *et al.* (2014) bwysigrwydd cyd-destun amserol. Trwy estyn cyfnod cofnodion sydd wedi seilio ar ddata offerynnau modern (~ 35 mlynedd ar gyfer dalgylchoedd y DU ar gyfartaledd (Marsh a Lees 2013, yn Macdonald 2013) â dulliau geomorffolegol a hanesyddol, enillwyd dealltwriaeth fwy cynhwysfawr o'r gyfundrefn llif. Allweddol hefyd yw'r hyn sy'n cael ei astudio parthed llif nant neu afon wrth ddiffinio rhannau amrywiol hydrograffau. Ceir diffiniadau niferus o 'sychder', er enghraifft, gan gynnwys sychderau o bwys meteorolegol, amaethyddol ac ecoleogol (Lake 2003).

Ym Mhennod 2 adolygir y llenyddiaeth sydd eisoes wedi ei gyhoeddi gan adnabod bylchau penodol yn y ddealltwriaeth gyfredol am ddylanwad llifoedd isel ar bysgodfeydd *Salmo*. Cyflwynir y llenyddiaeth ar sail theori rheoli poblogaethau. Adnabyddir fod y gronfa wybodaeth yn ddibynnol ar gyfuniad data o astudiaethau gwasgarog yn y maes heb reolyddion cadarn, ac arbrofion ag iddynt ddyluniad arbrofol cryf mewn amgylcheddau annaturiol (e.e. tanciau a chafnau gwneuthuredig) sydd â diffyg cymhlethdod ecosystem o'r iawnryw. Ym Mhennod 3, cynigir dull gwreiddiol, hydwyth a throsglwyddadwy o efelychu lleihad llif hinsoddol yn y maes gan ddefnyddio pypiau dŵr allgyrchol a dyluniad arbrofol safonol. Cofnodwyd amharodrwydd brithyllod brown i ddianc aflonyddiad llif isel cymedrol dros gyfnod byr. Ym Mhennod 4, mesurir goblygiadau'r strategaeth hon (diffyg mudo / dianc) ar reolaeth poblogaethau brithyll (*S. trutta*) ac eog (*S. salar*) mewn arbrawf ar un o isafonydd Afon Clwyd, Gogledd Cymru.

Yn ystod sychder, bydd llif nant neu afon yn lleihau i raddau eithafol gan herio salmonidau'n ffisiolegol gyda chyflyrau megis tymereddau uchel a chrynodiad O<sub>2</sub> hydoddedig isel. Mae astudio sychderau a ddisgwylir (yn hanesyddol) dim ond unwaith bob canrif yn broblem logistaidd. Yn 2014, dan nawdd consortiwm NERC-

DURESS (2017), cwblhawyd adeiladu'r hyn a gredir i fod yr unig nentydd rhaeadrol gwneuthuredig (mesocosmau) mewn bodolaeth. Lleolir y cyfleuster arloesol hwn yn Arsyllfa Llyn Brianne, canolbarth Cymru - un o brosiectau hynaf maes ymchwil dalgylchoedd nentydd ac afonydd. Ym Mhennod 5, efelychir sychder eithafol yn y mesocosmau hyn. Disgrifir ymwrthedd ymddangosol cymunedau infertebratau dyfrol (ysglyfaeth brithyll ac eog) nentydd yr ucheldir, a chynhaliaeth gweithred ecosystemaidd (stoc biomas infertebratau). Ym Mhennod 6, manylir ar oblygiadau bioegniol y sychder ar gyfer brithyllod (*S. trutta*) trwy ddadansoddi nodweddion gweithredol eu hysglyfaeth ynghyd â mesuriadau twf pysgod ifanc. Ym Mhennod 7, eir ati i grynhoi canfyddiadau nodedig yr astudiaeth, gan ystyried eu goblygiadau posib ar gyfer y bysgodfa *Salmo* wyllt wrth iddi wynebu newidiadau hinsoddol y dyfodol.



## **2. Pennod 2: Adolygiad llenyddol: Dylanwad llif isel ar bariaid salmonid (*Salmo trutta* L. a *Salmo salar* L.)**

### **2.1. Crynodeb**

Arddangos pysgod salmonid gylchredau bywyd cymhleth gyda newidiadau sylweddol i'w anghenion cynefinol ar wahanol adegau o'u bywyd. Gwna hynny effeithiau llifoedd isel yn gyfnod-benodol. Cyhoeddwyd adolygiadau cyfarwyddiadol eisoes gan Nislow ac Armstrong (2012), a Jonsson a Jonsson (2009), o ddylanwadau cyffredinol llif a newid hinsawdd ar wahanol gyfnodau bywyd y brithyll brown ac eog yr Iwerydd. Mae cyfraniad poblogaethol cyfnod y pâr yn allweddol i recriwtiad pysgod salmonid aeddfed. Yn yr adolygiad llenyddol hwn, manylir a diweddarir y sail wybodaeth ar ymateb cyfnod y pâr i lifoedd isel. Ymrannir y wybodaeth gyhoeddedig i ymatebion ymddygiadol a phoblogaethol yn ôl tri math bras o leihad llif o safbwynt pysgod nantyddol: sychderau, briglifoedd a lleihad llif sydd o fewn ffiniau cyflyrau 'ffafriol'; cyfyngir yr astudiaeth i dymhorau tyfu'r pysgod. Cyflwynir ymatebion ymddygiadol a phoblogaethol yng nghyd-destun rheolaeth dwysedd-ddibynnol a pharhad dwysedd-annibynnol.

### **2.2. Cyflwyniad**

Ceir disgrifiad celfydd gan Jonsson a Jonsson (2011) o nodweddion hanes bywyd rhywogaethau'r *Salmo*; dim ond crynodeb a gyflwynir yma. Adnabyddir y brithyll brown *Salmo trutta* L. ac eog yr Iwerydd *Salmo salar* L. am eu cyrff cryf, lliflin, eu gallu i nofio i fyny afonydd serth fel rhan o ymfudiad estynedig drwy ddyfroedd hallt a chroyw, a'u gallu i ddychwelyd i'r safle lle y'u deorwyd. Mae eu morffoleg mor debyg, ac amrywiaeth poblogaethol ac unigolion mor eang, fel bod angen arbenigydd gan amlaf, i'w gwahaniaethu. O'i gymharu â'r brithyll brown, bydd llygad graff yn sylwi fod gan eog yr Iwerydd ben llai, fronesgyll lletach, a chynffon fwy fforchog ar ben bonyn cynffon hirach. Datgela'r gwahaniaethau ffenotypiaidd hyn ymaddasedd mwy effeithiol eog yr Iwerydd i lifoedd grymus afonydd ac ymfudiadau cefnforol pell na'r brithyll brown. Daw enw'r genws, *Salmo*, o'r Lladin am eog. Yn gyffredinol, defnyddiodd y Rhufeiniad y termau *isox* neu *esox* fel enwau ar gyfer y pysgod hyn, neu *salmo* yn achlysurol. Credir mai gwraidd Celtaidd sydd i'r term *isox* (*esox*) ar sail geiriau cytras fel ag y ceir yn yr Aeleg *éó*, Cernyweg *ehoc*, Cymraeg *eog* a chyn hynny *ehawc*, a'r Llydaweg *eok*. Mae'n annhebygol fod gan y gair *salmo* gysylltiad â'r Lladin *salire* "neidio"; mwy na thebyg deillia'r gair o'r iaith Geltaidd neu o iaith cyn-Indo-

Ewropeaidd (Andrews 1955). Mae'r gair "neidio", fodd bynnag, yn sicr yn addas, fel y gwŷr y sawl sydd wedi gweld yr eog yn neidio rhaeadrau a all fod yn 3 m o uchder i gyrraedd ei silfa (Jonsson a Jonsson 2011).

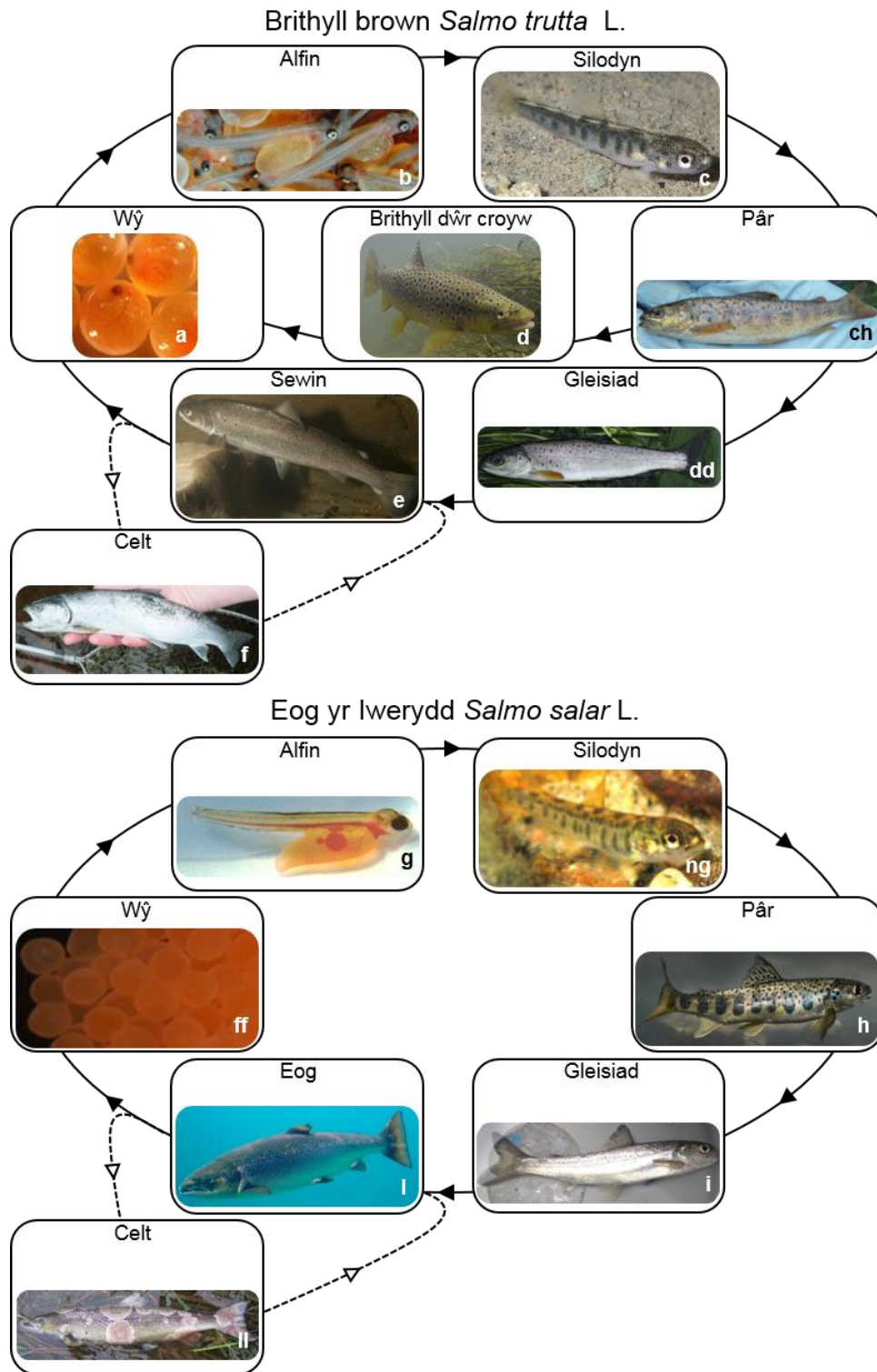
Mae'r brithyll a'r eog yn gynhenid i Hemisffer y Gogledd. Bellach, maent wedi eu cyflwyno'n eang i ateb galw'r diwydiant acwafeithrin, a physgodfeydd masnachol a hamdden dyfroedd oer ledled y byd (Jonsson a Jonsson 2011). Gweithredant swyddogaethau ecolegol amlwg (Huryn 1998) ac y maent yn adnodd economaidd gwerthfawr (Pedersen 2016) a thra-phoblogaidd gyda physgotwyr. Adlewyrchir hynny gan lenyddiaeth eang. Un canlyniad o'r diddordeb hanesyddol ac eang hwn yw'r amrywiaeth o gyfystyron ardal-benodol a ddefnyddir i gyfeirio atynt; drysir hyn ymhellach gan eu cylchredau bywyd cymhleth. Tra bod enwau safonol, er lles astudiaeth wyddonol, y gwahanol gyfnodau bywyd, eisoes yn gymharol sefydledig yn y Saesneg (*viz.* Allan a Ritter 1977), mae'r sefyllfa yn fwy dryslyd yn y Gymraeg. Estynnir diolch penodol i Dr Tegau Andrews, terminolegydd y Coleg Cymraeg Cenedlaethol ym Mhrifysgol Bangor, am ei harweiniad wrth ddedol enwau ar gyfer cyfnodau cylchred bywyd *S. salar* a *S. trutta*. Cynigir termau ar gyfer detholiad cryno o gyfnodau'r ddwy rywogaeth yn y bennod hon. Er byrddra, ymdrechir i gyfeirio at y ddwy rywogaeth fel brithyll ac eog yng ngweddill y bennod.

Cymhleth yw cylchred bywyd y Salmonidae (Ffigwr 2.1 am symleiddiad). Yn groes i fwyafrif pysgod dŵr croyw sy'n silio yn y gwanwyn neu'r haf, bydd y brithyll a'r eog yn bwrw sil yn yr hydref neu'r gaeaf. Caiff wyau wedi'u ffrwythloni eu claddu yn swbstrad nant neu afon, gan ddeor yn y gwanwyn. Caria'r alfiniaid a ddeora o'r wyau gwodyn melynwy o dan eu habdomen. Dyma fydd yn eu cynnal am ychydig wythnosau cyntaf eu bywydau. Pan fydd maetholion y cwdyn wedi eu defnyddio, bydd yr alfin yn gadel lloches y swbstrad gan ymddangos ar wely'r nant. Am gyfnod byr (dyddiau), rhwng ymddangos ar ben y cladd a'i adael, gelwir y pysgodyn yn silodyn. O adael y cladd, fe'i gelwir yn bâr.

Sefydla bariaid brithyll ac eog diriogaethau pendant ar wely nant neu afon, a byddant yn eu hamddiffyn yn ffyrnig. Mewn poblogaethau esgynnol o'r ddwy rywogaeth, gall rhai o'r pariaid gwrywaidd aeddfedu'n rhywiol; bydd brithyllod brown benywaidd hefyd yn aeddfedu'n aml. Bydd y fath aeddfedu cynnar fel arfer yn golygu fod brithyllod yn sefydlu fel preswylwyr dŵr croyw am weddill eu bywydau. Ar y llaw arall, wedi atgenhedlu, gall pariad *S. salar* gwrywaidd aeddfed fynd drwy'r trawsnewidiad eithriadol hwnnw i'r gleisiad sy'n eu galluogi i symud i ddŵr hallt. Dyma amgylchedd osmotig dra gwahanol. Bydd y pariaid sy'n weddill mewn nant yn aeddfedu i leisiaid

pan fyddant oddeutu 15 cm o hyd, gan ddatblygu côt arian a thor wen sy'n guddliw ym mharth pelagig y môr. Fel arfer, bydd y gleisiad hyn yn mudo i'r arfordir yn y gwanwyn. Yn wahanol i deithiau hir cefnforol yr eog, ni fydd y mwyafrif o'r sewin (sef cyfnod dŵr hallt y brithyll brown; Ffigwr 2.1) yn mentro mwy na 100 km o'r aber i fanteisio ar ysglyfaeth gyfoethog y môr. Ceir ymfudiadau potamodraidd yn ogystal. Mae'r brithyll brown ac eog yr Iwerydd yn rywogaethau iteroparaidd. Hynny yw, bydd llawer ohonynt yn goroesi wedi atgenhedlu gyda'r gallu i silio eto. Nodwedd wahanol i eogiaid y Môr Tawel (*Oncorhynchus* spp. Suckley); ond yn debyg i frithyllod y Môr Tawel (*Oncorhynchus* spp., *Salvelinus* spp. L.) (Stearns a Hendry 2004). Celt a elwir sewin neu eog sydd wedi bwrw sil ac yn gwneud y daith nôl i'r môr.

Dylid ystyried y gwahaniaeth rhwng y termau *tywydd* a *hinsawdd* cyn trafod ymatebion cyfnodau bywyd amrywiol y *Salmo* i ddylanwadau meterolegol. Disgrifia'r *tywydd* gyflyrau'r atmosffer mewn man, ac ar amser, penodol yn ôl elfennau meterolegol megis tymheredd, gwasgedd, lleithder, gwynt a gwlybanaeth, ymysg paramedrau eraill. Disgrifia *hinsawdd* werthoedd cymedrig (a mesur o amrywiaeth) tywydd (Cubasch *et al.* 2013). Cyflyrau hinsoddol sy'n pennu llif nentydd ac afonydd. O ganlyniad i newid hinsawdd, disgwylir i amrywiaeth tymhorol llif nentydd ac afonydd Ewrop gynyddu. Ar y cyfandir hwn, disgwylir lleihad i arllwysiad nentydd ac afonydd yn ystod yr haf cyn gynted â 2020; yn enwedig felly mewn gwledydd deheuol (Bates *et al.* 2008). Yn ategol, disgwylir cynnydd yn amledd a gerwinder llifogydd a sychderau dros lawer o diriogaeth y brithyll a'r eog yng Ngogledd America ac Ewrop (Jonsson a Jonsson 2009). Erbyn 2080, disgwylir i sychderau arferwyd eu profi rhyw unwaith bob canrif yn hanesyddol effeithio ar rannau o Ewrop cymaint ag unwaith pob degawd (Bates *et al.* 2008). Tymheredd a llif y dŵr yw'r ddwy nodwedd hinsoddol sy'n dylanwadu fwyaf ar gymunedau salmonid. Bydd y newid hinsoddol yn fwy nerthol dros y tir na'r cefnforoedd, gan olygu y gall dylanwad y tymheredd fod yn fwy taer ar gyfnod dŵr croyw cylchred bywyd salmonidau, o'i gymharu â'r cyfnod morol (Jonsson a Jonsson 2009). Bydd rheolaeth effeithiol o bysgodfa wyllt, economaidd-bwysig y brithyll a'r eog yn ddibynnol ar ymwybyddiaeth gadarn o ddylanwad tebygol y newidiadau hinsoddol hyn.



**Ffigur 2.1: Cylchredau bywyd symledig y brithyll brown ac eog yr Iwerydd**

Noder fod llinell dorredig yn dynodi'r ffaith fod *S. trutta* a *S. salar* â'r gallu i ddychwelyd i'r môr wedi silio ar ffurf Celt. Wedi cyfnod o ailennill eu cryfder yn nhyfroedd hallt yr arfordir a'r cefnforoedd gall y pysgod ailadrodd y daith o'r môr i'r silfan pan ddaw y tymor priodol; hynny ar ffurf sewin neu eog aeddfed. Hawffraint y fffotograffau (wedi eu haddasu): (a) Wild Trout Trust; (b) Kate Marriott; (c) Christa Rohrbach (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/>); (ch) Dylan Roberts; (d) Jack Perks; (dd) Martin Hage Larsen; (e) David Miller; (f) Ayrshire Rivers Trust; (ff) U.S. Fish and Wildlife Service; (g) E. Peter Steenstra / U.S. Fish and Wildlife Service; (ng) Panu Orell (heb allu cadarnhau caniatâd); (h) Per Harald Olsen; (i) Ness District Salmon Fishery Board; (l) Hans-Petter Fjeld (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>); (ll) William Beaumont.

Yn ddiweddar, drwy hidlad systematig trylwyr o astudiaethau Ewropeaidd, tynn Piniewski a'i gydweithwyr (2017) sylw at fwch gwybodaeth am ddylanwad sychderau ar bysgod o'i gymharu ag effaith llifogydd, lle ceir mwy o wybodaeth. Ceir adolygiad cyfarwyddiadol gan Nislow ac Armstrong (2012) o effeithiau cyffredinol llif ar y Salmonidae mewn nentydd ac afonydd, a bu i Jonsson a Jonsson (2009) baratoi synthesis mewnweledol o effeithiau tebygol newidiadau hinsoddol. Fel y nodwyd eisoes, mae cylchredau bywyd y brithyll a'r eog yn gymhleth. Golyga hyn newidiadau sylweddol i anghenion cynefinol y pysgod wrth iddynt ddatblygu drwy'r gyfres o gyfnodau oed. Bydd dylanwad llif, felly, yn holl-ddibynnol ar gyfnod oed pysgodyn salmonid. O brofiad personol (ymdrechion cynnar yr adolygiad hwn) a barn nifer o arbenigwyr y maes (e.e. Milner *et al.* 2012), rhwystr sylfaenol i feta-ddadansoddiad o'r llenyddiaeth ar ymatebion ecolegol i amrywiaethau llif yw diffyg diffiniadau meintiol o dermau amwys megis 'sychder' a 'llifogydd', ynghyd â'r trothwyon o fewn y pegynau hyn. Daw ymdrechion megis astudiaeth Piniewski *et al.* (2017) â gobaith am gonsensws ar sail diffiniadau hydrograffolegol. Cyniga Nislow a Armstrong (2012) mai ystyried dylanwad llifoedd isel yn ôl cyfnodau bywyd penodol salmonidau yw'r ffordd ymlaen. Hyd yn hyn, hwn yw'r dull mwyaf cryno o ymafael â dylanwad amrywiaeth llif ar y pysgod hyn. Tuedda'r llenyddiaeth gymysgu trafodaethau o *Salmo* môr yr Iwerydd (*S. trutta* a *S. salar*) a salmonidau eraill, tra wahanol, gan gynnwys salmonidau'r Môr Tawel. Ni wneir hynny yn y bennod hon. Yn hytrach, cynigir diweddariad penodol o'r llenyddiaeth gan fanylu ar y sail wybodaeth o effaith llifoedd isel ar gyfnod pâr *S. salar* ac *S. trutta*.

### **2.3. Pariaid mewn amgylchedd llifeiriol**

Canran fechan o silod fydd yn goroesi (Brännäs 1995; Kennedy *et al.* 2008). Bydd y rhai a wna yn datblygu'n bariad; anifeiliaid sy'n fwy, yn gryfach ac yn fwy ystwyth na fuant fel silod. Gellir disgrifio cilfach ecolegol sylfaenol organeb yn ôl nifer o ddimensiynau neu echelinau anfiotig, megis crynodiad ocsigen, tymheredd a chyflymder dŵr, a biotig, megis maint a nifer ysglyfaeth (*sensu* Hutchinson 1957). Arllwysiad nant yw'r cyfaint o ddŵr fydd yn pasio pwynt penodol pob uned amser (e.e.  $m^3 s^{-1}$ ). Mae arllwysiad yn ffwythiant o'r echelinau: cyflymder, dyfnder a lled (a hyd). Mae ffrithiant y dŵr â'r aer, gwely ac ymylon afon yn golygu mai canol y sianel ddŵr fydd yn llifo cyflymaf. Man delfrydol ar gyfer pâr salmonid fydd un â chyflymder isel lle gall y pysgodyn ddal ei le ar wely'r nant heb gostau egni uchel, ond sydd hefyd yn gyfagos i gerrynt uchel sy'n cludo ysglyfaeth infertebrataidd, ac yn agos i loches

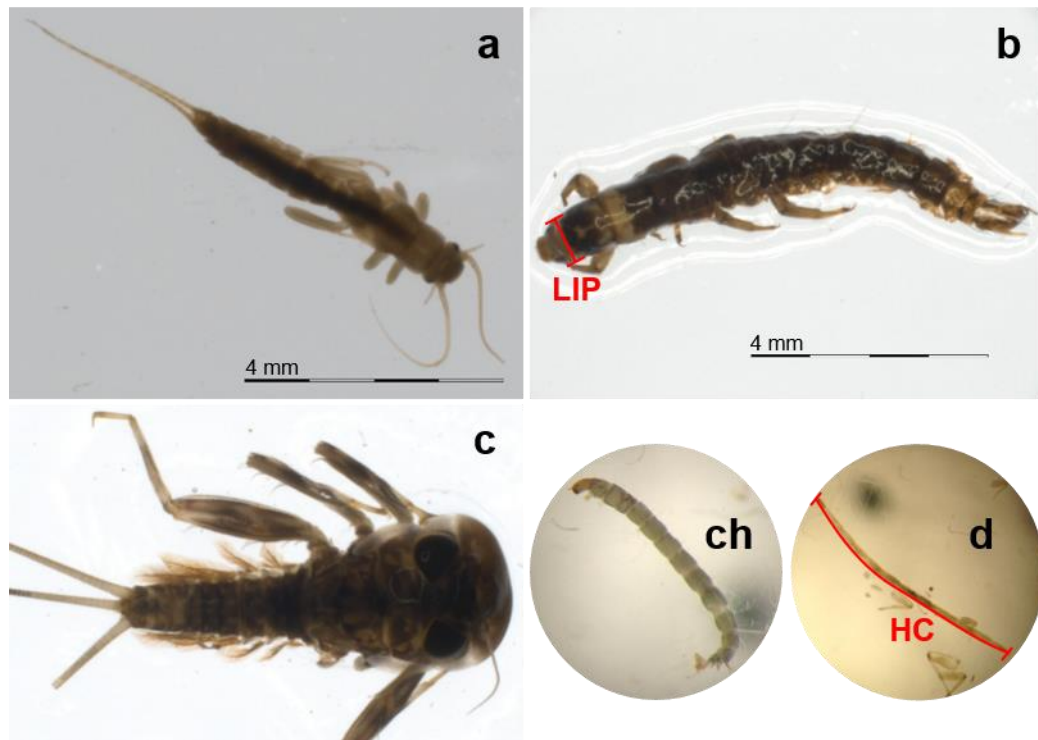
rhag ysglyfaethwyr (Jenkins 1969; Bachman 1984; Fausch 1984; Jonsson a Jonsson 2011).

Oherwydd eu cryfder a'u hystwythder, mae pariaid yn llai tebygol o brofi llifoedd angheuol o'u cymharu â silod (Nislow *et al.* 2002; Nislow a Armstrong 2012). Mae effeithiau niferus llif ar bariaid yn fwy cynnil a chymhleth. Gan fod y cyfnod bywyd hwn yn un cymharol hir, rhaid i bariaid ymdopi ag amrywiant llif sylweddol o fewn tymor a blwyddyn. Gall ddylanwad gerwinder, amrywiaeth ac amseriad llifoedd fod yn dra gwahanol o dymor i dymor (Nislow a Armstrong 2012). Er enghraifft, dangos Davidson *et al.* (2010) sut y bu i gyfradd twf eogiaid ifanc gynyddu gyda'r llif yn ystod y gwanwyn, yr haf a'r hydref. Mae'r gwrthwyneb yn wir yn ystod y gaeaf pan fydd cyflenwad bwyd yn is.

Gellid ystyried tri math o leihad llif o safbwynt pysgod nantyddol: lleihad llif eithafol, hir dymor (sychder); lleihad llif sydyn, disymwth (briglif); neu leihad llif sydd o fewn ffiniau cyflyrau 'ffafriol' o safbwynt brithyllod ac eogiaid. Mae cyfradd twf pysgod yn ddangosydd allweddol o'u ffitrwydd. Rhoddir sylw yn y bennod hon i ddylanwad y tri math o lif isel ar bariaid brithyll ac eog yn ystod eu cyfnod twf (o'r gwanwyn i'r hydref); gwneir hynny'n unol â disgwyliadau i'r cyfnod twf fod yn sychach dros ystod eu dosraniadau naturiol dan ddylanwad newid hinsawdd.

#### **2.4. Macroinfertebratau fel adnodd gynhaliol**

Yn gyd-destun cysyniad y gilfach ecolegol a grybwyllir eisoes (*sensu* Hutchinson 1957), echelin biotig allweddol i anifail yw'r adnodd maethol. I nifer o bariad *Salmo* mewn nentydd ac afonydd, ysglyfaeth infertebrataidd yw'r prif gyfrannydd i'r adnodd hwn. Yn ffurfiol, mae'r term 'macroinfertebrat' yn cyfeirio at unrhyw anifail infertebrataidd sy'n weledol heb ficrosgop (> 5 mm). Yn gyffredinol, fodd bynnag, caiff y term macroinfertebratau ei ddefnyddio i gyfeirio at destun maes ymchwil ecolegol hanesyddol a chyfoethog - y macroinfertebratau dyfrol. Gydag offer gymharol syml, mae modd samplu cymunedau macroinfertebrataidd aml-rywogaeth sy'n preswyllo mewn nentydd ac afonydd. O ganlyniad, mae llawer o'r ddealltwriaeth am ecoleg nantyddol wedi ei seilio ar astudiaethau o'r macroinfertebratau (Hauer a Lamberti 2007). Yng nghymuned macroinfertebrataidd dyfroedd llifeiriol Ynysoedd Prydain ceir enghreifftiau megis larfa'r cylion Mai (Ephemeroptera), gan gynnwys aelodau o'r Heptageniidae, a theulu'r chwiwiaid (Ceratopogonidae) (Ffigwr 2.2).



**Ffigur 2.2 Macroinfertebratau dyfroedd llifeiriol**

Enghreifftiau o infertebratau dyfrol sy'n bresennol yn nentydd Arsyllfa Llyn Brianne, ger Llanymddyfri, Cymru, DU: (a) Leuctridae; (b) Rhyacophilidae; (c) Heptageniidae; (ch) Chironomidae; (d) Ceratopogonidae. Trwy ddefnyddio perthnasoedd cyhoeddiedig, tacsu-benodol, gellir amcangyfrif mäs yr anifeiliaid hyn â mesuriadau megis lled y pen (LIP) ac hyd y corff (HC). Hawlfraint delweddau (wedi eu haddasu): (a - c) Catherine Stone a Talek Renals; (ch, d) Ifan Bryn Jâms.

Preswylia'r macroinfertebratau swbstratau benthig, llystyfiant a deunydd organig marw mewn nentydd ac afonydd. Maent yn noflithro yn y golofn ddŵr, hynny yn wirfoddol fel modd o symud i ardal fwy ffafriol, ac yn anwirfoddol drwy ddisodliad gan y llif. Gwelir fod yr anifeiliaid hyn yn noflithro fwyaf aml yn ystod cyfnod y wawr a'r machlud (Rader 1997). Adlewyrchir hynny ymaddasiad tebygol i osgoi cael eu gweld gan eu hysglyfaethwyr: y brithyll a'r eog. Ynghyd ac infertebratau tirol sy'n disgyn i ddyfroedd llifeiriol, mae'r macroinfertebratau dyfrol yn cynnal poblogaethau brithyll ac eog. Yn ogystal a dylanwadau anfiotig, mae'n bwysig ystyried dylanwadau biotig megis y sail faethol wrth asesu poblogaethau anifeiliaid (pariaid y *Salmo* yn yr achos hwn). Amlygir y pwysigrwydd hwn wrth geisio asesu dylanwad amrywiaeth llif ar frithyllod ac eogiaid, gan fod llif nant neu afon yn effeithio nifer, maint ac ansawdd yr ysglyfaeth macroinfertebrataidd sydd ar gael (trafodaeth fanylach ym Mhennod 3 a 4).

## 2.5. Ymatebion ymddygiadol pariaid *S. salar* a *S. trutta* i lifoedd isel

Gall lleihad llif ddigwydd yn sydyn (nodweddiadol o friglifoedd) neu yn raddol (megis amrywiaethau llif hinsoddol). Mewn nentydd ac afonydd a reolir er budd ennill pŵer hydrodrydanol, gall gweithrediad yr orsaf derfynu'n unionsyth, gan achosi i arllwysiad ac arwynebedd gwlyb sianel gyfangu'n chwim. Yr her fwyaf dybryd o safbwynt pariaid eog a brithyll yw'r perygl o gael eu dal yn sownd ar y lan wrth i'r dŵr gilio'n sydyn. Mewn astudiaeth islaw pwerdy hydro, rhoddodd Berland *et al.* (2004) ddeg o bariad eog mewn cawell (75 m<sup>2</sup>) yn yr afon, a oedd o dan ddŵr ar lif uchel, ond yn sych mewn llif isel heblaw am barth gwlyb ar ben isaf y cawell. Nodwyd fod nifer o'r pysgod yn cael eu dal ar y lan pan ddisgynnodd y llif. Wrth gwrs, ni fydd pysgod a ddelir ar lan sych yn goroesi'n hir. O ddod o hyd i bwl neu wagle yn y swbstrad, bydd y tebygolrwydd o golledion oherwydd diffyg dŵr yn is; byddant yn hyglwyf, fodd bynnag, i ysglyfaethwyr tirol megis adar a mamaliaid lleol. Yn yr un astudiaeth, dilynwyd deg pâr *S. salar* gwyllt ychwanegol oedd yn rhydd yn yr afon trwy ddefnyddio canfyddion lleoliad. Roedd gallu'r pariaid i ymdopi â chiliad dŵr sydyn yn fwy calonogol yn yr achos hwn. Gwelwyd eu bod yn symud i ardaloedd dyfnach heb eu dal ar yr ymylon. Gwelir medr tebyg ymysg pariaid brithyll brown i osgoi cael eu dal ar lan afon (Flodmark *et al.* 2006).

Gall unigolion o'r un boblogaeth o bariad salmonid symud o fewn parth afon mewn gwahanol ffyrdd i'w gilydd (Scruton *et al.* 2005; Heggenes *et al.* 2007; Roy *et al.* 2012; Boavida *et al.* 2017); mae hyn yn cymhlethu ffurfiant rhagfynegiadau cyffredinol o ddylanwad aflonyddiadau llif isel. Pan fydd llif yn cilio, symuda rhai pariaid o'u cynefinoedd crychdon bas i byllau dyfnach; bydd eraill yn aros mewn parthau bas gydol cyfnod y llif isel (Debowski a Beall 1995; Armstrong *et al.* 1998; Huntingford *et al.* 1998; 1999). Un ffordd o resymegu'r fath amrywiaeth ymddygiad yw bod ffitrwydd perthnasol y pysgod sy'n aros mewn parthau bas wrth iddynt sychu yn parhau yn uwch na'r hyn fyddai wrth gystadlu ag aelodau eraill o'r boblogaeth. Mae'n bosib fod aelodau mwyaf cystadleuol (trechol mewn rhyngweithiadau gelyniaethus) poblogaeth yn ymegniol mewn pyllau sydd â nifer fawr o bysgod ynddynt. Bydd ennill lleoliad dymunol yn fuddsoddiad egni ar ffurf rhyngweithiadau gelyniaethus mewn- a rhyng-rhywogaethol â phariaid eraill. Gellir crybwyll fod y fath fuddsoddiad yn ysgogiad am ffyddlondeb safle unwaith bod perchnogaeth wedi ei sefydlu. Trafodir ymddygiadau tiriogaethol sy'n ymhlyg a gwarchod safle yn y man.

Yn nodweddiadol, bydd ciliad llif o ganlyniad i brosesau hinsoddol yn llai chwim na'r hyn a welir yn ystod briglif. O ganlyniad, nid yw mynd yn sownd ar y lan yn broblem



amlwg i bariaid o fewn cyfundrefn llif hinsoddol. Mae'r dylanwad yn fwy cynnil na hynny. Wrth i arwynebedd gwlyb sianel gilio, bydd yr ardaloedd bas yn sychu gyntaf gan ysgogi nifer o bariaid i symud i ardaloedd dyfnach yng nghanol y sianel, ynghyd â phyllau nentydd ac afonydd. Trwy leihau arwyneb y cynefin addas, cynyddir dwyseddau'r pysgod ac, o ganlyniad, eu hagosrwydd at ei gilydd.

Mae tiriogaethedd ffyrnig y Salmonidae yn wybyddus ers tro (Kalleberg 1958). Yn 2001, defnyddiodd Sloman a'i chydweithwyr danciau ailgylchredol i gymharu strwythur cymdeithasol brithyllod *S. trutta* o dan lif llawn a llif isel (37 % o ddyfnder y tanciau llif llawn). Ymddengys fod cynnydd yn y nifer o ryngweithiadau ymosodol am ddau ddiwrnod wedi i'r llif leihau (gwahaniaeth ystadegol anarwyddocaol). Yn fwy diweddar, trwy gyfeirio ffrwd melin i wely nant ffug fawr (60 x 1.5 m) oedd ag ochr wydr iddi, bu Stradmeyer *et al.* (2008) yn grefftus yn astudio ymddygiad pariaid *S. salar* a *S. trutta*. Roedd modd cynnal triniaeth llif isel â llifddor bwrpasol. Canfuwyd bod pariaid brithyllod brown yn drechol dros rai eog yr lwerydd pan fyddant yn ymgynnull mewn pyllau. O fewn y pyllau hyn, ffurfiwyd hierarchaeth gymdeithasol, lle bydd safle hierarchol pysgodyn yn rhagfynegydd o'i allu i ennill bwyd. Bydd ymatebion ymddygiadol pariad i lifoedd isel yn cael eu hadlewyrchu yn eu cyllideb bioegniol. Ystyrir dylanwad poblogaethol hynny nesaf.

## **2.6. Ymatebion poblogaethol pariaid *S. salar* a *S. trutta* i lifoedd isel**

Mae nifer o boblogaethau anifeiliaid yn parhau dros gyfnodau amser estynedig. Fodd bynnag, ni fydd y nifer o unigolion mewn unrhyw boblogaeth yn cynyddu'n ddiderfyn. Nid yw'n afresymol, felly, i awgrymu fod rhaid i'r fath boblogaethau gael eu rheoli mewn rhyw fodd sy'n peri iddynt gynyddu pan fydd aelodau'r boblogaeth yn brin ac i leihau pan yn niferus. Daw dau fecanwaith amlwg i'r fei. Dylanwada mecanwaith dwysedd-ddibynnol ar boblogaeth organeb yn ôl dwysedd yr unigolion sy'n bresennol. Mae cystadleuaeth ymysg salmonidau tiriogaethol am lochesi a chyflenwad bwyd yn enghraifft gydnabyddedig o reolaeth dwysedd-ddibynnol poblogaeth anifeiliaid; bydd cynnydd i ddwysedd unigolion yn cynyddu gerwinder y gystadleuaeth am adnoddau (gweler Begon *et al.* 2006). Rheola ffactorau dwysedd-ddibynnol niferoedd poblogaeth gan ddylanwadu ar gyfraddau geni, marw ac allfudo (*sensu* Haldane 1953, dyfynnir yn Elliott 1987). Cyfeiria effaith dwysedd-annibynnol at ddylanwad sy'n effeithio holl aelodau poblogaeth, yn ddiystyriol o ddwysedd y boblogaeth honno. Enghraifft o hyn fyddai llifogydd yn sgwrio swbstrad nant i'r fath raddau fel bod wyau brithyllod yn cael eu golchi ymaith gan leihau nifer recriwtiaid y flwyddyn honno. Nid yw dwysedd wyau yn dylanwadu ar gyfradd y sgwrio yn yr achos hwn.

Yn aml, bydd effeithiau dwysedd-annibynnol yn rhai hinsoddol. Gall dylanwadau anthropogenig, megis llygredd, chwarae'r un rhan. Mae maint cyfraniad mecanweithau dwysedd-ddibynnol ac -annibynnol i reolaeth poblogaethau yn bwnc dadleuol (e.e. Sakuramoto 2016); cyfranna data o boblogaethau salmonid wybodaeth hanfodol i'r drafodaeth hon (e.e. Lobón-Cerviá 2007). Ni fyddai'n addas manylu ar y drafodaeth fan hyn, ond gweler Elliott (1994) am adolygiad cryno a llyfryddiaeth arweiniol. Fel sail cysyniadol yr adolygiad hwn, defnyddir gosodiad Haldane (1956): Ar y cyfan, bydd newidiadau i ddwyseddau poblogaethol yn ganlyniad o ffactorau dwysedd-ddibynnol mewn amgylcheddau ffafriol, a ffactorau dwysedd-annibynnol mewn amgylcheddau anffafriol. Daw'r angen i ddiffinio rôl yr amgylchedd yn y broses hon yn amlwg yn y man.

### **2.6.1. Rheoliad dwysedd-ddibynnol**

Adnabyddir llif fel prif reolydd nodweddion ecosystemau llifeiriol (Poff a Zimmerman 2010). Y mecanwaith dwysedd-ddibynnol pwysicaf ar gyfer pariaid brithyll ac eog yw cystadleuaeth mewn-rywogaethol am adnoddau (Jonsson a Jonsson 2011). Mewn achos o lif isel, ac o safbwynt poblogaethau pariaid salmonid, ceir sefyllfa ddiddorol. Wrth i arllwysiad (a chyflymder dŵr) nant neu afon leihau, bydd y nifer o infertebratau sy'n pasio pysgodyn llonydd yn lleihau. Hynny yw, yn gyffredinol, bydd cyfradd drifftio ysglyfaeth salmonidau yn gostwng wrth i gyflymder y dŵr leihau (Everest a Chapman, 1972); dylid, er hynny, nodi amrywiant rhyng-dacsonomaidd ymddygiad infertebratau mewn llif isel. (Allan 1987; Dewson *et al.* 2007). Gall ymateb sydyn aelodau'r benthos i ffoi aflonyddiad amgylcheddol, megis llif isel, achosi brig yn y nifer o ysglyfaeth sydd yn y golofn ddŵr, yn enwedig dros gyfnod byr wedi'r aflonyddiad. Fodd bynnag, wedi'r brig dros dro, bydd gostyngiad yn y cyflenwad bwyd ar gefn crebachiad llif hefyd yn lleihau argaeledd microgynefinoedd dymunol i bariaid *Salmo* (lloches effeithiol a lleoliad hela effeithlon); hynny drwy gyfangu'r arwynebedd gwlyb. Fel y nodwyd yn gynharach (Adran 2.5), bydd lleihad yn yr arwynebedd gwlyb yn peri i ddwyseddau pysgod gynyddu wrth iddynt symud i byllau ac ardaloedd dyfnach. Yn achos llif afon isel, felly, cymhwysir rheolaeth dwysedd-ddibynnol ar bariaid *Salmo* drwy achosi lefelau cystadleuaeth fwy heriol am adnoddau bwyd a thiriogaethau.

Mae'n ddefnyddiol cyffredinoli ymhellach fan hyn. Gellir ystyried llifoedd cymharol isel o fewn amrywiant arferol cyfundrefn llif i fod o fewn ffiniau 'amgylchedd ffafriol' pariaid. O ddilyn gosodiad Haldane (1956), mynnir mai rheolaeth dwysedd-ddibynnol fydd yn chwarae'r brif ran o reoli poblogaeth o bariaid salmonid o fewn y fath ffiniau llifoedd ffafriol. Pan fydd nant neu afon yn disgyn i lefel eithafol sychder, yna, disodlir

rheolaeth dwysedd-ddibynnol gan ddylanwad ffactorau dwysedd-annibynnol megis tymereddau uchel a lefelau ocsigen isel. Ystyrir dylanwad rheolaeth dwysedd-ddibynnol yn gyntaf, cyn canolbwyntio ar reolaeth dwysedd-annibynnol. Dylid nodi, fodd bynnag, fel mewn llawer o brosesau ecolegol eraill, mai anaml fydd rheolaeth poblogaethau naill ai'n gyfangwbl ddwysedd-ddibynnol neu'n gyfangwbl ddwysedd-annibynnol. Mwy tebygol yw cyfuniad o elfennau dylanwadol (dwysedd dibynnol ac annibynnol) yn effeithio poblogaeth ar yr un pryd.

Daliad canolog cysyniad rheolaeth dwysedd-ddibynnol poblogaethau yw'r berthynas rhwng maint y boblogaeth atgenhedlol (stoc) a nifer yr epil (recriwtiaid) a gynhyrchir. Mae modelu'r berthynas hon wedi bod yn destun ymdrech estynedig yn y llenyddiaeth ar bysgodfeydd; yn benodol, ar y pysgodfeydd hynny sydd wedi eu gorddefnyddio. Yn ôl Jonsson a Jonsson (2011), gellir ystyried detholiad cryno o bedair cromlin sy'n addas ar gyfer modelu recriwtiaid stoc poblogaethau salmonid: cromliniau Ricker (1954), Beverton a Holt (1957), Cushing (1973) a Shepherd (1982). Y mwyaf cyfarwydd i ymchwilwyr pysgodfeydd cyffredinol yw modelau Ricker, a Beverton a Holt, tra bod cromliniau Cushing a Shepherd yn fwy cyfarwydd mewn disgrifiadau o boblogaethau salmonid. Gellir mynegi 'stoc' fel dwysedd, biomas neu cynnwys egni pysgod aeddfed, neu fel dwysedd wyau ar ddechrau pob cenhedlaeth. Mynegir dwysedd 'recriwtiaid' fel y nifer o epil o gyfnod oed penodol, megis y cyfnod pâr (er gall fod yn alfin, gleisiad neu bysgodyn aeddfed), mewn nant neu afon, neu mewn rhan benodol a chyfyngedig o'r naill neu'r llall. Mae modelu'r berthynas rhwng dwysedd stoc a recriwtiaid wedi datgelu cyfoeth o wybodaeth manwl am ddynameg poblogaethau salmonid. Am y tro, mae'n ddigonol nodi fod sail tystiolaeth argyhoeddiadol am ddylanwad rheolaeth dwysedd-ddibynnol ar boblogaethau pariaid brithyll brown (Elliott a Elliott 2006) ac eog yr Iwerydd (Gardiner a Shackley 1991; Crozier a Kennedy 1995) yn bod. Dylid nodi'r ymdrech sylweddol sydd ei angen i gasglu'r fath ddata hir-dymor (> 30 mlynedd yn achos astudiaethau niferus Elliott a'i gydweithwyr). Adnoddau i'w trysori yw cronfeydd data o'r fath, gan iddynt alluogi datblygiad modelau defnyddiol (gweler Likens (1989), Magnuson (1990) neu Burt (1994) am enghreifftiau o gyfraniad data hir-dymor at ddealltwriaeth ecolegol). O reidrwydd, maent yn brosiectau hir a chostus.

Un broblem o gymharu dylanwad sychder ar fiota afon un flwyddyn i lif llawn blwyddyn arall yw'r posibilrwydd fod nifer o ffactorau, er enghraifft newid i ddefnydd tir dalgylch, hefyd yn newid gydag amser. Mae dyluniadau arbrolol lle cyfnewidir amser am ofod yn cynnig dull gwahanol o gymharu poblogaethau. Gan ddefnyddio'r fath ddyluniad, caiff cymariaethau eu cynnal rhwng lleoliadau gwahanol o dan gyflyrau rheoli (e.e. llif

llawn) ac arbrofol (e.e. sychder) ar yr un pryd. Defnyddiodd Baran *et al.* (1995) ddylanwad pwerdai hydro ar 15 o nentydd (16 safle arbrofol) ym mynyddoedd y Pyreneau i gymharu effaith llifoedd isel (islaw'r pwerdai) a llawn (uwchlaw'r pwerdai) ar ddwyseddau a thwf brithyllod *S. trutta*. Nodwyd lleihad yn nwyseddau pysgod (brithyll oedd yn llai na 110 mm a 160 mm) mewn pump a naw o'r 16 safle, yn ôl trefn. Roedd y mesuriad hwn o ddwyseddau'r pysgod wedi ei gymryd fesul medr llinol o nant. Pan aethpwyd ati i ofyn yr un cwestiwn ond gyda dwyseddau yn ôl arwynebedd gwlyb, gwelwyd fod dylanwad y llif isel yn llai amlwg. Awgrymir fod lleihad mewn cynefin gwlyb wedi lleihau cynhwysedd cludo'r adrannau hynny o'r nentydd a oedd islaw'r pwerdai. O grebachu'r gynhaliaeth adnoddau, cafodd niferoedd y pysgod eu cynnal gan brosesau rheoli dwysedd-ddibynnol.

Gan ddefnyddio data naw carfan oed o bariaid eog yr Iwerydd a modelau llinol cyffredinoleddig cymysg, dangos Davidson *et al.* (2010) sut mae cynnydd mewn dwysedd pariaid yn lleihau cyfraddau twf y pysgod. Roedd yr effaith mwyaf amlwg yn ystod cyfnodau'r haf a'r hydref. Roedd brithyll hefyd yn bresennol yn y nentydd a astudiodd Davidson a'i gydweithwyr ym Massachusetts, UDA, ond bychan oedd effaith dwysedd y brithyll ar gyfraddau twf yr eogiaid. Dros gyfnod yr astudiaeth, nododd yr awduron fod effaith arllwysiad yr afon, a thymheredd y dŵr, ar gyfradd twf y pariaid *S. salar* yn sylweddol fwy na dylanwad dwysedd y pysgod. Ategir y canfyddiad hwn gan Nislow *et al.* (2004) lle bu dwysedd uwch o bysgod mewn llif is yn gysylltiedig â chyfradd twf is pariaid eog mewn nant yn New Hampshire, UDA. Mewn astudiaeth gymharol, adrodda Vøllestad a Olsen (2008) am berthynas groes dwysedd a chyfradd twf pariaid brithyll *S. trutta* mewn nant yn ne ddwyrain Norwy. Roedd perthynas groes hefyd rhwng goroesedd (y tebygolrwydd o fod yn fyw ac yn bresennol o fewn ardal yr astudiaeth) y pariaid brithyll a'u dwysedd, yn ogystal â gerwinder sychderau. Adroddwyd fod rhyngweithiad sychder a dwysedd ag effaith arwyddocaol ar oroesedd. Awgrymwyd esboniad ecolegol gyfarwydd gan yr awduron am y rhyngweithiad ystadegol: fod effeithiau dwysedd-ddibynnol yn trechu yn ystod cyflyrau amgylcheddol mwyn, tra mai prosesau dwysedd-annibynnol oedd bwysicaf dan gyflyrau amgylcheddol garw (y sychder).

O safbwynt newidiadau hinsoddol disgwylidig, mae'n bosib bydd llifoedd is yn mynd law yn llaw â chynnydd yn nhymeredd dŵr nentydd ac afonydd cynhenid yr eog a'r brithyll (Jonsson a Jonsson 2009). O dan y fath gyflyrau cynnes a chyfyng (dwyseddau pysgod uchel), mae'n debygol y bydd gan barasitiaid a phathogenau rôl i chwarae yn rheoliad dwysedd-ddibynnol poblogaethau pariaid *Salmo* (gweler Bakke a Harris 1998). Bydd dylanwad afiechydon ar ffitrwydd y poblogaethau hyn dan

lifoedd isel y dyfodol yn ffwythiant o ryngweithiad ffactorau biotig (megis dwysedd pysgod) ac anfiotig (megis tymheredd a chrynodiad ocsigen). Y cam cyntaf yw ennill dealltwriaeth o'r ffactorau anfiotig a biotig craidd hyn.

Mae prosesau dwysedd-ddibynnol, felly, yn rheoli poblogaethau pariad brithyll brown ac eog yr Iwerydd yn ôl dylanwadau anuniongyrchol megis twf, yn ogystal ag effeithiau uniongyrchol (cyfraddau geni, marw a mudo). Yn gyffredinol, pan fydd arllwysiad afon neu nant yn lleihau o fewn cyfundrefn llif arferol, bydd cynhwysedd cludo'r cynefin hwnnw yn cyfangu wrth i gyflenwad ysglyfaeth arafu a thiriogaethau brinhau. Cyn belled â bod y lleihad llif o fewn ffiniau cyflyrau ffafriol ar gyfer prosesau ffisiolegol salmonid, yna mae'n rhesymol disgwyl i'r boblogaeth fod o dan reolaeth ffactorau dwysedd-ddibynnol gan fodloni'r cymhwysedd cludo newydd (llai o ysglyfaeth a thiriogaethau). Os bydd llif yn parhau i gilio i'r fath raddau fel ei adnabyddir fel sychder, yna bydd casgliad newydd o rymoedd anfiotig yn cymhwyso dylanwad dwysedd-annibynnol ar bariaid salmonid.

### **2.6.2. Parhad dwysedd-annibynnol**

Mae sychder yn trawsnewid nant neu afon. Wrth i'r llif lonyddu i byllau bas, bydd tymheredd y dŵr yn codi, crynodiad hydoddion yn cynyddu ac affinedd y dŵr am ocsigen hydoddedig yn lleihau (Boulton 2003; Lake 2003). Ffactor dyngedfennol ar gyfer poikilothermau megis brithyllod ac eogiaid yw tymheredd y dŵr. Yn nodweddiadol o bysgod yn gyffredinol, nid oes gan y salmonidau fodd i reoli tymheredd eu cyrff; i bob pwrpas, bydd tymheredd cyrff brithyll ac eog yn dilyn tymheredd y dŵr. Ynghyd â dylanwadu ar gyfraddau metabolaid a thwf y pariaid, rho'r brithyll brown (Elliott 1975a; 1982), ac eog yr Iwerydd (Elliott 1991) y gorau i fwydo mewn tymereddau uwch na ~ 19.5 °C a ~ 22.5 °C, yn ôl trefn. Bydd tymereddau o ~ 30 °C (Elliott 1981) a ~ 33 °C (Elliott 1991) yn angheuol i *S. trutta* a *S. salar*, yn ôl trefn.

O safbwynt pysgod a'u hysglyfaeth macroinfertebrataidd, yn nodweddiadol, bydd ansawdd dŵr nant yn gwaethygu mewn sychder (Boulton 2003; Mosley 2015). Wrth i dymheredd y dŵr gynyddu, mae'r molecylau dŵr a'u hydoddion yn symud yn gynyddol egnïol, gan achosi cynnydd yn y nifer o folecylau ocsigen sy'n torri'n rhydd o'r hydoddiant fel nwy. Felly, yn ystod sychder lle bydd tymheredd y dŵr yn codi, bydd crynodiad yr ocsigen (O<sub>2</sub>) hydoddedig yn disgyn. Mae'r cyfuniad o dymheredd uchel a chrynodiad O<sub>2</sub> ddiffygiol a ddaw yn sgil sychder yn ffurfio her ffisiolegol sylweddol i bariaid *Salmo*. O ystyried gosodiad Haldane (1956) unwaith yn rhagor, gellir dosbarthu pegwn eithaf llif isel (sef "sychder") fel amgylchedd anffafriol o safbwynt

salmonidau. O dan y fath gyflyrau, disgwylir i reoliant dwysedd-ddibynnol chwarae rôl ategol, tra bydd ffactorau dwysedd-annibynnol, megis tymheredd a chrynodiad ocsigen, yn hebrwng dynameg poblogaethol pariad. Ceir dogfennaeth o golledion eog yr Iwerydd (Brooker *et al.* 1977; Cowx *et al.* 1984) a brithyll brown (Solomon a Paterson 1980; Danehey *et al.* 1998; Nicola *et al.* 2009; Vehanen *et al.* 2010; Vøllestad a Olsen 2008) yn ystod sychderau. Daw esiampl eglur o drechedd ffactorau dwysedd-annibynnol sychder dros reolaeth dwysedd-ddibynnol o ddata hir-dymor Elliott a'i gydweithwyr o boblogaeth brithyllod brown ger Llyn Windermere, DU. Fel y nodwyd eisoes, roedd cromlin recriwtiaid stoc Ricker yn ddisgrifiad arwyddocaol ( $p < 0.01$ ) o berthynas dwysedd wyau a phariaid y boblogaeth hon am gyfnod yn ymestyn dros 30 mlynedd. Hynny yw, heblaw am flynyddoedd o sychder lle roedd niferoedd pariad yn is na fyddai i'w disgwyl dan gyflyrau arferol (Elliott 1985; 1993; Elliott *et al.* 1997).

## 2.7. Casgliad

Yn y bennod hon, adolygwyd dylanwad llifoedd isel ar gyfnod pâr y brithyll brown ac eog yr Iwerydd. Ymrannwyd y llenyddiaeth i ymatebion ymddygiadol a phoblogaethol yn ôl tri math bras o lif isel o safbwynt salmonidau nantyddol. Yng nghyd-destun llifoedd isel o ganlyniad i brosesau hinsoddol, gellir ystyried llif isel i fod yn (1) llif o fewn ffiniau cyflyrau ffisiolegol ffafriol salmonidau, neu (2) llif sydd tu allan i'r ffiniau hyn pan fydd symptomau sychder yn cymryd gafael gan gynyddu tymereddau a lleihau crynodiad  $O_2$  hydoddedig. Rheolaeth dwysedd-ddibynnol fydd ar waith o fewn cyflyrau ffafriol. Rheolaeth dwysedd-annibynnol fydd yn gweithredu o fewn sychder. Ystyriwyd hefyd trydydd math o leihad llif ar ddechrau'r bennod hon, sef lleihad sydyn, disymwth briglifoedd pan gaiff rhyddhad dŵr ei gyfangau mewn nentydd ac afonydd islaw pwerdai hydro. Mae'n ddefnyddiol bod yn ymwybodol o ddylanwad uniongyrchol gweithredau anthropogenig ar salmonidau, gan gynnwys briglifoedd. Un rheswm am hyn yw nad yw dylanwad llifoedd isel ar bysgod o ganlyniad prosesau hinsoddol yn gweithredu ar ben ei hun. O fewn ecosystemau'r byd, bydd y dylanwadau hyn yn rhyngweithio ag effeithyddion anthropogenig eraill gan gynnwys briglifoedd, sianeleiddiad nentydd ac afonydd, rhwystrau cronni dŵr megis argaeau a choredau, newid defnydd tir, prosesau gwaddodol a newid i ansawdd dŵr. O ganlyniad i brosesau hinsoddol yn unig, fodd bynnag, pwysleisir mai ystyried dau brif ddsbarth o lif isel dylid ei wneud: lleihad llif o fewn ffiniau ffisiolegol ffafriol (rheolaeth dwysedd-ddibynnol ar bariaid *Salmo* spp.) ac thu hwnt i'r ffiniau ffafriol hyn yn ystod sychder (rheolaeth dwysedd-annibynnol).

Mae amgylcheddau gwneuthuredig, gan gynnwys arbrofion ac arsylwadau mewn tanciau gwydr mawr, wedi galluogi'r modd o gasglu gwybodaeth hanfodol ar ymatebion ymddygiadol pariaid *Salmo* i leihad llif. Mae'r wybodaeth hon wedi bod yn allweddol yn nhatblygiad dealltwriaeth o fecanweithiau rheolaeth dwysedd-ddibynnal pysgod tiriogaethol y Salmonidae. Mewn modd tebyg, mae gwybodaeth fanwl am ffisioleg y pysgod hyn wedi ei chasglu o dan gyflyrau annaturiol amgylcheddau gwneuthuredig. Ffuria data o'r fath sail ar gyfer ymwybyddiaeth o drothwyon paramedrau anfiotig a hebrynga rheolaeth dwysedd-annibynnal yn y maes.

Mae defnyddio rhwydwaith cwmnïau dŵr i gynnal arbrawf lleihad llif o fewn ffiniau ffafriol brithyllod ac eogiaid yn cynnig modd o efelychu lleihad llif hinsoddol yn y maes gan gynnal parth rheoli llif llawn i wneud cymariaethau e.e. Baran *et al.* (1995) a De Crespin De Billy *et al.* (2002); y ddwy astudiaeth mewn afon yn y Pyreneau Ffrengig. Defnyddir y dyluniad hwn ym Mhenod 4 i fesur dylanwad lleihad llif ar reoliant poblogaethau brithyll ac eog Cymreig. Un o brif gyfyngiadau arbrofion â'r dyluniad hwn yw diffyg data cyn y driniaeth. Adlewyrcha hyn yr angen am ddata o nifer o safleoedd gwahanol i ennill gwybodaeth ddibynadwy. Ym Mhenod 3 cyflwynir methodoleg wreiddiol a ellir ei haddasu ar gyfer unrhyw nant er mwyn cynnal arbrofion sy'n casglu data cyn, ac ar ôl, triniaeth llif isel mewn parthau rheoli ac arbrofol (dyluniad arbrofol safonol Cyn-Ar ôl, Rheoli-Dylanwad (CARD)). Yn ymarferol, fodd bynnag, cyfyngir defnydd y fethodoleg hon i nentydd gymharol fechan gan fod costau ariannol offer pwmpio a thanwydd yn chwyddo'n sylweddol wrth i arllwysiad ffrwd ddyfrol ddatblygu o fod yn nant i fod yn afon. Yn hynny o beth, mae defnyddio cyfarpar cwmnïau dŵr yn cynnig modd prin o efelychu llifoedd isel o ganlyniad i brosesau hinsoddol; yn arbennig felly mewn afonydd ac iddynt arllwysiad sylweddol.

Daw llawer o'r wybodaeth am ddylanwad sychderau (lleihad llif tu allan i ffiniau ffisiolegol 'ffafriol' salmonidau) o astudiaethau sydd wedi manteisio ar sychderau naturiol yn y maes. Cryfder y fath astudiaethau yw eu bod yn samplu o ecosystemau cyflawn. Rhain yw'r systemau sydd angen gwybodaeth arnynt er mwyn ffurfio rhagfynegiadau cywir o ddylanwadau hinsoddol yn y byd naturiol. Eu gwendid yw diffyg rheolyddion drwy amser gan fod sychderau hinsoddol yn effeithio dalgylchoedd cyfan, ac nid afonydd unigol neu rannau penodol o afonydd. Gellir dylunio arbrawf symledig, ac iddo reolyddion cadarn, mewn amgylchedd gwneuthuredig megis labordy'r ecolegydd yn gymharol hwylus. Cryfder y fath arbrofion, fodd bynnag, yw astudio mecanweithiau penodol. Cyfyng yw defnydd data sydd wedi eu casglu o system syml wrth geisio rhagfynegi ymddygiad ecosystem naturiol a chymhleth. Ym Mhenodau 5 a 6, adroddir ar beth a gredir i fod y sychder arbrofol cyntaf i'w greu a'i

gynnal mewn mesocosmau rhaeadrol. Nerth y fath ddyluniad yw bod modd efelychu sychder eithafol, o'r fath y disgwylir yn hanesyddol unwaith pob canrif (ond a ddisgwylir i ddigwydd yn amlach yn y dyfodol), ynghyd â rheolyddion cadarn dros amser. Lleolir cyfleuster arbrofol y mesocosmau yn Arsyllfa Llyn Brianne, canolbarth Cymru. Mae Penodau 5 a 6 yn llenwi'r angen am ddata arbrofol o ecosystemau ucheldirol cynrychiadol. Ceir trafodaeth fanwl o arwyddocâd adeiladu mesocosmau rhaeadrol i efelychu morffoleg nentydd ucheldir Cymru ym Mhennod 5.

Mae'r *Salmo* yn ran annatod, economaidd werthfawr o bysogfa'r Ddaear. Cyflwynwyd y brithyll brown ledled y byd erbyn hyn, oherwydd ei boblogrwydd gyda physgotwyr hamdden; fe'i gwelir mewn amrywiaeth o fiomau a'u cyfundrefnau llif perthnasol. Tra bod sychderau wedi bod yn rhan annatod o amgylcheddau arferol poblogaethau megis y rhai hynny mewn ardaloedd Canoldirol, nid felly ar gyfer poblogaethau tymherus. Bwriad yr adolygiad hwn yw darparu cyd-destun cysyniadol gyffredinol-gymhwysol am ymatebion i lifoedd isel yn ystod tymhorau tyfu pariaid y *Salmo*. Yn y penodau sydd i ddilyn, profir damcaniaethau gwreiddiol er budd y gronfa wybodaeth gyffredinol o ddylanwad llifoedd isel ar bariaid brithyll brown ac eog yr lwerydd, a'u hysglyfaeth, mewn nentydd ac afonydd Cymreig.



### **3. Pennod 3: Dargadwedd brithyllod (*Salmo trutta* L.) ucheldirol a sefydlogrwydd eu hadnodd ysglyfaethol o dan leihad llif arbrofol**

#### **3.1. Crynodeb**

Mae lleihad llif o ganlyniad i gyflyrau hinsoddol ac aflonyddiadau anthropogenig yn nodwedd nodedig o ecosystemau llifeiriol. Ceir traddodiad cryf o ddefnyddio arbrofion mesocosm symledig i fesur ymatebion ymddygiadol fertebratau dyfrol, gan gynnwys pysgod salmonid, i ddylanwadau biotig ac afiotig. Yn ôl theori optimeiddio, mae'n resymol i ddisgwyl i organeb gynnal ei diriogaeth hyd nes bod y fantais o wneud hynny yn syrthio'n is na'r anfantais. Ymateba'r astudiaeth gyfredol i'r alwad i brofi'r ddamcaniaeth hon mewn arbrawf ailadroddadwy â chymhlethdodau ecosystem gynrychiadol. Cyflwynir dull o gynnal lleihad llif chwim o fewn fframwaith safonol dyluniad arbrofol CARD (Cyn-Ar ôl, Rheoli-Dylanwad) mewn nant ucheldirol. Mesurwyd dargadwedd lleol pariaid brithyll *Salmo trutta* L. a sefydlogrwydd dwysedd, biomas a strwythur cymunedol eu hysglyfaeth macroinfertebrataidd.

#### **3.2. Cyflwyniad**

Daw trwch gwaith ymchwil ecolegwyr ymddygiadol o geisio amgyffred y berthynas rhwng argaeledd adnoddau ac ymddygiad organebau (Pulliam 1989). Gellir dehongli ymddygiadau yn ôl eu cyfraniad i ffitrwydd Darwiniaidd y bod byw dan sylw. Gan fenthg dulliau peirianwyr ac economegwyr, megis theori gemau a theori rheoli, mae ecolegwyr wedi mynd ati i geisio rhagdybio ac esbonio ymddygiad anifeiliaid yn ôl theori optimeiddio (Smith 1978; Parker a Smith 1990). Hynny yw, y cysyniad y bydd ymateb ymddygiadol anifail i ffactor ddylanwadol wedi ei optimeiddio at oroesedd ac atgenhedliad yr organeb honno.

Yn ôl theori optimeiddio, felly, bydd anifail yn parhau mewn ardal nes bod yr anfanteision o wneud hynny'n goddiweddyd y manteision. Trwy reoli cost fetabolaidd cynnal safle ar wely nant, yn ogystal â'r gyfradd o eitemau ysglyfaeth fydd yn pasio salmonidau yng ngherrynt y dŵr, llywia llif dŵr gyllideb egni pysgodyn mewn amgylchedd llifeiriol (Fausch 1984). Cyn gynted â dau ddiwrnod a hanner wedi eu deor, bydd brithyllod *S. trutta* yn arddangos ymddygiad ymosodol tuag at ei gilydd (Titus a Mosegaard 1990). Bydd hyn yn arwain at sefydliad tiriogaethau mewn pariaid ifanc. Wrth i'r pariaid dyfu, byddant yn bodoli mewn brithwaith o barthau sy'n gorgyffwrdd, gyda gorsafoedd hela pendant y byddant yn eu hamddiffyn. Y canlyniad yw cymuned o frithyllod, pob un gyda parth unigryw, ond heb fod yn anghynhwysol o

barthau brithyllod eraill, o fewn hierarchaeth gymdeithasol bendant (y pysgod mwyaf yn trechu pysgod llai). Bydd y gymuned honno yn driw i ardal benodol mewn nant (Bachman 1984).

Fel ystyriwyd ym Mhennod 1, ceir dau brif ddylanwad ar boblogaethau brithyll nantyddol o ganlyniad i leihad llif: lleihad cyflenwad bwyd a chynnydd yn nwyseddau pysgod (ac felly cynnydd mewn ymddygiadau cystadleuol a gelyniaethus). Gellir dirnad dau ymateb ymddygiadol symledig gan boblogaethau brithyll nantyddol. Gallant naill ai barhau i gynnal ffiniau eu parthau o dan gyflyrau llif isel anffafriol, neu fudo i lawr y nant lle bydd argaeledd dŵr yn debygol o fod yn uwch wrth nesu at afon neu afonig mwy. Yn ôl theori optimeiddio bydd pariaid yn aros mewn rhan o nant o dan effaith y fath aflonyddiad hyd nes y bydd y fantais o wneud hynny yn llai na'r anfantais o fudo i lawr y nant i leoliad lle bydd arddwysedd yr aflonyddiad yn is.

Dylanwad allweddol cyntaf llif isel yw lleihad mewn arwynebedd gwlyb; o ganlyniad, gwelir cynnydd yn nwyseddau brithyllod dros bob  $m^2$  o wely nant. Yr orsaf hela ddelfrydol i'r pysgod hyn yw ardal â chyflymder dŵr isel sy'n agos i gerrynt dŵr uchel. Hynny, er mwyn bachu infertebratau maethol o'r llif (Fausch a White 1981). Mewn cymunedau salmonid gwelir cystadleuaeth am diriogaethau rhwng pysgod o'r un garfan oed, gyda physgod cryfach, gan amlaf mwy eu maint, yn perchnogi'r safleoedd mwyaf dymunol (Bachman 1984). Bydd pariaid brithyll o'r un maint, ac felly o allu cystadleuol cymharol, yn arddangos perthynas bositif rhwng hyd cyfnod perchnogi tiriogaeth ac ymddygiadau amddiffynnol (Johnsson a Forser 2002). Mae'r egni a fuddsoddir i gynnal tiriogaeth yn ffwythiant o argaeledd egni ymborthol a gwariant egni metabolaidd i amddiffyn y lleoliad. Bydd y trothwy sy'n dynodi'r sefyllfa pryd y bydd yn fanteisiol i frithyll ymadael parth yn debygol o gael ei bennu gan faint o egni sydd eisoes wedi ei fuddsoddi, arddwysedd yr aflonyddiad amgylcheddol, a'r costau ffitrwydd sy'n gysylltiedig â mudo, megis risg ysglyfaethdod.

Wrth i lif dŵr arafu, bydd cyfradd yr infertebratau sy'n pasio brithyll yn gostwng (Everest a Chapman 1972). Yn ogystal â rheoli cyfradd cludo ysglyfaeth infertebrataidd i bysgodfa nant, mae'r llif yn llywio pa gydran o'r gymuned macroinfertebrataidd benthig fydd yn cael ei dadleoli ac yn noflithro'n y golofn ddŵr. Unwaith bydd anifail yn gadel lloches y swbstrad, bydd o dan ddylanwad tynfa'r llif. Gan ystyried maint a siâp corff infertebrat mewn amgylchedd llifeiriol, gellir mynegi'r dynfa a brofa anifail penodol â'r Mynegrif Tynfa (D), yn ôl Rader (1997):

$$D = (U/L) H$$

Ie mae  $H$  = hyd y corff (heb gynnwys y sercws),  $U$  = uchafswm uchder y corff, a  $L$  = uchafswm lled y corff. Po fwyaf fydd y Mynegrif Tynfa, y tebycaf fydd dadleoliad infertebrat gan ei gludo yn y golofn dŵr; proses a elwir yn drifftio goddefol. Yn ogystal, mae nifer o dacsonau infertebrataidd yn arddangos ymddygiad drifftio ar bwrpas fel ymateb ffoi i aflonyddiad, megis llif isel (Dewson *et al.* 2007; James *et al.* 2007). Mae tuedd gan infertebrat i ddrifftio naill ai'n oddefol neu ar bwrpas yn cynyddu'r tebygolrwydd y bydd yr infertebrat hwnnw yn cael ei fwyta gan frithyll (Rader 1997). Mae angen gwybodaeth ar ymatebion macroinfertebratau i aflonyddiad llif o safbwynt cynhaliaeth maethol salmonidau nantyddol.

Rhagfynega modelau hinsoddol gynnydd yn amledd a maint sychderau ar gyfer rhan helaeth o ddostraniad poblogaethau cynhenid y brithyll brown (Bates *et al.* 2008; Jonsson a Jonsson 2009). Cynnwys hyn boblogaethau gwledydd Prydain (Graham a Harrod 2009). Bydd cydbwysu rheolaeth llif nantyddol ar gyfer defnydd bwrdeistrefol ag anghenion ecolegol, gan gynnwys anghenion llif meithrinfeydd salmonid, yn her dan hinsawdd gynyddol-newidiol (Nislow a Armstrong 2012). Daw llawer o'r wybodaeth gyfredol am ddylanwad llifoedd isel ar ymddygiad salmonidau o arbrofion mewn pysgotai (e.e Greenberg 1992; 1994; Bradford *et al.* 1995; Bradford 1997; Huntingford *et al.* 1998; 1999; Halleraker *et al.* 2003; Kemp *et al.* 2003; Flodmark *et al.* 2006; Stradmeyer *et al.* 2008; Cocherell *et al.* 2012) a sianeli annaturiol (e.e. Debowski a Beall, 1995; Armstrong *et al.* 1998). Mae'r amgylcheddau symledig hyn yn adnoddau gwych ar gyfer astudio mecanweithiau ecolegol mewn manylder, ond caiff cymhlethodau niferus gwir ecosystem eu haberthu (Stewart *et al.* 2013).

Ceir adroddiad o frithyllod *S. trutta* yn arddangos strategaeth 'aros a disgwyl' mewn nant galch naturiol yn wyneb lleihad llif arbrofol (Riley *et al.* 2009). Yn gyffredinol, bydd nentydd calch iseldirol â gwllâu mwy gwastad a llif mwy cyson na nentydd ucheldirol, sydd â ffurf pwll-crychdon amlycach a chyfundrefn llif mwy anwadal (WTT 2008). Yn groes i ddynmeg sychu sianel â gwely gwastad, bydd lleihau llif nant â

morffoleg pwll-crychdon yn golygu fod parthau bas yn sychu'n gynt na phyllau dyfnach. Gall cyfyngiad anghyfartal cynefinoedd bas olygu mai'r parthau hynny sydd yn dal yn wlyb yw'r pyllau a hawlir gan y pysgod cryfaf, mwyaf trechol. Byddai sefyllfa o'r fath yn debygol o ddylanwadu ar hierarchaeth gymdeithasol pysgod salmonid wrth i ffiniau parthau pysgod grebachu i barthau cyfyngach (Sloman *et al.* 2001). Er lles rhagfynegiadau defnyddiol o ddylanwad newid i'r gyfundrefn lif ar y bysgodfa frithyll, mae angen data o'r maes ar ymateb brithyllod i leihad llif mewn nant naturiol sy'n gynrychiadol o nentydd yr ucheldiroedd.

Yn y bennod hon, cyflwynir astudiaeth unigryw gyda'r nod o fesur dargadwedd brithyllod yn wyneb lleihad llif arbrofol mewn nant naturiol yn ucheldir de Cymru, DU, gan ddefnyddio dyluniad arbrofol Cyn-Ar ôl, Rheolydd-Dylanwad (CARD). Trwy ddefnyddio'r dyluniad arbrofol safonol hwn arddengys modd o efelychu aflonyddiad llif isel hinsoddol mewn nant ucheldirol serth drwy ddefnyddio pwmp allgyrchol i arallgyfeirio llif, sy'n galluogi cymhariaeth rhwng parth rheoli a pharth arbrofol ar yr un pryd. Cynigir dwy ddamcaniaeth. Yn gyntaf, bydd brithyllod, yn unol â theori optimeiddio, yn arddangos dargadwedd lleol cryf o dan aflonyddiad llif isel. Yn ail, bydd y driniaeth llif isel yn effeithio adnodd maethol benthig brithyllod drwy leihau dwysedd a chyfanswm biomas macroinfertebratau, a bydd yr ymatebion yn dacson-benodol.

### **3.3. Methodoleg**

#### **3.3.1. Y safle**

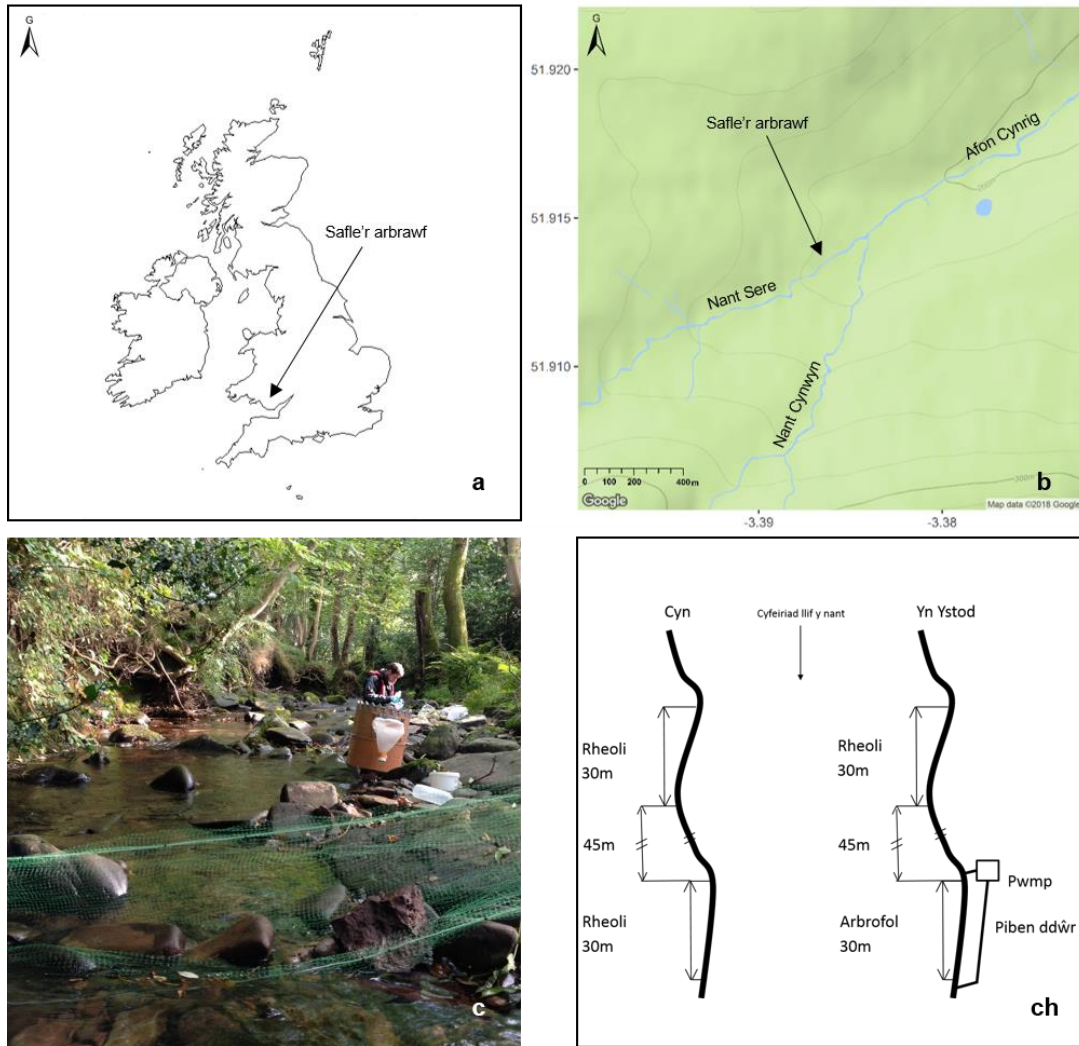
Lleolwyd yr arbrawf yn Nant Sere, sef nant Gradd 4 (rhif Horton-Strahler wedi seilio ar Arolwg Ordnans (AO), 2009: 1:25000) ym Mannau Brycheiniog, de Cymru, DU (cyfeirnod 51.913654, -3.3861548). Mae Cymru'n wlad fynyddig ac iddi asgwrn cefn o dir uchel o'r Wyddfa yn y gogledd (1085 m) i Fannau Brycheiniog yn y de (885 m; Y Swyddfa Dywydd 2017a). Ceir cyfundrefn hinsoddol arforol gyda cymylau o Fôr yr Iwerydd yn codi ac oeri dros ucheldir Cymru, a bydd yr anwedd dŵr yn disgyn fel glaw gan ddyfrio rhagnentydd ucheldirol. Yng Nghymru, ceir ystod tymheredd cyfartalog o 1.1 °C yn fis Chwefror (mis oeraf y flwyddyn) a 19.2 °C ym mis Gorffennaf (mis cynhesaf y flwyddyn). Yn flynyddol, ceir 1,401 awr o heulwen a 1,460.3 mm o law (data Y Swyddfa Dywydd (2017b), cyfartaleddau 1981-2010).

Canfyddir nifer helaeth o ragnentydd prif afonydd de-ddwyrain Cymru, gan gynnwys Afon Taf ac Afon Wysg, ym Mannau Brycheiniog. Yn ddaearegol, cyfansoddir y Bannau o graigwely gwaddodol ar ffurf Hen Dywodfaen Coch sy'n nifer o gilomedrau

mewn trwch. Gwaddodwyd y graig hon mewn afonydd ac anialychau rhwng 420 a 360 miliwn o flynyddoedd yn ôl. Ceir carreg laid, tywodfaen a chalchfaen yn yr ardal hefyd (British Geological Survey 2017). Roedd safle'r arbrawf yn enghreifftiol o nant craigwely (Gordon *et al.* 1992), lle pennir cyfeiriad llif y nant gan y ddaeareg leol. Cludir dŵr o ddalgylch 5 km<sup>2</sup> (amcan gweledol; DaftLogic 2015) Cwm Sere, a derfyna ar frig Cefn Cwm Lluch, dros Pen y Fan, ac yn ôl am gyfeiriad Aberhonddu ar hyd brig Bryn Teg, gan Nant Sere i Afon Wysg. O'r man uchaf, mae Nant Sere yn disgyn 122 m<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup> (ar gyfartaledd) i safle'r astudiaeth (dargopiad o fap Google, DaftLogic 2018, gan ddefnyddio meddalwedd ImageJ, National Institute of Health, UDA). Gorchuddir mwyafrif dalgylch y nant gan rostir bras sy'n cael ei bori gan ddefaid. Ar ardal dorlannol rhanbarth isaf y nant tyf coed collddail cynhenid gan gynnwys derw (*Quercus* spp.), gwern (*Alnus glutinosa*), bedwen (*Betula pendula*) ac onnen (*Fraxinus excelsior*) (Davies a Whittaker 2010). Mae'r nant yn amniwtral ac yn gymharol oligodroffig (pH: 7.14; dargludedd: 101 µS; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 0.92 mg l<sup>-1</sup>; Thomas 2014). Yn lleoliad yr arbrawf, rhed Nant Sere â phlan-ffurf gymharol syth. Rhwng rhaedrau a phyllau dwfn, cynhaliwyd yr arbrawf mewn dau barth oedd a meini mawr ymysg cerrig llai, pyllau bas a nifer o grychdonnau. Oddeutu 100 m o safle'r arbrawf mae Nant Sere yn ymuno â Nant Cynwyn i ffurfio Afon Cynrig, sy'n llifo i Afon Wysg ger Aberhonddu. Brithyll brown preswyl (dŵr croyw) a gynhalia Afon Wysg ar y cyfan, ynghyd ag ychydig o bysgod esgynnol. Darpara'r nentydd sy'n llifo i Afon Wysg, gan gynnwys Nant Sere, gynefinoedd meithrin hanfodol ar gyfer brithyllod ifanc a fydd yn symud, wedi aeddfedu, i'r brif afon (Bembo *et al.* 1993).

### **3.3.2. Dyluniad arbrofol**

Cynhaliwyd yr arbrawf yn hwyr yn haf 2014, gyda thriniaeth gyson dros bum diwrnod (cyfnod pwmpio: 82 awr). Yn yr arbrawf, diffinnir 'triniaeth' fel lleihad arllwysiad nantyddol drwy wyriad dŵr â phwmp. Dyluniwyd yr arbrawf ar fframwaith CARD (Ffigwr 3.1). Roedd y parth rheoli a'r parth arbrofol yn 30 m o hyd yr un. Lleolwyd y parth rheoli i fyny'r nant o'r parth arbrofol, gyda 45 m o hyd nant yn eu gwahanu. Roedd dwy raeadr fechan (~3 m o uchder) yn gwahanu'r parthau ac yn rhwystr sylweddol (yn nhyb yr awdur) i symudiadau brithyll. Cyn y driniaeth, roedd lled gymedrig y parth rheoli yn 2.63 m (cymedr pedwar mesuriad) a'i ddyfnder cymedrig yn 11.9 cm (cymedr 20 mesuriad) (tudalen 29 ag Atodiad 1 am ddisgrifiad o'r dull mesur). Yn ôl mesuriadau tebyg yn y parth arbrofol, roedd gan Nant Sere led o 3.15 m a dyfnder o 14.6 cm (cyn y driniaeth).



**Ffigur 3.1: Lleoliad a dyluniad arbrawf lleihad llif**

Lleoliad Nant Sere, Bannau Brycheiniog, Cymru, DU (a), safle arbrawf lleihad llif (b) a ffotograff o Nant Sere gyda Matt Nicholls yn casglu samplau yn y cefndir. Cynrychiolir dyluniad yr arbrawf ar sail fframwaith CARD (Cyn-Ar ôl, Rheoli-Dylanwad). Cynhaliwyd llif isel trwy arallgyfeiriad arllwysiad nant am barth 30 m o hyd (parth 'Arbrofol') â phwmp allgyrchol a phiben arallgyfeiriol. Hawlfraint data a delweddau (wedi eu haddasu): (a) CIA World DataBank II; (b) Google; (c, ch) Ifan Bryn Jâms.

Roedd y gwyrriad dŵr cyfartalog yn gyfatebol i 19.18 % ( $496.5 \text{ m}^3 \text{ diwrnod}^{-1} \text{ (d}^{-1}\text{)})$  o'r arllwysiad nantyddol dyddiol; hynny yn ôl mesuriadau arllwysiad dyddiol y parth rheoli a'r parth arbrofol gan ddefnyddio'r dull adran ganol (Gore 2007). Enillir amcan o arllwysiad yn ôl y dull hwn drwy fesur dimensiynau nant, a chyflymder y dŵr a lifa ynddi. Defnyddiwyd pwmp petrol allgyrchol (piben 75 mm diamedr; HSS HIRE, Caerdydd, DU) i dynnu dŵr o bwll ar ben y parth triniaeth a'i arallgyfeirio mewn piben i bwll arall ar waelod y parth. Gwarchodwyd ceg y beipen dynnu â rhwyll (<3 mm), a gwiriwyd yn rheolaidd am gasgliadau gwasarn dail.

Cafodd pysgod a macroinfertebratau benthig eu samplu unwaith cyn y driniaeth ac unwaith yn ystod diwrnod olaf y driniaeth. Samplwyd y parth rheoli â'r parth arbrofol

ar yr un diwrnod. Gwybyddir i bariaid brithyll *S. trutta* gwyllt adfer lefelau plasma cortisol y gwaed i lefelau gorffwys o fewn 24 awr o'r straen o electrobysgota ac anaestetig; gall lefel glwcos y gwaed barhau'n uchel am gyfnodau hirach mewn tymereddau uwch (Arnekleiv *et al.* 2004). I geisio sicrhau amser digonol i'r pysgod ddychwelyd i ymddygiad naturiol, ac ail-sefydlu tiriogaethau a pharthau wedi'r arolwg, fe'u samplwyd saith diwrnod cyn i'r driniaeth ddechrau.

### **3.3.3. Mesur effeithiolrwydd y driniaeth**

Cafodd arllwysiad nantyddol ei fesur yn ddyddiol yn dilyn dull adran ganol Gore (2007), gan ddefnyddio mesurydd cerrynt electromagnetig (MF pro; OTT Hydrometry Ltd, Chesterfield, DU) yn ôl dull achrededig (USGS ac ISO 748). Cafodd y mesurydd electromagnetig ei ddal â llaw ger pren mesur yn hytrach na ffon raddedig. Defnyddiwyd yr un mesuriadau i gasglu data cyflymder llif. I darfu cyn lleied â phosibl ar y brithyllod, cymerwyd mesuriadau arllwysiad ar drothwyon lawr-nantyddol y parth rheoli a'r parth arbrofol. Roedd gwall mesur cyfystyr â 5.54 % o arllwysiad y nant rhwng amcan y parthau rheoli ac arbrofol cyn i'r pwmp gael ei droi ymlaen. Gwiriwyd arllwysiad yn ddyddiol (heblaw am Ddiwrnod 1) trwy fesur arllwysiad allbwn y beipen ddŵr â bwced 20 L ac oriawr (y dull cyfeintiol (Gore 2007)). Rhagdybiwyd arllwysiad cyffelyb yn y ddau barth cyn y driniaeth.

Mesurwyd dyfnder y dŵr gan ddefnyddio ffon fesur ddur wrthstaen wedi ei lleoli yng nghanol y nant. Cymerwyd pum mesuriad o ddyfnder y dŵr rhwng gwely'r nant ac arwyneb y dŵr ar groesdoriadau bob 10 m o fewn parth. Rhannwyd parth yn dair adran 10 m o hyd. Mesurwyd arwynebedd gwlyb adran drwy luosi'r lled gymedrig ar bwyntiau wedi eu marcio bob 10 m, a lluosi'r lled gyfartalog â hyd yr adran (10 m). Swm arwynebedd gwlyb y tair adran oedd arwynebedd gwlyb parth (Atodiad 1). I sicrhau fod amrywiaethau tymheredd y parthau rheoli ac arbrofol yn gymharol, cafodd mesuriadau pwynt eu cymryd ar ddau bwynt amser gan ddefnyddio cofnodydd tymheredd dyfrol (HOB0 Pendant Temperature / Light Data Logger 64K-UA-002-64, Onset Computer Corporation). Tymheredd cyfartalog y parthau rheoli ac arbrofol dros gyfnod pum diwrnod y gwyrriad dŵr oedd 13.09 °C.

### **3.3.4. Samplu'r pysgod**

Samplwyd poblogaethau'r pysgod drwy electrobysgota meintiol tu fewn i rwydi (maint rhwyll: 10 mm<sup>2</sup>) dros dro (hyd yr arolwg electrobysgota) ar draws y nant ar derfynau uchaf ac isaf y parthau rheoli ac arbrofol. Defnyddiwyd gweithdrefn teneuo niferoedd tri-chynnig a gwarbac E-Fish 500W wedi ei osod ar gerrynt di-dor (Cdd; 100%), 200 V ac amledd o 50 Hz. Penderfynwyd ar y gosodiadau penodol hyn er mwyn daliant

optimaidd salmonidau (Beaumont 2011) a'u hadferiad. Roedd tîm dau berson yn pysgota mewn patrwm systematig i samplu'r holl arwynebedd gwlyb gan weithio yn erbyn y llif; un yn gweithredu'r anod, y llall yn casglu'r pysgod â rhwyd. Wedi eu dal a'u hanaestheiddio (Tricaine Pharmaq (Trican methan sylffonad); PHARMAQ Ltd, DU) (dan Drwydded y Swyddfa Gartref (PPL 30/2667)) trosglwyddwyd y pysgod i gynhwysydd oedd yn llawn dŵr nant. Wedi pob cynnig samplu, adnabuwyd pob pysgodyn i rywogaeth, eu pwyso i'r 0.1 g agosaf (SF-400D Electronic Compact Scale: Cynhwysedd: 500g x 0.01g ISO neu ARC Electronic Scale, Salter Housewares pan fu nam ar glorian SF-400D), a'u mesur i'r milimedr agosaf (hyd fforch: o ben blaen pysgodyn i wraidd fforch y gynffon).

### **3.3.5. Samplu'r macroinfertebratau**

Mesurwyd dwysedd a biomas macroinfertebratau'r ddau Barth (rheoli ac arbrofol) trwy gymryd pum sampl Hess (Hess 1941; 0.07 m<sup>2</sup>; rhwyd am i lawr yr afon: rhwyll 500 µm; rhwyd am i fyny'r afon: rhwyll 1 mm; EFE-UK & GB Nets Ltd. UK) ar hap o rychau o fewn ffiniau bob parth, cyn ac ar ôl y driniaeth llif. Storiwyd y samplau ger y nant mewn gwirod diwydiannol wedi methyleiddio 70% (IMS: Fisher Scientific UK) mewn potiau plastig 1 L. Yn y labordy, golchwyd y samplau mewn gogr (maint rhwyll: 500 µm), gan drosglwyddo'r deunydd a oedd yn weddill i hambwrdd trefnu er mwyn echdynnu macroinfertebratau â gefel fain. Ystyriwyd i holl anifeiliaid sampl fod wedi eu casglu o wneud chwiliad llawn o un ben hambwrdd i'r llall, yna'n nôl, heb ddarganfod infertebrat newydd. Diffiniwyd macroinfertebrau fel yr infertebratau hynny nad oedd yn disgyn drwy rwyll 500 µm (Hauer a Lamberti 2007). Wedi eu hadnabod i lefel dacsonomaidd ac er mwyn galluogi trosiad hyd-màs, trosglwyddwyd y sbesimenau i ffiolau gwydr. Mesurwyd cyrff macroinfertebratau fel dimensiynau llinol (lled capsiwl y pen neu hyd y corff - gweler Ffigwr 2.2 am enghraifft o'r mesuriadau hyn), ac amcangyfrifwyd màs cyrff unigolion trwy ddefnyddio hafaliadau atchwel hyd-màs sych cyhoeddedig (Atodiad 2).

### **3.3.6. Dadansoddiad ystadegol**

Gwnaethpwyd yr holl waith dadansoddol â meddalwedd Excel (Microsoft 2013; 2016) neu R (Fersiwn 2.15.1 a 3.3.2 (R Core Team 2016)). Amcangyfrifwyd maint poblogaethau brithyll (n) yn ôl cyfradd teneuo niferoedd pysgod gan ddefnyddio'r hafaliad:

$$n = \text{rhyngdoriad}_y - \text{graddiant} \times \sum C_i$$



Ile roedd  $C_i$  yn hafal i gyfanswm daliad Cynnig 1, 2 a 3 ( $n_1$ ,  $(n_1+n_2)$  a  $(n_1+n_2+n_3)$ ), yn ôl trefn) (Li a Li 2007).

Defnyddiwyd modelau llinol cyffredinol (MLIC) i asesu ag oedd dylanwad gan y driniaeth llif isel ar hyd a màs pysgod, dwysedd a biomas infertebratau (newidynnau 'y'). Cyfrifwyd dwysedd a biomas y benthos fesul sampl Hess ( $0.07 \text{ m}^2$ ) fel cyfanswm yr holl infertebratau a gasglwyd. Gosodwyd newidynnau annibynnol y MLIC fel (1) "parth" (rheoli neu arbrofol), (2) "cyfnod" (cyn neu yn ystod y lleihad llif arbrofol); a (3) rhyngweithiad "parth:cyfnod". Lle'r oedd yn briodol, trawsffurfiwyd y data ymatebol cyn eu cynnwys mewn model, neu defnyddiwyd un o'r ffwythiannau "family" ynghyd â'r "link" perthnasol yn rhaglen R i sicrhau tybiaeth modelau llinol o weddilleb â dosraniad normal, homeostatig a diffyg ymglyberthyniad. Barnwyd dilysrwydd modelau drwy wiriadau gweledol.

#### 3.3.6.1. Cyfansoddiad y gymuned macroinfertebratiadd

Er mwyn ymchwilio i effaith y lleihad llif arbrofol ar gyfansoddiad y gymuned macroinfertebrataidd, adeiladwyd modelau llinol cyffredinoledig gan ddefnyddio ffwythiant *manyglm* ym mhecyn *mvabund* (Wang *et al.* 2012) â meddalwedd R (R Core Team 2016). Yn wahanol i ddulliau wedi'u seilio ar fesuriadau pellter neu annhebygrwydd traddodiadol megis PERMANOVA, mae'r pecyn *mvabund* yn manteisio ar fframwaith hydwyth MLIC er mwyn ymdopi â'r berthynas cymedr-amrywiant gref sy'n nodweddiadol o ddata cymunedol (Warton *et al.* 2012). Mae'r ffwythiant *manyglm* yn ffitio MLIC unigol i bob tacson o fewn cronfa ddata amlnewidyn, yn ôl set o newidynnau esboniadol cyffredin, sy'n galluogi dehongliad ymatebion ar lefel cymunedol, yn ogystal â rhai tacson-benodol. Gosodwyd y newidynnau esboniadol fel: "dwysedd tacson" ~ "parth" + "cyfnod" + rhyngweithiad "parth:cyfnod". Defnyddiwyd prawf cymhareb tebygolrwydd (PCT) fel yr ystadegyn prawf gan dybio annibyniaeth y newidynnau ymatebol (dwysedd tacsau) er lles effeithlonrwydd cyfrifo. Cyfrifwyd arwyddocâd yr ystadegau prawf a gwerthoedd p gan ddefnyddio ail-samplu *PIT-trap* (999 iteriad) sy'n ymdrin ag unrhyw strwythur cydberthynol rhwng samplau a thacsonau. Defnyddiwyd ffwythiant *anova* er mwyn cyfrifio PCT a gwerthoedd p y model amlnewidyn; gyda'r ffwythiant *p.uni* wedi ei osod i "adjusted" er mwyn adnabod ymatebion un-newidyn tacsonau unigol.

Defnyddiwyd y dull graddio aml-ddimensiwn af-fetrig (GADA; Shepard 1962; Kruskal 1964) ar gyfer dehongliad gweledol o'r gymuned macroinfertebrataidd. Nod GADA yw hwyluso adnabyddiaeth patrymau mewn data cymunedol lluosnewidyn cymhleth. Caiff tebygrwydd samplau ei gyfrifo ar sail mesur o 'swm' tacsau (nifer / biomas /

dwysedd), gan restru samplau yn ôl eu tebygrwydd. Yn ôl y rhestr debygrwydd hon, caiff samplau eu neilltuo i leoliadau mewn gofod o nifer fechan o ddimensiynau, lle mae samplau tebycach yn agosach at ei gilydd na samplau annhebyg. Caiff llwyddiant y ffit rhwng pellteroedd y samplau ar y plot a gynhyrchir, a threfn y rhestr samplau yn ôl eu hannhebygrwydd ei asesu â sgôr diriant. Y lleiaf y sgôr, gorau oll y cytundeb rhwng y plot a'r rhestr annhebygrwydd, ac felly ansawdd y dehongliad gweledol. Yn gyffredinol, ystyrir gwerthoedd  $> 0.3$  yn broblemus (gweler Clarke a Warwick (2001) am grynoded arbennig o ddefnydd GADA mewn astudiaethau ecolegol). Cynhaliwyd ordeiniadau GADA gan ddefnyddio'r ffwythiant *metaMDS* ym mhecyn *vegan* (Oksanen *et al.* 2017) â meddalwedd R (R Core Team 2016) yn ôl samplau Hess unigol ac ar sail 500 ailadroddiad. Cafodd y gwerthoedd annhebygrwydd eu cyfrifo o ddata dwysedd infertebrataidd yn ôl cyfernod Bray-Curtis (Bray a Curtis 1957) gan fod y cyfernod hwn yn dygymod yn effeithiol â data niferoedd sy'n cynnwys gwerthoedd sero. Trawsfurfiwyd gwerthoedd niferoedd i'w hail isradd, a safonwyd hwy yn ôl y broses Wisconsin ddwbl. Cynhaliwyd dehongliad gweledol mewn dau ddimensiwn; felly ar yr un cyfraniad â'r dadansoddiad ystadegol â modelau *manyglm* (pecyn *mvabund*).

### **3.4. Canlyniadau**

#### **3.4.1. Y driniaeth**

Roedd arllwysiad cymedrig y parth arbrofol 19.18 % yn is na'r parth rheoli (gwahaniaeth cymedrig:  $496.5 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ) yn ystod y driniaeth. Atgyfnerthir y wybodaeth hon gan fesuriad cyfeintiol cymedrig arllwysiad allbwn y pwmp ( $385.56 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ). Disgwylir i'r mesuriad hwn fod yn is na'r hyn a amcangyfrifir o ddefnyddio'r dull adran ganol (Adran 3.3.3) oherwydd bod dŵr yn cael ei golli wrth wagio'r bwced a ddefnyddiwyd i fesur arllwysiad. O ganlyniad i'r driniaeth, lleihawyd dyfnder cymedrig y parth arbrofol o 9.2 % (gwiriwyd â mesuriad croesdoriad y parth arbrofol pan gafodd y pwmp ei droi i ffwrdd: gwahaniaeth dyfnder cymedrig o 9.3 %). Roedd hefyd lleihad o 15.7 % i led nant y parth arbrofol yn ystod y cyfnod pwmpio. Golyga hynny leihad o 13.5 % yn arwynebedd gwlyb y parth arbrofol yn ystod y driniaeth (cyn y driniaeth:  $94.5 \text{ m}^2$ , yn ystod y driniaeth:  $81.75 \text{ m}^2$ ). Ni welwyd gwahaniaeth yn arwynebedd gwlyb y parth rheoli yn ystod cyfnod y driniaeth (cyn y driniaeth:  $78.75 \text{ m}^2$ ; yn ystod y driniaeth:  $78.75 \text{ m}^2$ ). Roedd cyflymder y cerrynt 22.13 % ( $0.0110 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) yn is yn y parth arbrofol yn ystod y driniaeth (mesuriad diwrnod olaf y driniaeth mewn cymhariaeth â mesuriad pan drowyd y pwmp i ffwrdd).

### 3.4.2. Ymateb brithyllod

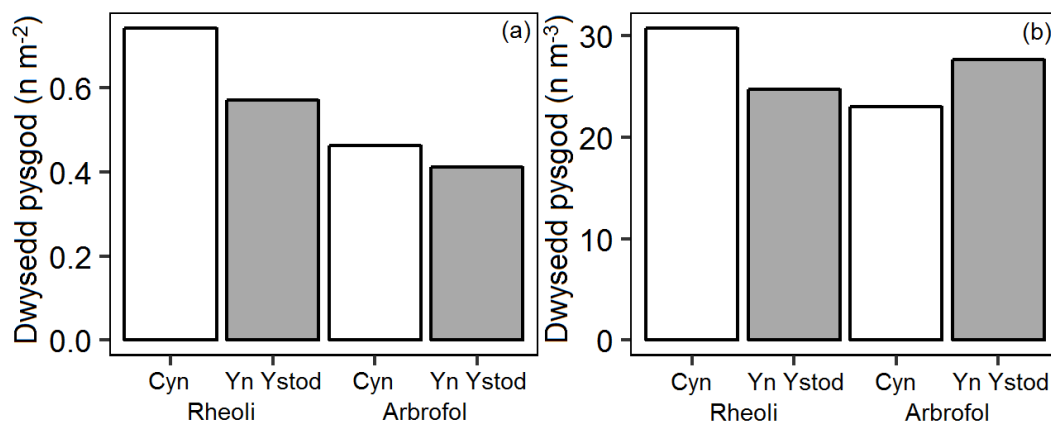
O ran pysgod, brithyll brown (*Salmo trutta*) oedd yr unig rywogaeth a gofnodwyd yn Nant Sere. Pariaid oedd y mwyafrif ohonynt, ynghyd ag ambell frithyll aeddfed; gan gytuno'n fras â chyfansoddiad oed brithyllod nentydd meithrin tebyg yr ardal: Nant Cynwyn (Jâms, arsylwad personol) a Nant Menasgin (Bembo *et al.* 1993). Noder fod y parth rheoli yn cynnwys mwy o bysgod na'r parth arbrofol cyn y driniaeth (Tabl 3.1). Yn ogystal, roedd brithyllod y parth rheoli yn fwy ar ran hyd (gwahaniaeth hyd cymedrig = 1.949 cm,  $t_{1,173} = -2.448$ ,  $p = 0.015$ ) a màs (gwahaniaeth cymedrig = 8.518 g,  $t_{1,173} = -2.246$ ,  $p = 0.026$ ) na physgod y parth arbrofol (cymedrau wedi eu cyfrifo o ddata'r ddau gyfnod ar gyfer y parth rheoli ac arbrofol).

**Tabl 3.1: Brithyll Nant Sere**

Amcan niferoedd (n) brithyllod *Salmo trutta* L. ar sail arolygon electrobysgota safonol tri cynnig yn ôl hafaliad teneuo niferoedd Li a Li (2007). Dynodir hyd fforch a màs cymedrig ( $\pm$  cyfwng hyder 95 %) y pysgod a gasglwyd mewn parth rheoli (llif llawn) ac arbrofol cyn ac yn ystod lleihad llif arbrofol.

| Parth    | Cyfnod   | n    | Hyd (cm)       | Màs (g)        |
|----------|----------|------|----------------|----------------|
| Rheoli   | Cyn      | 58.4 | 10.6 $\pm$ 0.9 | 17.7 $\pm$ 5.3 |
|          | Yn ystod | 45   | 10.4 $\pm$ 0.9 | 15.2 $\pm$ 4.9 |
| Arbrofol | Cyn      | 43.7 | 8.3 $\pm$ 0.6  | 7.3 $\pm$ 2.4  |
|          | Yn ystod | 33.7 | 8.8 $\pm$ 1.1  | 8.6 $\pm$ 3.8  |

Ni fesurwyd gwir allfudiad brithyllod o ganlyniad i'r driniaeth, gan fod lleihad cyfrannol hafal niferoedd brithyllod wedi bod yn y ddau barth dros gyfnod yr arbrawf (22.9 % yn llai o frithyllod ar gyfer y ddau barth). Cefnogir y canlyniad hwn ymhellach gan y ffaith fod y driniaeth heb effeithio ar hyd ( $t_{1,173} = 0.328$ ,  $p = 0.743$ ) na màs ( $t_{1,173} = -0.884$ ,  $p = 0.378$ ) y brithyllod, gan gyfrannu at yr awgrym mai'r un pysgod oedd yn bresennol ar ddiwedd yr arbrawf a oedd yno ar y cychwyn. O ganlyniad i ddiffyg ymateb mudol y brithyllod i'r driniaeth, gwelwyd cynnydd yn nwyseddau'r pysgod. Roedd dwyseddau, yn ôl arwynebedd gwlyb, yn is yn y parth arbrofol o dan amodau sychder, ond roedd maint effaith y driniaeth yn llai o'i gymharu â'r parth rheoli. Yn ôl cyfaint dŵr, roedd dwyseddau brithyllod yn uwch o dan amodau llif isel (Ffigwr 3.2).

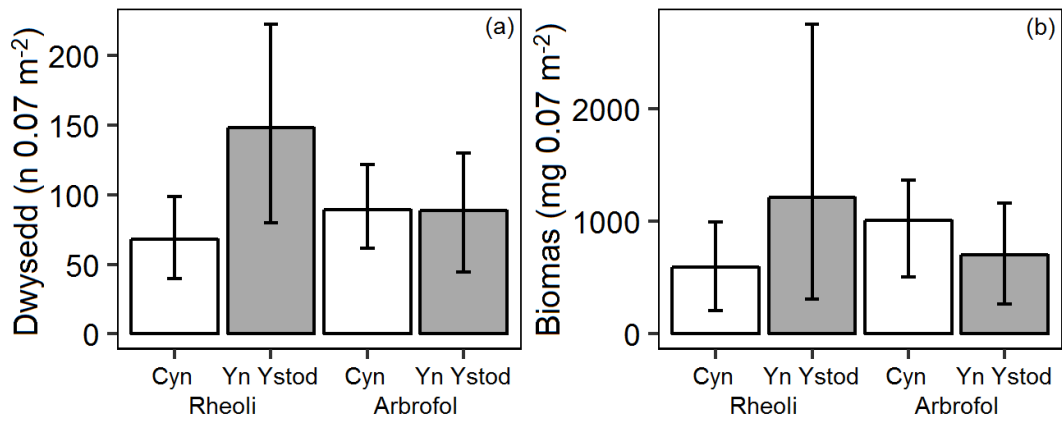


**Ffigwr 3.2: Lleihad llif arbrofol yn dylanwadu dwyseudau brithyllod yn ôl cyfaint fwy nag arwynebedd gwlyb**

Dwyseudau brithyll brown *Salmo trutta* yn ôl arwynebedd gwlyb (a) a chyfaint (b) mewn parth rheoli (llif llawn) ac arbrofol (lleihad llif o 19.18%); cyn ac yn ystod lleihad llif arbrofol mewn nant ucheldriol naturiol Gymreig.

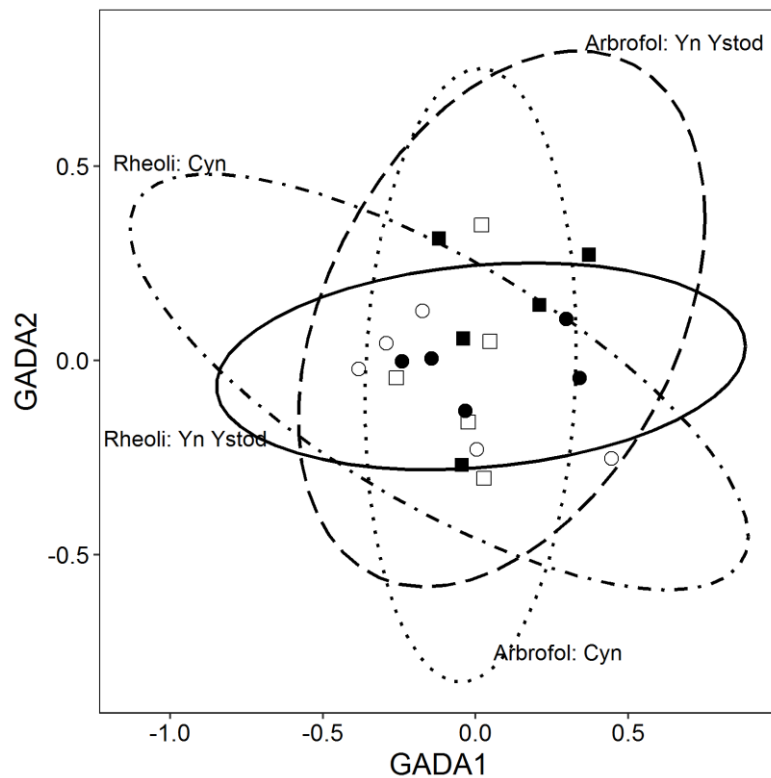
### 3.4.3. Ymateb ysglyfaeth macroinfertebrataidd

Adnabuwyd cyfanswm o 1,973 o infertebratau, gyda chynrychiolaeth o'r Amphipoda, y chwilod (Coleoptera), y pryfed (Diptera), y gwybed bustl (Chironomidae), y cylon Mai (Ephemeroptera), mwydod yr Oligochaeta, pryfed y cerrig (Plecoptera), a'r pryfed pric (Trichoptera) llochesog a diloches. Roedd cyfansoddiad urddau'r gymuned yn debyg rhwng y parth rheoli ac arbrofol (*manyglm*: PCT = 6.315,  $p = 0.706$ ). Ategwyd hynny gan ddadansoddiad un-newidyn tacson-benodol, lle'r oedd dwyseudau'r holl dacsonau (yn ôl niferoedd) yn debyg rhwng y parth rheoli ac arbrofol (Tabl 3.2). Gweler Tabl 3.2 hefyd am werthoedd y dadansoddiad aml-newidyn a ddangosa sefydlogrwydd y gymuned dros amser (rhwng y cyfnod cyn ac yn ystod lleihad llif arbrofol). Fel cymuned gyfan, ni newidiodd dwyseidd infertebratau'r benthos yn wyneb y lleihad llif arbrofol ( $R^2_{\text{addasiedig}} (R^2_{\text{add.}} \text{ o hyn ymlaen}) = 1$ ,  $t_{1, 16} = -1.256$ ,  $p = 0.227$ ; Ffigwr 3.3). Ni welwyd chwaith newid yng nghyfanswm biomas macroinfertebrataidd y benthos dan leihad llif arbrofol ( $R^2_{\text{add.}} = 1$ ,  $t_{1, 16} = -0.963$ ,  $p = 0.350$ ). Bu cyfansoddiad y benthos yn sefydlog yn ei gyfanrwydd dan leihad llif arbrofol (*manyglm*: PCT = 22.305,  $p = 0.071$ ; Ffigwr 3.4). Cefnogwyd hynny gan ddadansoddiad un-newidyn; ni chafwyd tystiolaeth am effaith yr aflonyddiad arbrofol ar unrhyw un o'r tacsonau (Tabl 3.2).



**Ffigwr 3.3: Dwysedd a biomass ysglyfaeth fenthig yn sefydlog dan leihad llif**

Dwyseddau cymuned invertebrataidd gyfan y benthos yn ôl nifer (a) a biomass (b)  $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr wedi'i ymlwytho fesul samplau Hess, mewn parth rheoli (llif llawn) ac arbrofol (lleihad llif o 19.18 %), cyn ac yn ystod lleihad llif arbrofol mewn nant ucheldirol naturiol Gymreig.



**Ffigwr 3.4: Sefydlogrwydd cyfansoddiad benthos yn wyneb aflonyddiad llif isel arbrofol**

Mynegiant gweledol cyfansoddiad cymuned macroinvertebrataidd yn ôl dadansoddiad graddio amlddimensiwn af-fetrig (GADA; mynegai annhebygrwydd: Bray-Curtis; diriant = 0.174). Cynrychiola bwyntiau'r ffigwr (smotiau / sgwariau) gynnwys samplau Hess unigol ( $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr gan linellau wedi eu labelu'n briodol). Dynodir samplau o barth rheoli gan smotiau golau (samplau cyn lleihad llif arbrofol) a smotiau tywyll (samplau yn ystod llif isel), a samplau o barth arbrofol gan sgwariau golau (cyn lleihad llif) a sgwariau tywyll (yn ystod lleihad llif).

**Tabl 3.2: Nifer a chanlyniadau dadansoddiad amlnewidyn y gymuned fenthig**

Cyfanswm niferoedd (n) tacsonau a adnabuwyd yn yr astudiaeth. Adroddir ymwrthedd cyfansoddiad cymunedol y benthos (Cymuned gyfan), ynghyd ag ystadegau prawf cymhareb tebygolrwydd (PCT) a'r gwerth p perthnasol ar gyfer dadansoddiad un-newidyn tacson-benodol yn ôl dwyseddu macroinfertebratau samplau Hess (0.07 m<sup>2</sup>).

| Tacson        | n    | Parth               |       | Cyfnod           |       | Rhyngweithiad |       |
|---------------|------|---------------------|-------|------------------|-------|---------------|-------|
|               |      | (Rheoli / Arbrofol) |       | (Cyn / Yn Ystod) |       | Parth:Cyfnod  |       |
|               |      | PCT                 | p     | PCT              | p     | PCT           | p     |
| Cymuned gyfan | 1973 | 6.333               | 0.702 | 11.079           | 0.349 | 22.305        | 0.079 |
| Amphipoda     | 143  | 2.089               | 0.717 | 4.766            | 0.293 | 3.164         | 0.506 |
| Chironomidae  | 149  | 3.001               | 0.610 | 1.92             | 0.727 | 7.304         | 0.129 |
| Coleoptera    | 370  | 0.234               | 0.975 | 1.056            | 0.804 | 0.667         | 0.679 |
| Diptera       | 14   | 0.378               | 0.975 | 1.46             | 0.786 | 2.656         | 0.522 |
| Ephemeroptera | 700  | 0.005               | 0.997 | 0.309            | 0.848 | 0             | 0.977 |
| Oligochaeta   | 148  | 0.005               | 0.997 | 0.444            | 0.848 | 3.313         | 0.506 |
| Plecoptera    | 352  | 0.278               | 0.975 | 0.973            | 0.804 | 2.462         | 0.522 |
| Trichoptera   | 97   | 0.345               | 0.975 | 0.151            | 0.848 | 2.738         | 0.522 |

### 3.5. Trafodaeth

Yn y bennod hon, disgrifir dull gwreiddiol o efelychu aflonyddiad llif isel mewn nant naturiol gynrychiadol yn ucheldir de Cymru gan ddefnyddio dyluniad arbrofol safonol CARD i reoli drwy amser a gofod. Yn unol â theori optimeiddio a damcaniaeth gyntaf yr astudiaeth hon, tystiwyd dargadwedd lleol brithyllod i aflonyddiad llif isel. Yn groes i'r ail ddamcaniaeth, ni welwyd dylanwad y driniaeth ar ddwysedd na chyfanswm biomas macroinfertebratau. Adlewyrchwyd hynny yn sefydlogrwydd cyfansoddiad cymunedol y benthos yn ôl dosbarthiadau tacsonomaidd bras. Trafodir cyfyngiadau a chyfleoedd i ddatblygu'r fethodoleg yn gyntaf, gan arwain i drafodaeth ar gyd-destun yr ymatebion ecolegol a gofnodwyd.

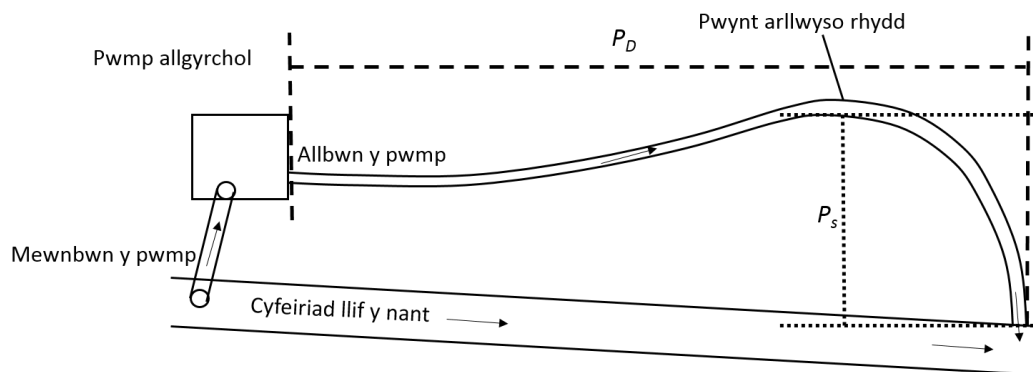
#### 3.5.1. Gwerthusiad o'r fethodoleg

Trwy arallgyfeirio'r llif gan ddefnyddio pwmp allgyrchol, lleihawyd y llif nantyddol oddeutu 20 %. Mae gwasgedd gweithredol ( $P_{Cyfanswm}$ ) system bwmpio yn ffwythiant o'r llif drwy system a threfniant y system gan gynnwys hyd y beipen, ffrithiant tu fewn i'r beipen a'r uchder caiff y dŵr ei godi o'r afon (Ffigur 3.5) yn ôl yr hafaliad:

$$P_{Cyfanswm} = P_s + P_D + (G_{TD} - G_{CRON})$$

lle mae  $P_s$  = pen hydrolog sefydlog (m),  $P_D$  = pen hydrolog dynamig (m),  $G_{TD}$  = gwasgedd ar arwyneb y dŵr sy'n derbyn dŵr (m) a  $G_{CRON}$  = gwasgedd ar arwyneb y dŵr yn y gronfa (m).

Ystyrir effaith y newid mewn gwasgedd atmosfferig wrth i'r dŵr gael ei dynnu o'r nant i'r pwmp allgyrchol (~1.5 m) yn ddibwys, ac felly fe'i diystyrir. Diffinnir y pen hydrolog sefydlog fel y newid ffisegol mewn uchder rhwng arwyneb y nant a'r pwynt arllwyo rhydd yn y beipen ddychwelyd. Ffurir y pen dynamig o ganlyniad i ffrithiant yn y system. Awgrymir fod y llif a arallgyfeiriwyd wedi ei gyfyngu i 20 % o arllwysiad y nant oherwydd, yn gyntaf, fod y gwrthiant a greuwyd gan y pen hydrolog sefydlog ( $P_S$ ) yn sylweddol o ganlyniad i'r pwynt arllwyo rhydd fod yn uwch nag allbwn y pwmp allgyrchol. Yn ail, o ganlyniad i rwystrau naturiol (coed a chlogfeini), defnyddiwyd ~50 m o beipen i arallgyfeirio 30 m o'r nant. Roedd rhan helaeth y beipen a ddefnyddiwyd i arallgyfeirio yn rhychog. Tebyg i beipen hirach (50 m yn hytrach na 30 m), rhychog, gynyddu ffrithiant y system gan gynyddu gwrthiant y pen hydrolog dynamig ( $P_D$ ). Byddai defnydd pellach o'r dyluniad arbrol hwn, felly, yn manteisio o roi ystyriaeth fanylach i hynodweddau lleol yr ardal astudiaethol. Gyda'r ystyriaethau cywir, mae'r dull arbrol hwn yn cynnig ffordd hydwyth o brofi ystod eang o ddamcaniaethau parthed lleihad llif nantyddol gan reoli am amrywiaethau amgylcheddol drwy amser a gofod; hynny mewn gwir ecosystem.



**Ffigur 3.5: Cynllun system bwmpio arbrawf lleihad llif**

Caiff arllwysiad nantyddol ei arallgyfeirio â phwmp allgyrchol i bwynt islaw'r nant gan greu parth llif isel yn y nant. Dynoda  $P_S$  a  $P_D$  y pen hydrolog sefydlog a'r pen hydrolog dynamig, yn ôl trefn.

### 3.5.2. Ymatebion brithyllod a'u hysglyfaeth

Mae ecosystemau yn gymhleth tu hwnt. I ymfael ac adnabod patrymau o fewn y fath gymhlethdod mae gan yr ecolegydd yr arf o ddethol a symleiddio'r hyn sydd o dan sylw. Rheol gyffredinol (er efallai yn or-sym) yw bod yr ymchwilydd yn aberthu rheolaeth am gynrychiolaeth naturiol wrth symud o arbrofion bychan mewn microcosmau (Srivastava *et al.* 2004; Benton *et al.* 2007), i fesocomsau canolig (Stewart *et al.* 2013), i ecotronau mawr (e.e. Lawton 1996; Mougine *et al.* 2015) ... i'r rhyfeddod peirianyddol hwnnw yn anialwch Arizona, UDA - Biosphere 2 - lle gwariwyd

\$250 miliwn ar droad y 90au i geisio cynnal coedwig law, cors mangrof, safana, anialwch a môr o fewn tŷ gwydr seiliedig anferth (O'Callaghan 2013). Her barhaus ar gyfer ecolegwyr yw allosod a chymodi canlyniadau o'r fath arbrofion o fewn amgylcheddau gwneuthuredig i wir ecosystemau.

Trwy gynnal arbrofion cain, mewn cyfleusterau trawiadol gan gynnwys nentydd cyfan ac iddynt ochrau gwydr (Stradmeyer *et al.* 2008) i hwyluso arsylwi ar ymddygiad pysgod, mae llawer wedi ei ddysgu am strategaethau salmonidau dan lifoedd isel. Fel ystyriwyd ym Mhennod 2, mae ymatebion ymddygiadol yn amrywio o bysgodyn i bysgodyn (Armstrong *et al.* 1998). Bydd y pysgod sy'n symud i byllau (Greenberg 1992; Huntingford *et al.* 1999) yn debygol o wynebu gerwinder cystadleuol uwch mewn rhyngweithiadau â salmonidau eraill (Stradmeyer *et al.* 2008) a disodliad strwythur hierarchaidd y gymuned (Sloman *et al.* 2001), yn ogystal â chynyddu rhyngweithiadau ag ysglyfaethwyr megis y penhwyaden (Greenberg 1992). Yn 2009, cyfrannodd Riley a'i gydweithwyr ganlyniadau o arbrawf lleihad llif yn y maes mewn nant galch lled-naturiol. Yn yr arbrawf hwnnw, dilyswyd y dybiaeth i bariaid salmonid gynnal ffiniau eu parthau cynefinol yn hytrach na mudo i lawr y nant yn ystod lleihad llif. Ymleda canlyniadau'r bennod hon gymhwysedd meddylfryd Riley *et al.* (2009) i nentydd ucheldirol. Yng nghyd-destun theori optimeiddio, ymddengys felly i ffitrwydd pariaid fod yn gysylltiedig â dargadwedd lleol o'i gymharu â chostau posibl mudedd lawr nant. Ceir mecanwaith posibl o ystyried arsylwadau Elliott (1994) o ddargadwedd uwch pariad *S. trutta* uwchben rhaeadr anhramwyadwy o'i gymharu â brithyllod islaw'r rhaeadr, â'r awgrym fod dargadwedd uchel yn nodwedd a ddedholir drwy golli'r sawl sy'n crwydro o'r boblogaeth.

Cyniga arbrawf Riley *et al.* (2009), lle cafodd llif nant ei leihau > 70 % a > 90 % dros ddau gyfnod 21 diwrnod (2004 a 2005; yn ôl trefn), ffon fesur ddefnyddiol i'w chymharu â'r astudiaeth gyfredol. Yn nhermau ynysu ymatebion brithyll (*S. trutta*), dylid nodi fod brithyllod Nant Brandy (Riley *et al.* 2009) ymysg cymuned wyllt o eog yr Iwerydd (*Salmo salar* L.), penllwyd (*Thymallus thymallus* L.), penhwyad (*Esox lucius* L.), sili-don (*Phoxinus phoxinus* L.), penlletwad (*Cottus gobio* L.), gwrachen farfog (*Barbatula barbatula* L.) a'r lyseswen (*Anguilla anguilla* L.). Brithyll brown oedd unig bysgodyn Nant Sere. Noder felly nad yw'r cymariaethau a gyflwynir yn cael eu gwneud rhwng poblogaethau brithyll ac iddynt ddynnameg rhyngweithiadau rhyngrhywogaethol tebyg.

Yr elfen amlwg oedd yn well am arbrawf Riley a'i gyd-ymchwilwyr yn Nant Brandy na'r arbrawf yn Nant Sere oedd bod pysgod wedi eu llabedu â thrawsryddion radio



yn Nant Brandy oedd yn galluogi cofnodion o symudiad y pysgod drwy amser. Data o ddwyseddau parthau penodol a geir o Nant Sere. Dyma gyfle amlwg i ddatblygu'r astudiaeth gyfredol, lle byddai defnydd trawsyryddion radio yn darparu data manwl am ddefnydd microgynefinol pysgod unigol. Manteisiodd Riley a'i gydweithwyr ar lifddor i reoli arllwysiad o gamlas gyfagos i'r nant arbrofol. Tra bod hynny'n darparu cyfleuster arbrofol hwylus, nid oedd Nant Brandy, ar y llaw arall, yn gymwys i gynnal dyluniad arbrofol CARD safonol. Cafodd cymariaethau eu gwneud cyn ac yn ystod triniaeth heb barth rheoli. Ategir fod y fethodoleg a gyflwynir yn yr astudiaeth gyfredol yn galluogi cynnal arbrofion CARD lle bynnag fod modd cludo pwmp allgyrchol.

Yn groes i'r hyn a ddisgwyliwyd (Damcaniaeth 2), roedd dwysedd a biomas y gymuned macroinfertebrataidd yn sefydlog dan leihad llif arbrofol. Cefnogwyd hynny gan sefydlogrwydd cyfansoddiadol y gymuned fenthig yn ôl dosbarthiad tacsonomaidd bras. Gall hyd cyfnod a gerwinder lleihad llif ddylanwadu ar ymateb noflithro infertebratau i newidiadau llif (Dewson *et al.* 2007). Mae'n bosib fod maint cymharol isel lleihad llif yr astudiaeth hon (~20 %) wedi cyfrannu at sefydlogrwydd dwysedd a biomas y gymuned macroinfertebrataidd. Fel ymateb byr dymor i aflonyddiadau llif isel eraill, ceir esiamplau o gynnydd yng nghyfraddau noflithro infertebratau (Minshall a Winger 1968; Gore 1977), ond nid yw hynny'n ymateb cyffredinol (Poff a Ward 1991); bydd ymatebion infertebratau yn dacson-benodol (Dewson *et al.* 2007). Cyfranna'r astudiaeth hon ddata rheoledig at yr ymdrech i ddeall yr ymatebion hyn. O ystyried sefydlogrwydd cymunedol y benthos yn ôl dwysedd a biomas, awgrymir nad oedd lleihad llif yr astudiaeth hon â chydran aflonyddiad maethol nodedig o safbwynt brithyllod.

### **3.6. Casgliad**

Yn yr astudiaeth hon, cynigir cam gyntaf datblygiad dull gwreiddiol o gynnal arbrofion llif isel safonol dyluniad CARD mewn nentydd naturiol. Ynndi, ategwyd at dystiolaeth fod pariaid brithyll yn arddangos ymddygiad 'disgwyl ac aros' o dan gyflyrau llif isel, yn hytrach na mudo i osgoi aflonyddiad. Bydd rhagfynegiadau defnyddiol o ddylanwad biotig newidiadau hinsoddol, megis newidiadau yn y gylchred hydrolegol, yn ffwythiant o gyfuniad gwybodaeth fecanyddol fanwl a gesglir mewn amgylcheddau rheoledig a data cynrychiadol o'r maes. Yn draddodiadol, roedd yr ecolegydd dyfrol ar drugaredd amserlen anwadal digwyddiadau hinsoddol i gasglu'r fath ddata o ecosystem naturiol. Mae'r dull a gyflwynir yn y bennod hon yn cynnig modd ymarferol, hydwyth ac ailadroddadwy o gynnal arbrofion sy'n dynwared digwyddiadau llif isel yn ôl anghenion logistaidd yr ymchwilydd.

## 4. Pennod 4: Llif is hirdymor yn gysylltiedig â chynhwysedd bioegniol is mewn afon Gymreig

### 4.1. Crynodeb

Yn ôl modelau hinsoddol cyfredol, mae nifer o bysgodfeydd salmonid yn debygol o brofi llifoedd is na'r arfer yn ystod tymor tyfu'r pysgod nantyddol hyn. Ceir cydberthynas bositif rhwng cyflymder llif a chyfradd noflithro macroinfertebratau, sef ysglyfaeth y brithyll brown ac eog yr lwerydd mewn ffrydiau dyfrol. Gyda phopeth arall yn gyfartal, bydd crebachiad sail faethol poblogaeth yn gorfodi lleihad i gynhyrchiant pysgod. Mae angen gwybodaeth nawr ar reolwyr pysgodfeydd o fynegiant tebygol lleihad cynhyrchiant. Ai lleihad i ddwyseddau yntau cyfraddau twf pysgod dylid ei ddisgwyl o ganlyniad crebachiad sail faethol? Bydd strategaethau lliniaru dylanwad llifoedd isel hinsoddol ar bysgodfa economaidd a diwylliannol bwysig y *Salmo* yn ddibynnol ar ddata empeiraidd dibynadwy. Yn yr astudiaeth hon, cynhelir arbrawf lleihad llif ar raddfa estyn afon gyfan, gan ganfod cynhaliaeth faethol (biomas macroinfertebratau) is dan gyflyrau llif is. Tystiwyd i frithyllod ac eogiaid ifanc gynnal cyfraddau twf cymharol i'w cyfoedion dan gyflyrau llif llawn; ond gwnaethant hynny ar draul eu niferoedd.

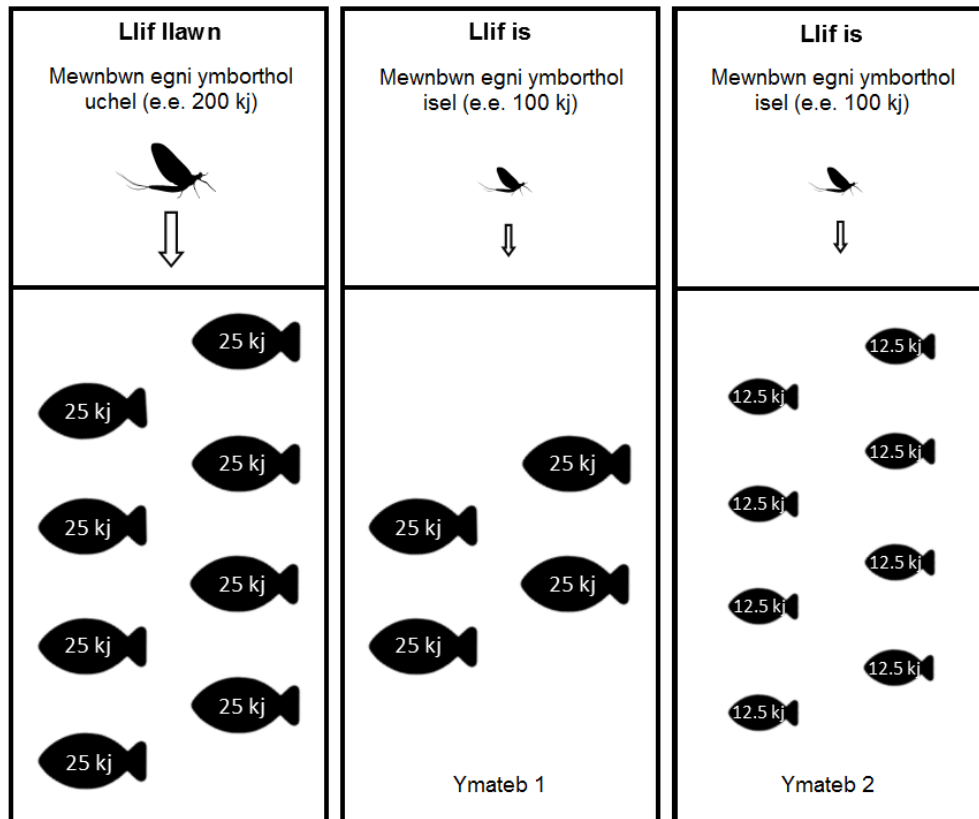
### 4.2. Cyflwyniad

Mae cydberthynas bositif yn bodoli rhwng cyflymder llif afon a chyfanswm y nifer o macroinfertebratau sy'n pasio dros diriogaeth hela salmonidau nantyddol. Hynny yw, bydd llif arafach yn darparu nifer llai o ysglyfaeth (Everest a Chapman 1972). Diffinnir cynhyrchiant pysgod fel y gyfradd o ffurfiant meinwe, boed i'r meinwe hwnnw oroesi neu beidio, i ddiwedd cyfnod amser diffiniedig (Waters (1977) yn ôl Hayes *et al.* (2007)):

$$\hat{C} = \bar{N} \Delta \bar{w}$$

gyda  $\hat{C}$  = cynhyrchiant dros gyfnod penodedig;  $\bar{N}$  = cymedr rhifyddol dwysedd pysgod o ddechrau cyfnod penodedig ( $a$ ) i'w derfyn ( $a+1$ ); a  $\Delta \bar{w}$  = newid i fàs cymedrig pysgod o amser  $a$  i  $a+1$ . Mae cynhyrchiant, felly, yn gyfuniad o fomas poblogaeth, recriwtiad, marwolaeth a thwf organeb (Mann a Penczak 1986). Gyda phopeth arall yn sefydlog, bydd lleihau egni cynhaliol poblogaeth pysgod yn arwain i leihad yng nghynhyrchiant y boblogaeth honno (Begon *et al.* 2006). Yr her i fiolegwyr yw rhagdybio a fydd lleihad cynhyrchiant yn cael ei fynegi drwy leihad yn y nifer o bysgod

(dwysedd fesul m<sup>2</sup> gwely nant), neu yng nghyfanswm egni (twf) y pysgod hynny (Ffigwr 4.1). Prif amcan yr astudiaeth hon yw ceisio datrys ac ateb y cwestiwn hwn trwy fesur ymatebion poblogaethau eog (*Salmo salar* L.) a brithyll (*S. trutta* L.) i leihad llif afon Gymreig.



**Ffigwr 4.1: Ymatebion posibl salmonidau nantyddol**

Cynrychioliad damcaniaethol symledig o ddau ymateb posibl gan boblogaethau pysgod lotig i leihad egni ymborthol o dan gyflyrau llif isel o'u cymharu â'r ymateb i gyflyrau llif llawn. Darperir gwerthoedd egni (kJ) dychmygol ar gyfer mewnbwn egni i nant neu afon dros gyfnod diffiniedig (e.e. diwrnod). Er budd dehongliad, caiff yr holl egni maethol ei gasglu a'i ymgorffori gan y poblogaethau o bysgod damcaniaethol. Noder mai pur annhebygol yw'r fath effeithlonrwydd droffig mewn gwir ecosystem. Cynrychiola "Ymateb 1" gynhaliath cyfraddau twf pysgod ar draul eu niferoedd, a'r gwrthwyneb gan "Ymateb 2". Addaswyd delwedd y cylionyn Mai o Comix (2017).

Cytuna biolegwyr pysgod mai mesuriad o gyfradd cynhyrchiant yw'r dangosydd gorau o lwyddiant ecolegol rhywogaeth (Le Cren 1969; O'Connor a Power 1976; Kwak a Waters 1997). Fe'i gwelir fel mesuriad defnyddiol gan ei fod yn mynegi nifer o ddimensiynau 'iechyd' poblogaeth, gan gynnwys goroesedd, tuedd mudo a thwf unigolion (Mann a Penczak 1986). Rheola goroesedd a thueddiad mudol unigolion maint poblogaeth pysgod yn uniongyrchol. Ar raddfa estyniad afon (30 - 600 m), mae'r dystiolaeth yn cynnig nad yw pysgod *Salmo* yn arddangos mudiad dihangfaol yn wyneb lleihad llif cymhedrol (Armstrong *et al.* 1998; Berland *et al.* 2004; Pennod 3) nac eithafol (Riley *et al.* 2009; gweler, er hynny, astudiaeth Landergren (2004)).

Adrodda Landergren gyfradd gleisio sewin, *S. trutta*, uwch o dan lif oedd yn lleihau o'i chymharu â'r gyfradd mewn llif sefydlog, gan achosi mudiad i'r môr. Os na fydd pysgod yn mudo i ddianc straen amgylcheddol megis lleihad argaeledd ysglyfaeth o ganlyniad llif isel, rheolir maint poblogaeth gan allu goroesol y pysgod hynny.

Mae twf a maint unigolion yn ddylanwad allweddol ar nodweddion ecolegol pysgod. Gall cyfradd twf pysgod effeithio, er enghraifft, ar gyfradd goroesi, oed a maint gleisio ac aeddfedu, hirhoedledd, maint wyau ac epiliogrwydd, gallu cystadleuol a llwyddiant atgenhedlu (Jonsson a Jonsson 2011). Hynny yw, mae cyfraddau twf unigolion yn effeithio ar faint poblogaeth yn anuniongyrchol. Yn nhermau bioegnïedd, twf ( $P$ ) yw'r egni gweddillol rhwng yr egni a ymborthir ( $C$ ) a'r colledion o gostau metabolaidd ( $R$ ), ymgarthiant ( $F$ ) ac ysgarthiant ( $U$ ) (Isely a Grabowski 2007):

$$P = C - (F + U) - R.$$

Rheola llif dŵr afon dwf salmonidau drwy reoli gwariant egni metabolaidd ar yr un llaw a phorthiant egni ar y llaw arall. Y llif sy'n darparu ysglyfaeth i'r pysgod tra eu bod hwythau yn gwario egni metabolaidd yn nofio i gynnal eu lleoliadau tiriogaethol (Fausch 1984).

Yn aml, bydd yr eog, y brithyll a'r penlletwad (*Cottus gobio* L.) yn cydfyw fel poblogaethau cydgynefinol (Mann a Blackburn 1991). Mae gan y tair rhywogaeth gilfachau ecolegol diffiniedig. Mae corff dorsal-fentrol gwastatedig y penlletwad yn hwyluso bodolaeth fenthig; cysylltir y brithyll â microgynefinoedd â chyflymder llif canolig, tra bod yr eog ar ei mwyaf medrus mewn llif uchel (Tomlinson a Perrow 2003; Jonsson a Jonsson 2011). Tra bod dosbarthiad pariaid salmonid yn ymddangos yn sefydlog ar raddfa estyniad afon, byddant yn dangos ymddygiad ffoi ar raddfa microgynefinol gan ymgynnull mewn pyllau dŵr (Greenberg 1992; 1994; Armstrong *et al.* 1998; Huntingford *et al.* 1999; Dare *et al.* 2002). O dan y fath amgylchiadau, gwelir cystadleuaeth mewn- a rhyng-rywogaethol am fwyd a lloches (Elliott 2006). Arwain hyn at gynnydd ffyrnigrwydd ymddygiadau gelyniaethus (Stradmeyer *et al.* 2008). Tra cynigia lleihad llif y posibilrwydd o arbed yr egni metabolaidd a ddefnyddir wrth nofio yn erbyn y cerrynt, erys yn aneglur a fydd cynnydd gwariant egni metabolaidd drwy ryngweithiadau cystadleuol yn lleihau cyfanswm yr arbediad egni hwnnw ac, o ganlyniad, yn effeithio cyfraddau twf.

Fel cydran fwyaf eu hymborth, dibynna twf salmonidau nantyddol ar argaeledd a chynnwys egni macroinfertebratau (Jonsson a Jonsson 2011). Os bydd dwysedd macroinfertebratau ( $m^{-3}$ ) yn gyson, ond cyflymder llif afon yn arafu, yna bydd y nifer

o ysglyfaeth sydd ar gael pob eiliad i bysgodyn yn gostwng. Fodd bynnag, mae effaith llif isel ar ddwysedd macroinfertebratau yn amrywiol; dibynna ar hyd cyfnod a gerwinder y llif isel, ynghyd â thueddiad tacson-ddibynnol infertebratau i arddangos ymddygiad ffoi drwy noflithro'n wirfoddol yn y golofn ddŵr (Dewson *et al.* 2007). Cyflwyno'r fath gymhlethdod ecolegol esiampl o'r angen am ddata o ecosystem gynrychiadol i asesu effaith aflonyddiad amgylcheddol ar ben-ysglyfaethwyr cadwyn fwyd, megis y brithyllod a'r eogiaid. Yn gyffredinol, bydd cyfoethogrwydd rhywogaethau infertebratau yn lleihau fel ymateb i leihad llif oherwydd bod yr amrywiaeth gynefinol yn crebachu (Englund a Malmqvist 1996; Cazaubon a Giudicelli 1999; McIntosh *et al.* 2002). O safbwynt bioegni salmonid, mae newid i gyfansoddiad tacsonomaidd ysglyfaeth y golofn ddŵr yn cynrychioli newid i ansawdd egniol trosiadwy'r ysglyfaeth (Rader 1997). Gall ansawdd, yn ogystal ag argaeledd ysglyfaeth, effeithio ar gyfradd twf salmonid.

Yn sgil newid hinsawdd, disgwylir i gyfandir Ewrop brofi hafau cynhesach a sychach (Jonsson a Jonsson 2009), gan leihau llif afonydd (Bates *et al.* 2008). Mae astudiaethau mesocosm yn darparu gwybodaeth hanfodol am ymatebion ymddygiadol pysgod unigol i lifoedd isel (Greenberg 1992; 1994; Armstrong *et al.* 1998; Huntingford *et al.* 1999; Dare *et al.* 2002). Yn ategol i'r ymdrech hwnnw, mae biolegwyr pysgod a'r diwydiant acwafeithrin wedi casglu data manwl am anghenion ymborthol a chyfraddau twf eogiaid a brithyllod o dan amodau rheoledig y labordy (Elliott 1975a; 1975b; 1975c; 1975ch; Austreng *et al.* 1987; Storebakken ac Austreng 1987; Handeland *et al.* 2008). Diffygiol, fodd bynnag, yw ein dealltwriaeth o ymateb pysgodfeydd salmonid i ryngweithiad holl gydrannau llif isel gan gynnwys newid i arwynebedd cynefinol a chyflenwad bwyd macroinfertebrataidd (ansawdd a maint), cynnydd cystadleuaeth am fwyd a gofod, ynghyd ag risg o ysglyfaethdod gan famaliaid ac adar lleol, tymereddau uwch, crynodiad ocsigen hydoddedig is, a straen ansawdd dŵr drwy gynydd mewn crynodiad hydoddion (Hayes a Young 2001). Yr angen cyfredol yw am ddata empeiraidd o ecosystem gyflawn, a'i chymhlethdodau ymhlyg, ar ymateb salmonidau ffrydiau dyfrol i lif isel. Byddai'r wybodaeth hon yn galluogi cynnig rhagfynegiadau ar effaith newid hinsawdd ar boblogaethau salmonid (Piccolo *et al.* 2014).

Yn y bennod hon, adroddir am arbrawf lleihau llif gan ddefnyddio pwynt arallgyfeirio dŵr mewn afon Gymreig i efelychu llif isel hinsawdd anwythol. Profir dilysrwydd y damcaniaethau canlynol: (1) bydd dwysedd pariaid *S. trutta* a *S. salar* yn is o dan amodau llif isel; (2) bydd cyfradd twf *S. trutta* a *S. salar* yn sefydlog o dan amodau llif

isel; a (3) bydd dwysedd a màs cymedrig macroinfertebratau benthig yn is o dan amodau llif isel.

### **4.3. Methodoleg**

#### **4.3.1. Y safle**

Cynhaliwyd yr arbrawf yn Afon Aled, Bryn Aled, Llanfair Talhaearn, Conwy, Gogledd Cymru, DU (lledred: 53.219570; hydred: -3.5635587). Dyma safle prin, sy'n ddelfrydol ar gyfer anghenion yr arbrawf hwn, gan fod ddŵr yn cael ei arallgyfeirio yn uniongyrchol o afon naturiol. Tardda'r afon yn Llyn Aled mewn ardal ucheldirol ar Fynydd Hiraethog (372 m uwchben lefel y môr) cyn llifo i Lyn Aled Isaf, ac ymlaen i'r gogledd gan ymuno ag Afon Elwy yn gyntaf, ac yna Afon Clwyd. Arllwysa Afon Clwyd i'r môr oddi ar arfordir gogledd Cymru yn Y Rhyl. Llyn naturiol a ehangwyd trwy adeiladu argae yw Llyn Aled; cronfa artiffisial yw Llyn Aled Isaf. Defnyddir y ddau lyn i reoli llif Afon Aled.

Yn ddaearegol, cyfansoddir dalgylch Afon Aled o haenau carreg laid a thywodfaen Silwraidd (British Geological Survey 1999). Ceir cyfundrefn hinsoddol nodweddiadol o Ogledd-orllewin Ewrop, gyda thymereddau mwyn a dyodiad uchel. Mesurir dyodiad cyfartalog blynyddol yr ardal yn 1185 mm (CEH 2017; data cyfartalog ar gyfer 1961-1990 yn Pont-y-Gwyddel (lledred: 53.231961; hydred: -3.5715015)). Mae ansawdd cemegol nentydd ac afonydd yr ardal yn gynrychiadol o ucheldir Cymru (pH: 6-7; dargludedd: 46-320  $\mu\text{S}$ ; P: 61-500  $\mu\text{g L}^{-1}$ ;  $\text{NO}_3^-$ : 0.4-30  $\text{mg L}^{-1}$ ; British Geological Survey, 1999). Tra bod rhai ardaloedd â choedwigoedd collddail a rhostir ucheldirol yn bodoli yn y dalgylch, pori a wneir ar ran helaeth y tir lleol (CEH 2017; British Geological Survey 1999).

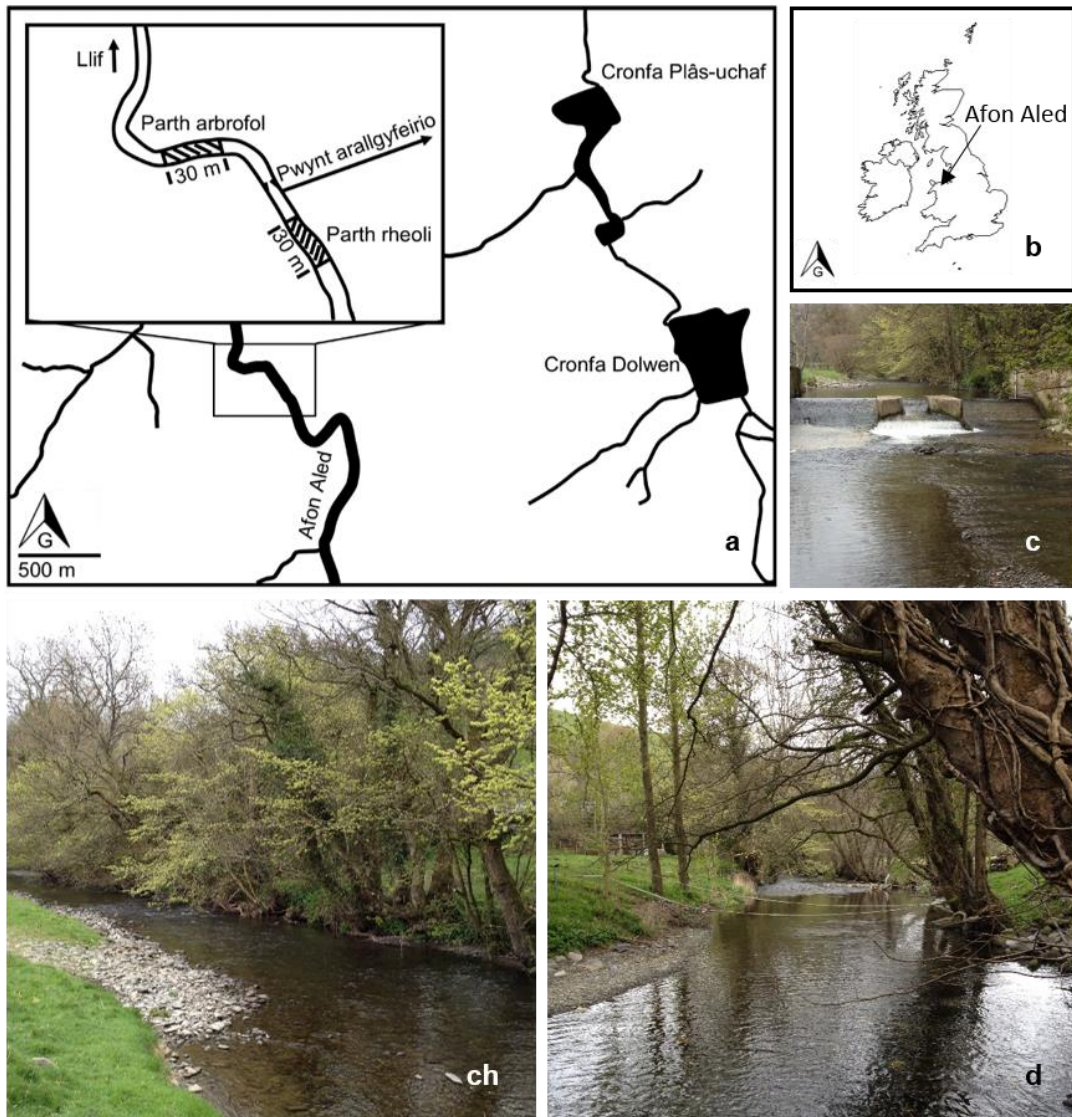
O'i tharddiad yn rhostir Mynydd Hiraethog, llifa Afon Aled drwy ddyffrynnoedd mwy cynhyrchiol wrth iddi lifio tuag at yr arfordir. Erbyn cyrraedd lleoliad yr astudiaeth, bydd wedi disgyn 265 m o'i tharddiad yn Llyn Aled (graddiant cyfartalog o  $18 \text{ m}^{-1} \text{ km}^{-1}$ ) (dargopiad o fap Google, DaftLogic 2018, gan ddefnyddio meddalwedd ImageJ, National Institute of Health, UDA). Yn safle'r astudiaeth, mae gan yr afon blan-ffurf lled-droellog o fewn cwm gwastad sydd rhwng Cefn-Treflech a Fron Fawr. Yf defaid, gwartheg a cheffylau'r caeau cyfagos o'r afon. Yn y parthau a samplwyd roedd gwely'r afon yn gymysgedd gymharol unfurf o swbstrad bras a man. Roedd un glan o goed collddail yn serth ac yn disgyn yn syth i ddŵr dwfn, tra bod y glan arall yn codi'n raddol i ddŵr bas.

#### **4.3.2. Dyluniad arbrofol**

Cynhaliwyd yr arbrawf yn haf 2014. Diffinnir y driniaeth 'arbrofol' fel lleihad arllwysiad afonol drwy wyriad dŵr â phympiau diwydiannol, hynny yn y parth arbrofol. Caiff dŵr ei arallgyfeirio'n gyson o'r orsaf bwmpio i gronfeydd Dolwen a Phlâs-uchaf (Ffigwr 4.2) i gynnal anghenion bwrdeistrefol. Lleolwyd y parth rheoli i fyny'r afon, a'r parth arbrofol i lawr yr afon, o'r pwynt arallgyfeirio, a oedd yn gyfagos â'r orsaf bwmpio. Roedd cored goncrit ger y pwynt arallgyfeirio, a'r ddau barth (rheoli ac arbrofol) yn 30 m o hyd. Samplwyd biota y ddau barth ar ddiwedd misoedd Gorffennaf, Awst a Medi (pysgod: Diwrnod 0, 20 a 46; benthos a deunydd organig: Diwrnod: 4, 22 a 47 yr astudiaeth). Noder fod cofnod o ddefnydd peirianwaith trwm ger yr afon rhwng y parth rheoli a'r parth arbrofol ar ddiwedd yr astudiaeth (Diwrnod 46).

#### **4.3.3. Mesur effeithiolrwydd y driniaeth**

Amcangyfrifwyd maint y driniaeth llif drwy gyfrifo'r gwahaniaeth rhwng arllwysiad ( $m^3 d^{-1}$ ) yr afon cyn y pwynt arallgyfeirio, a'r arllwysiad a arallgyfeiriwyd gan yr orsaf bwmpio (data o'r orsaf bwmpio gan Dŵr Cymru, cyfathrebiad personol). Mesurwyd dyfnder y dŵr mewn pum pwynt ar draws yr afon; hynny, bob 10 m o'r parth rheoli ac arbrofol, gan ddefnyddio ffon fesur dur gwrthstaen. Amcangyfrifwyd arwynebedd gwlyb â'r un dull a ddefnyddiwyd ym Mhennod 3 (manylir ar dudalen 30 ac yn Atodiad 1). Cymerwyd mesuriadau o led, dyfnder ac arwynebedd gwlyb sianel ddŵr y parthau rheoli ac arbrofol ar Ddiwrnodau 0, 4, 20, 22, 46 a 47 yr astudiaeth; hynny yw, i gyd fynd a'r diwrnodau y samplwyd y biota.



**Ffigur 4.2: Lleoliad Bryn Aled**

Lleoliad yr astudiaeth ym Mryn Aled, gogledd Cymru, DU (a, b). Labelir parthau'r arbrawf (30 m yr un). Cynrychiola'r saeth lleoliad a chyfeiriad yr arallgyfeiriad gan orsaf bwmpio dŵr, lle caiff dŵr ei drosglwyddo i Gronfeydd Dolwen a Phlas-uchaf ar gyfer anghenion bwrdeistrefol. Cynhwysir ffotograffau o'r gored (c) sydd rhwng y parth rheoli (ch) a'r parth arbrowl (d). Noder fod y parth arbrowl ochr draw i'r rhaff wen sydd dros yr afon. Data a delweddau (wedi eu haddasu): (a) dargopiâd o fap safonol; (b) CIA World DataBank II; (c - d) Ifan Bryn Jâms.

#### 4.3.4. *Samplu'r biota*

Mae'r dulliau a ddefnyddiwyd i samplu'r pysgod â'r gymuned macroinfertebrataidd wedi eu disgrifio eisoes (Pennod 3). Yn fras, casglwyd y pysgod drwy electro-bysgota meintiol safonol (Cerrynt di-dor; Foltedd (V) ac Amledd (Hz) wedi eu gosod yn ôl dargludedd y dŵr ar gyfer daliant optimaidd salmonidau (Beaumont 2011)). Mesurwyd hyd fforch bob pysgodyn i'r mm agosaf, a'r pwysau i'r 0.1 g agosaf (anaestheiddwyd y pysgod â (Tricaine Pharmaq (Trican methan sylffonad); PHARMAQ Ltd, DU) (dan Drwydded y Swyddfa Gartref (PPL 30/2667))). Samplwyd y gymuned macroinfertebrataidd a'r swmp deunydd organig bras a mân (DOGB/M)



trwy gymryd pum sampl Hess (0.07 m<sup>2</sup>; Hess 1941; rhwyd am i lawr yr afon: rhwyll 500 µm; rhwyd am i fyny'r afon: rhwyll 1000 µm; EFE-UK & GB Nets Ltd. DU) ar hap o unrhyw fan addas (rhychau) o fewn parth, ar y tri achlysur samplu. Wedi adnabod yr infertebratau i lefel tacsonomaidd bras, trosglwyddwyd y sbesimenau i ffiolau gwydr. Mesurwyd cyrff macroinfertebratau fel dimensiynau llinol (lled capsiwl y pen neu hyd y corff), ac amcangyfrifwyd màs cyrff unigolion trwy ddefnyddio hafaliadau atchwel hyd-màs sych cyhoeddedig (Atodiad 3). Cofnodwyd peth allanolion wrth gyfrifo gwerthoedd màs yn ôl urdd; cyfaddawd dull sy'n ennill data unigryw ar gyfer pob infertebrat a gasglwyd.

#### **4.3.5. Dadansoddiad ystadegol**

Dadansoddwyd holl ddata'r astudiaeth gan ddefnyddio meddalwedd Excel (Microsoft 2013) neu R (fersiwn 2.15.1 neu 3.3.2, R Development Core Team 2016) ar lwyfan RStudio (RStudio Team 2016). Amcangyfrifwyd maint poblogaethau pysgod (n) yn ôl cyfradd teneuo niferoedd (Li a Li 2007; gweler hafaliad cyfradd teneuo Adran 3.3.6). Er mwyn diffinio carfanau oed pysgod, dadansoddwyd amledd-hyd pysgod yn ôl rhywogaeth fesul pob achlysur samplu fel dosraniadau cymysg. Defnyddiwyd pecyn *mixdist* (Macdonald a Du 2012) ar gyfer rhaglen R i weddu dosraniadau cymysg, gan osod pwynt croesi dau ddosraniad fel y trothwy hyd fforch rhwng carfan oed pysgod a ddeorwyd yng ngwanwyn 2014 (blwyddyn gyntaf; 'Carfan 0+') a'r garfan pysgod a ddeorwyd yng ngwanwyn 2013 neu gynharach (ail flwyddyn neu hŷn; 'Carfan ≥1+'). Profwyd am wahaniaethau dwyseddau rhwng y parth rheoli ac arbrofol gyda phrawf Mann-Whitney. Cynhyrchwyd cynrychioliad gweledol dwyseddau ar ffurf plot blwch â phegyn '*ggplot2*' yn rhaglen R, lle cafodd gosodiad maint allanolion ei osod yn "NA".

Cyfrifwyd biomas pysgod (g 10 m<sup>-2</sup>) yn ôl carfanau oed. Cyfrifwyd cynhyrchiant carfanu pysgod (g 10 m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) yn ôl Hayes *et al.* (2007) (cyflwynwyd eisoes yn adran 4.2):

$$\hat{C} = \bar{N} \Delta \bar{w}$$

gyda  $\hat{C}$  = gynhyrchiant dros gyfnod yr arbrawf (46 diwrnod);  $\bar{N}$  = gymedr rhifyddol dwysedd carfan neu dacson o Ddiwrnod 0 (*a*) i Ddiwrnod 46 (*a+1*); a  $\Delta \bar{w}$  = newid i fàs cymedrig unigolion yn y garfan neu dacson o amser *a* i *a+1*. Yn yr ystyr caeth, fel y cyflwynir yn adran 4.2, cynhyrchiant yw: cyfradd o ffurfiant meinwe, boed i'r meinwe hwnnw oroesi neu beidio, i ddiwedd cyfnod amser diffiniedig (*sensu* Waters 1977). Gan i'r cyfnod arbrofol fod yn fyr o'i gymharu â chylchredau bywyd y brithyll a'r eog, ni wnaethpwyd unrhyw ymgais i amcangyfrif colledion biomas drwy farwolaethau neu

allfudiadau. Yn yr astudiaeth hon, felly, dylid ystyried cynhyrchiant fel amcan o gyfradd ffurfiant meinwe byw'r poblogaethau dan sylw yn unig.

Defnyddiwyd modelau llinol cyffredinol (MLIC) i gymharu hyd a màs pysgod fesul carfan oed rhwng y parth rheoli a'r parth arbrofol, ynghyd â'u cyfraddau twf (hyd fforch a màs pysgod) dros 46 diwrnod (newidynnau 'y'). Gosodwyd newidynnau annibynnol MLIC y pysgod fel: "parth" (rheoli neu arbrofol); "amser" (Diwrnod 0, 20 neu 46); a rhyngweithiad "parth\*amser". Os yn briodol trawsffurfiwyd y data dibynnol (y), neu defnyddiwyd un o'r ffwythiannau *family* ynghyd â'r *link* perthnasol yn rhaglen R, i sicrhau tybiaeth modelau llinol o weddilleb â diffyg ymgydberthyniad a dosraniad normal, homeostatig. Barnwyd dilysrwydd modelau â gwiriadau gweledol. Dynodir cyfeiliornad safonol unrhyw werth cymedrig gan '±' yn y bennod hon.

Nid oedd modd ymrannu dosraniadau maint y tacsonau infertebrataidd i garfanau oed, oherwydd amrywiaeth hanes bywyd is-dacsonau. Yn annhebyg i garfanau oed y pysgod, ni ystyriwyd cynnydd maint cymedrig y grwpiau heterogenaidd hyn yn llinol. Nodwyd, felly, "amser" (Diwrnod 4, 22 a 47) fel newidyn pendant mewn MLIC, â'r strwythur:  $y \sim \text{"parth"} + \text{"amser"}$  i reoli am amrywiaeth dros gyfnod yr arbrawf. Rhydd hyn bosibilrwydd profi am wahaniaethau rhwng y parth rheoli ac arbrofol. Cronnwyd data dwysedd a màs y pum brif dacson i brofi dylanwad llif isel ar y gymuned yn ei chyfanrwydd. Defnyddiwyd yr un strwythur mewn MLIC ar wahân i brofi am wahaniaeth yng nghyfanswm deunydd organig (bras a mân) y ddau Barth. Defnyddiwyd ffwythiannau *family* a *link* meddalwedd R, ynghyd â thrawsffurfiadau o'r newidyn dibynnol (y) i gynnal dilysrwydd y modelau pan fu'n briodol.

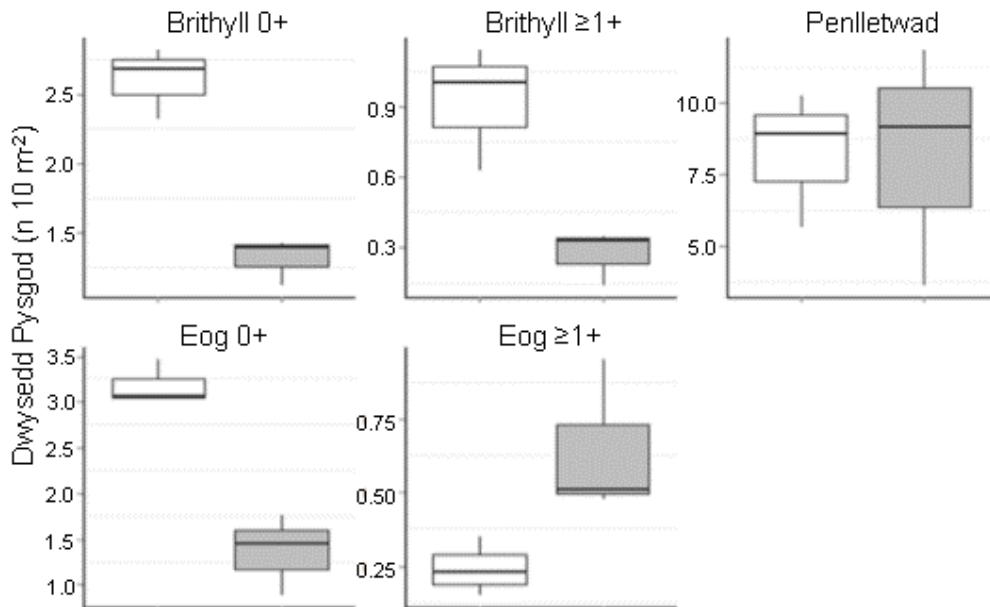
#### **4.4. Canlyniadau**

##### **4.4.1. Y driniaeth llif**

Bu'r pwynt arallgyfeirio yn weithredol yn 2014 o fis Chwefror ymlaen. Yn ystod yr arbrawf yn haf 2014 cyfrifwyd arllwysiad dyddiol cyfartalog y parth rheoli i fod yn  $30,912.06 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  ( $\pm 1,599.95$ ), tra bod arllwysiad y parth arbrofol yn  $22,176.08 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  ( $\pm 1,623.76$ ). Cynrychiola hyn arllwysiad 28.26 % ( $8,735.98 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \pm 311.64$ ) yn is yn y parth arbrofol. Roedd y parth arbrofol 16.21 % llai dwfn na'r parth rheoli ( $14.83 \text{ cm} \pm 0.75$ ;  $17.7 \text{ cm} \pm 0.67$ ; yn ôl trefn (cymedr pob mesuriad dyfnder). Gwelwyd fod lled gymedrig (cymedr pob mesuriad lled) y parth rheoli yn  $7.21 \text{ m}$  ( $\pm 0.12$ ), a'r parth arbrofol yn  $7.20 \text{ m}$  ( $\pm 0.34$ ). Golyga hyn bod arwynebedd gwlyb y parth arbrofol 6.62 % yn llai na'r parth rheoli (rheoli:  $217.83 \text{ m}^2 \pm 3.13$ ; arbrofol:  $203.42 \text{ m}^2 \pm 3.73$ ).

#### 4.4.2. Ymatebion y pysgod

Roedd y rhan fwyaf o'r pysgod a ddaliwyd yn eogiaid (*S. salar*), brithyllod (*S. trutta*) neu yn benlletwadau (*C. gobbio*). Ymysg y pysgod a ddaliwyd, gwelwyd hefyd niferoedd bychain o lyswennod (*Anguilla anguilla* L.) a llyswennod pendoll (Petromyzontiformes B.). Roedd llai o frithyllod Carfanau 0+ a  $\geq 1+$  (Adran 4.3.5 am ddiffiniad o garfanau oed pysgod), ac eogiaid Carfan 0+ yn y parth arbrofol na'r parth rheoli yn ôl arwynebedd gwlyb dros hyd gyfnod yr arbrawf (Ffigwr 4.3; heb fod yn ystadegol arwyddocaol,  $V = 6$ ,  $p = 0.25$  ar gyfer y tair carfan). Roedd patrwm dwysedd eogiaid Carfan  $\geq 1+$  i'r gwrthwyneb (Ffigwr 4.3; heb fod yn ystadegol arwyddocaol;  $V = 6$ ,  $p = 0.25$ ). Dros gyfanrwydd yr astudiaeth (cyfuniad data'r tri arolwg) roedd maint pysgod (hyd fforch a màs cymedrig) y parth rheoli ac arbrofol yn debyg (Tabl 4.1).



**Ffigwr 4.3: Dwyseddau *Salmo* ifanc yn is mewn parth afon dan leihad llif arbrofol**

Dwyseddau brithyllod (*Salmo trutta*), eogiaid (*S. salar*) a Penlletwad (*Cottus gobio*) mewn parthau rheoli (llif llawn; blychau gwyn) ac arbrofol (llif 28% yn is; blychau llwyd) yn Afon Aled, gogledd Cymru, DU. Dynodir carfanau pysgod yn eu blwyddyn gyntaf gan "0+" a charfanau yn eu hail flwyddyn neu hyn gan " $\geq 1+$ ". Cyflwynir y boblogaeth penlletwad fel un garfan oed cymysg. Caiff y canolrif ei ddynodi â llinell drom ddu a'r amrediad rhyngchwartel perthnasol gan flwch. Cynrychiola estyniadau llinol o'r blychau werthoedd 1.5 x yr amrediad rhyngchwartel.

**Tabl 4.1: Maint salmonidau parth rheoli a llif isel yn debyg**

Canlyniadau dadansoddiad modelau llinol cyffredinol ar gyfer hyd fforch ('hyd') a màs carfanau oed brithyll (*Salmo trutta*) ac eog (*S. salar*). Profwyd am wahaniaeth mewn hyd neu fàs gan ystyried data cyfunol tri arolygiad o'r afon. Cyflwynir gwerthoedd  $R^2$  addasedig ( $R^2_{add.}$ ), graddau rhyddid (grh), ystedgyn prawf F a gwerthoedd p, fesul carfan oed.

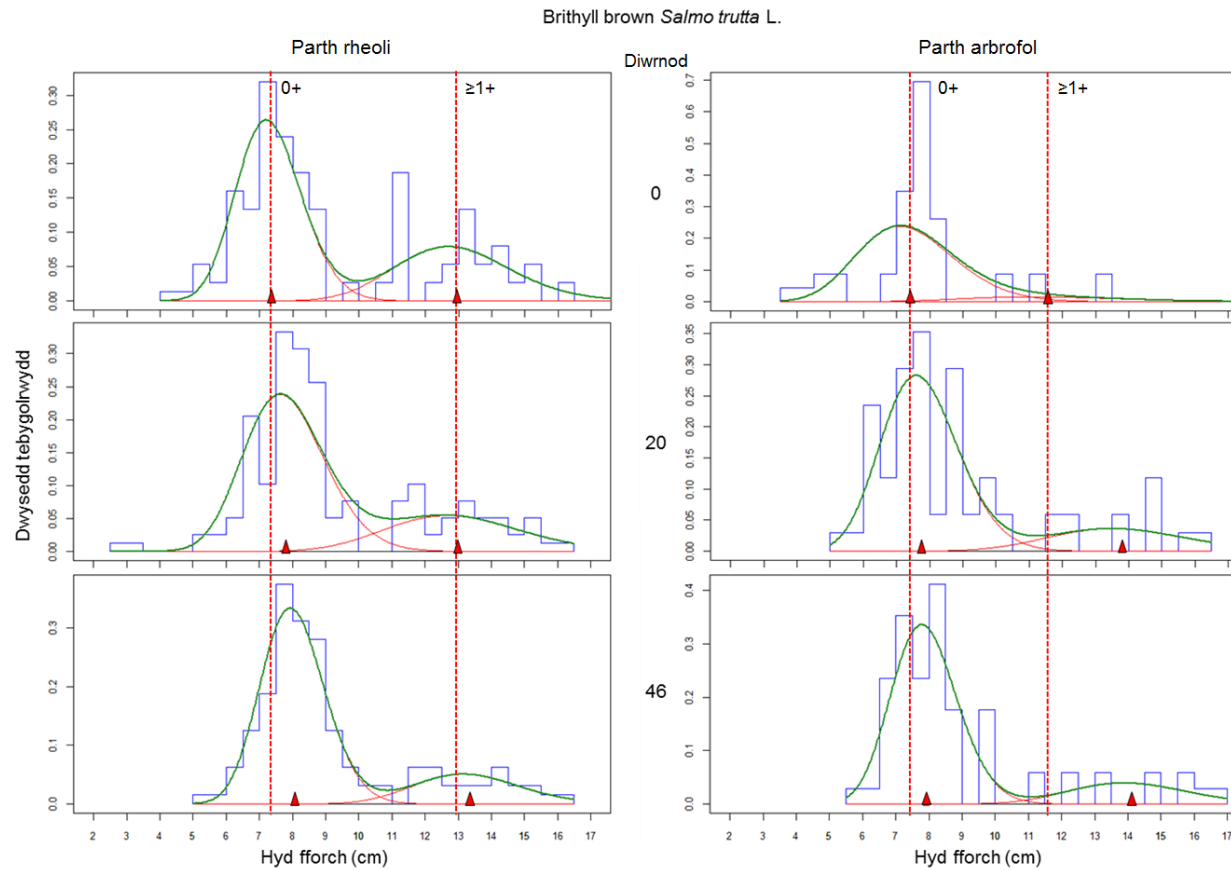
| Rhywogaeth          | Paramedr | Oed | $R^2_{add.}$ | grh    | F     | p    |
|---------------------|----------|-----|--------------|--------|-------|------|
| <i>Salmo trutta</i> | hyd      | 0+  | 0.04         | 3, 232 | 4.15  | 0.95 |
|                     |          | ≥1+ | 0.27         | 3, 69  | 9.71  | 0.07 |
|                     | màs      | 0+  | 0.05         | 3, 232 | 73.18 | 0.39 |
|                     |          | ≥1+ | 0.42         | 3, 69  | 18.18 | 0.10 |
| <i>Salmo salar</i>  | hyd      | 0+  | 0.12         | 3, 217 | 10.63 | 0.53 |
|                     |          | ≥1+ | 0.01         | 3, 45  | 1.24  | 0.31 |
|                     | màs      | 0+  | 0.65         | 3, 217 | 1.36  | 0.58 |
|                     |          | ≥1+ | 0.99         | 3, 45  | 1085  | 0.12 |

Ni effeithiodd y driniaeth llif isel ar gyfradd twf brithyllod Carfanau 0+ na ≥1+ yn ôl hyd y pysgod ( $R^2$  addasedig ( $R^2_{add.}$ ) = 0.04,  $F_{3, 232} = 4.15$ ,  $p = 0.70$ ;  $R^2_{add.} = 0.27$ ,  $F_{3, 69} = 9.71$ ,  $p = 0.27$ ; yn ôl trefn), nac yn ôl eu màs ( $R^2_{add.} = 0.05$ ,  $F_{3, 232} = 73.18$ ,  $p = 0.28$ ;  $R^2_{add.} = 0.42$ ,  $F_{3, 69} = 18.18$ ,  $p = 0.43$ ; yn ôl trefn; Ffigwr 4.4; Tabl 4.2). Ni effeithiodd y driniaeth chwaith ar gyfradd twf yr eogiaid yng Ngharfanau 0+ na ≥1+ yn ôl eu hyd ( $R^2_{add.} = 0.12$ ,  $F_{3, 217} = 10.63$ ,  $p = 0.53$ ;  $R^2_{add.} = 0.01$ ,  $F_{3, 45} = 1.24$ ,  $p = 0.69$ ; yn ôl trefn), na'u màs ( $R^2_{add.} = 0.65$ ,  $F_{3, 217} = 1.36$ ,  $p = 0.66$ ;  $R^2_{add.} = 0.99$ ,  $F_{3, 45} = 1085$ ,  $p = 0.93$ ; yn ôl trefn; Ffigwr 4.5; Tabl 4.2). Roedd cynhyrchiant Carfanau 0+ brithyll ac eog yn uwch na'u cydryw yng Ngharfanau ≥1+ yn y parth rheoli, yn ogystal â'r parth arbrofol. Gwelwyd colled màs cymedrig, ac felly lleihad cynhyrchiant brithyll Carfan ≥1+, o dan y llifoedd rheoli ac isel dros gyfnod yr astudiaeth; nid felly ar gyfer Carfan ≥1+ yr eogiaid. Er bod màs cymedrig Carfanau 0+ brithyll ac eog y ddau barth yn gymharol, gwelwyd fod dwysedd is y ddwy rywogaeth wedi lleihau cynhyrchiant pysgodfa'r parth llif isel o'i gymharu â physgodfa'r parth rheoli (Tabl 4.2).

**Tabl 4.2: Cynhyrchiant is salmonidau Carfan 0+ yn gysylltiedig â dwyseddau is yn hytrach na chyfraddau twf is**

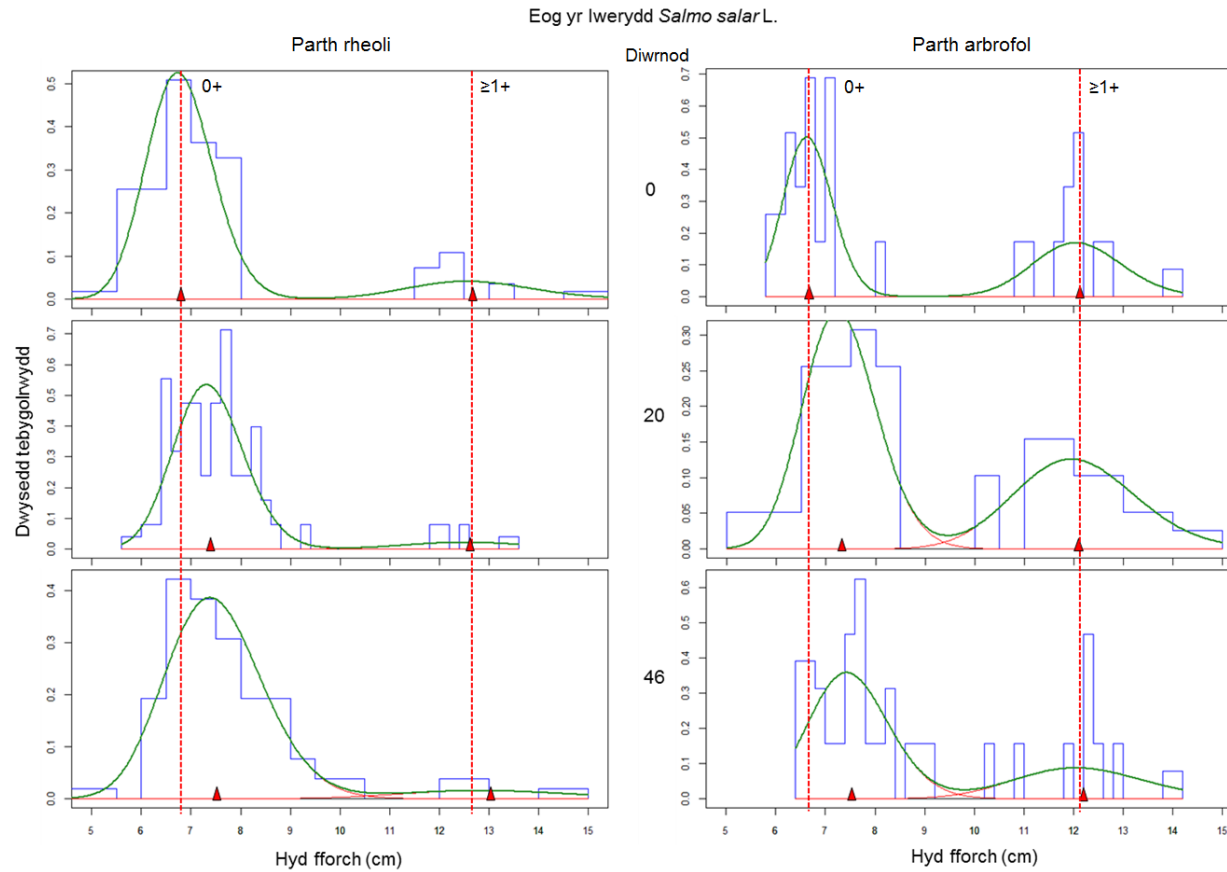
Cyfraddau twf a chynhyrchiant pysgod mewn afon Gymreig dros 46 diwrnod yn ystod haf 2014. Cynrychiolir pysgod yn eu blwyddyn gyntaf gan '0+' a physgod hŷn gan '≥1+'. Caiff poblogaeth gyfan *Cottus gobio* ei chynrychioli fel un garfan oed. Cyfrifwyd cymedr (n), dwysedd ( $n \text{ m}^{-2}$ ), hyd a màs pysgod unigol dros dri phwynt samplu: Diwrnod 0, Diwrnod 20 a Diwrnod 46. Caiff cyfradd newid ei ddynodi gan 'Δ'; diwrnod fel uned amser gan 'd'; a chyfeiliornad safonol o'r cymedr gan '±'.

| Llif                       | Oed  | n   | $n \text{ 10 m}^{-2}$ | Hyd fforch<br>(cm) |          | Màs<br>(g) |          | Biomàs<br>(g $10 \text{ m}^{-2}$ ) | Δ Hyd<br>(mm d <sup>-1</sup> ) | Δ Hyd<br>(% d <sup>-1</sup> ) | Δ Màs<br>(g d <sup>-1</sup> ) | Δ Màs<br>(% d <sup>-1</sup> ) | Cynhyrchiant<br>(g $10 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) |
|----------------------------|------|-----|-----------------------|--------------------|----------|------------|----------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| <b><i>Salmo trutta</i></b> |      |     |                       |                    |          |            |          |                                    |                                |                               |                               |                               |   |
| Rheoli                     | 0+   | 58  | 2.68                  | 7.81               | (± 0.09) | 5.68       | (± 0.17) | 15.21                              | 0.154                          | 0.207                         | 0.027                         | 0.548                         | 0.073   |
| Isel                       | 0+   | 27  | 1.31                  | 7.73               | (± 0.15) | 5.68       | (± 0.35) | 7.11                               | 0.124                          | 0.168                         | 0.007                         | 0.126                         | 0.009   |
| Rheoli                     | ≥1+  | 20  | 0.92                  | 13.31              | (± 0.22) | 28.78      | (± 1.96) | 26.48                              | 0.048                          | 0.036                         | -0.077                        | -0.243                        | -0.071  |
| Isel                       | ≥1+  | 5.7 | 0.27                  | 14.27              | (± 0.59) | 36.68      | (± 5.10) | 8.25                               | -0.529                         | -0.322                        | -0.552                        | -0.934                        | -0.151  |
| <b><i>Salmo salar</i></b>  |      |     |                       |                    |          |            |          |                                    |                                |                               |                               |                               |   |
| Rheoli                     | 0+   | 69  | 3.19                  | 7.29               | (± 0.07) | 4.73       | (± 0.15) | 11.35                              | 0.152                          | 0.222                         | 0.027                         | 0.687                         | 0.087   |
| Isel                       | 0+   | 28  | 1.36                  | 7.27               | (± 0.09) | 4.68       | (± 0.18) | 4.90                               | 0.196                          | 0.291                         | 0.035                         | 0.953                         | 0.047   |
| Rheoli                     | ≥1+  | 5.3 | 0.24                  | 12.73              | (± 0.27) | 26.09      | (± 1.61) | 5.52                               | 0.118                          | 0.093                         | 0.029                         | 0.111                         | 0.007   |
| Isel                       | ≥1+  | 13  | 0.65                  | 12.15              | (± 0.17) | 22.46      | (± 0.71) | 12.64                              | 0.023                          | 0.019                         | 0.012                         | 0.055                         | 0.008   |
| <b><i>Cottus gobio</i></b> |      |     |                       |                    |          |            |          |                                    |                                |                               |                               |                               |   |
| Rheoli                     | Holl | 179 | 8.27                  | 5.49               | (± 0.04) | 2.24       | (± 0.05) | 15.00                              | 0.007                          | 0.013                         | -0.001                        | -0.055                        | -0.010  |
| Isel                       | Holl | 169 | 8.22                  | 5.59               | (± 0.05) | 2.47       | (± 0.06) | 13.80                              | 0.028                          | 0.051                         | 0.003                         | 0.117                         | 0.024   |



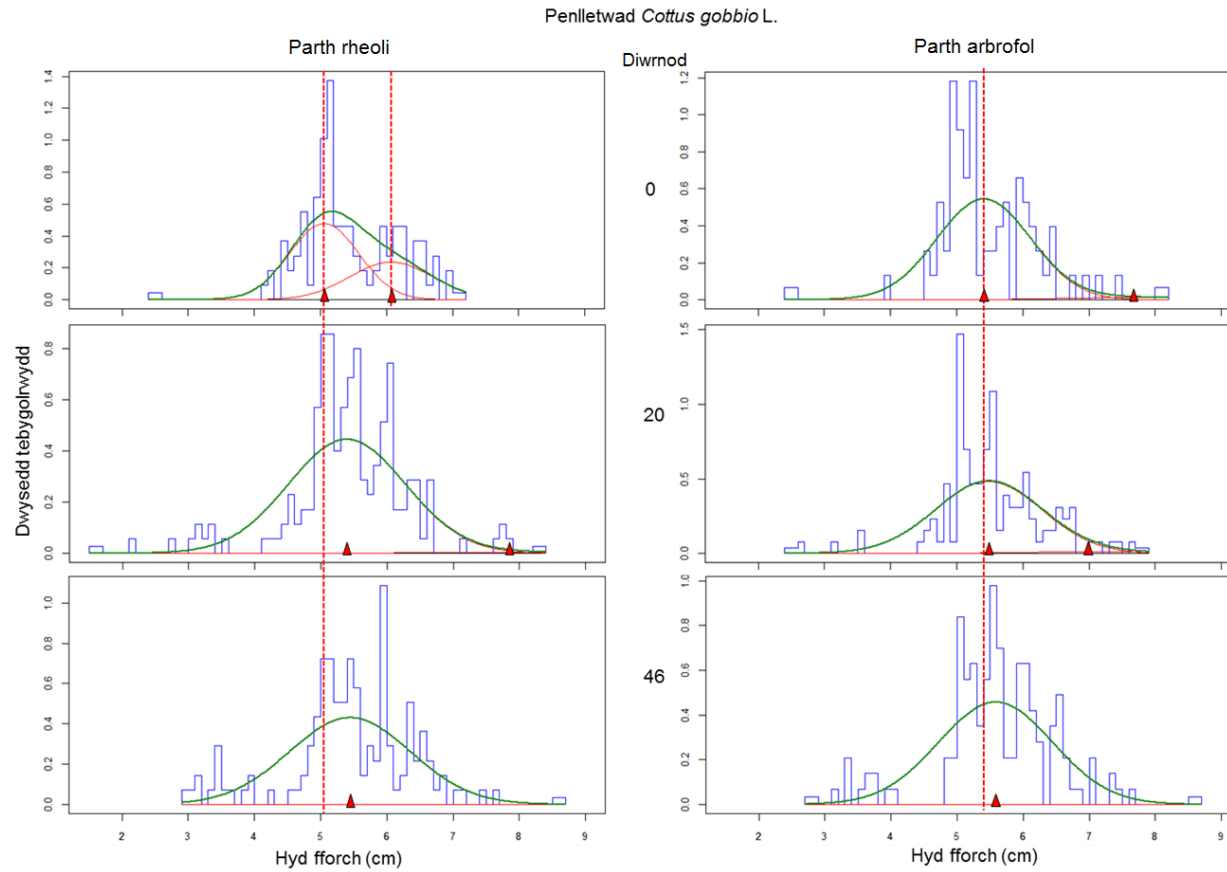
**Ffigwr 4.4: Cyfraddau twf tebyg brithyllod parthau rheoli a llif isel**

Cyfraddau twf carfanau oed brithyll brown (*Salmo trutta*) mewn parth rheoli a pharth arbrofol (lleihad arllwysiad o 28 %) dros gyfnod o 46 diwrnod. Mesurwyd y pysgod ar Ddiwrnod 0, 20 a 46. Dynodir hyd fforch gymedrig carfan gan saeth goch; a hyd fforch gymedrig ar ddechrau'r arbrawf gan line'll doredig. Gwahanwyd carfanau yn ôl dosbarthiad cymysg gosodedig lle bu'r trothwy maint rhwng dwy garfan ar bwnt croesi dau ddsbarthiad (llinellau coch cyfan).



**Ffigwr 4.5: Cyfraddau twf tebyg eogiaid parth rheoli a pharth llif isel**

Cyfraddau twf carfanau oed eog yr Iwerydd (*Salmo salar*) mewn parth rheoli a pharth arbrofol (lleihad arllwysiad o 28 %) dros gyfnod o 46 diwrnod. Mesurwyd y pysgod ar Ddiwrnod 0, 20 a 46. Dynodir hyd fforch gymedrig carfan gan saeth goch; a'r hyd fforch gymedrig ar ddechrau'r arbrwf gan linell doredig. Gwahanwyd carfanau yn ôl dosbarthiad cymysg gosodedig lle bu'r trothwy maint rhwng dwy garfan ar bwynt croesi dau ddsbarthiad (llinellau coch cyfan).



**Ffigwr 4.6: Dosraniad maint a thwf cymedrig poblogaethau penlletwad**

Cyfraddau twf poblogaethau penlletwad (*Cottus gobio*) mewn parth rheoli a pharth arbrofol (lleihad arllwysiad o 28 %) dros gyfnod o 46 diwrnod. Mesurwyd y pysgod ar Ddiwrnod 0, 20 a 46. Dynodir hyd fforch gymedrig poblogaeth gan saeth goch; a'r hyd fforch gymedrig ar ddechrau'r arbrawf gan linell doredig. Nid oedd modd ymrannu'r poblogaethau i garfanau oed yn ôl dosbarthiad cymysg gosodedig ar sail unfoddedd strwythur maint y poblogaethau.



Nid oedd modd gwahanu'r boblogaeth penlletwad i garfanau oed oherwydd unfoddedd strwythur hyd fforch y boblogaeth (Ffigwr 4.6). Ni welwyd gwahaniaeth amlwg rhwng dwyseddau penlletwadau y parth rheoli a'r parth arbrofol yn ôl arwynebedd gwlyb dros gyfanswm cyfnod yr arbrawf (Ffigwr 4.3;  $W = 4$ ,  $p = 1$ ). O edrych ar ddata hyd a màs cyfartalog y penlletwad dros gyfanrwydd yr astudiaeth (arolygiadau Diwrnod 0, 20 a 46), gwelwyd fod maint penlletwad y ddau barth yn debyg ( $R^2_{\text{add.}} = 0.98$ ,  $F_{3, 766} = 1.01$ ,  $p = 0.58$ ;  $R^2_{\text{add.}} = 0.14$ ,  $F_{3, 766} = 41.4$ ,  $p = 0.56$ ; yn ôl trefn). Ni effeithiodd y driniaeth ar gyfradd twf y penlletwad yn ôl hyd fforch nac yn ôl màs cymedrig pysgod unigol ( $R^2_{\text{add.}} = 0.98$ ,  $F_{3, 766} = 1.01$ ,  $p = 0.58$ ;  $R^2_{\text{add.}} = 0.14$ ,  $F_{3, 766} = 41.4$ ,  $p = 0.56$ ; yn ôl trefn). Gwelwyd fod cyfrifiad cynhyrchiant penlletwad yn uwch yn y parth arbrofol ( $0.02 \text{ g } 10 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) na'r parth rheoli ( $0.01 \text{ g } 10 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ; Tabl 4.2).

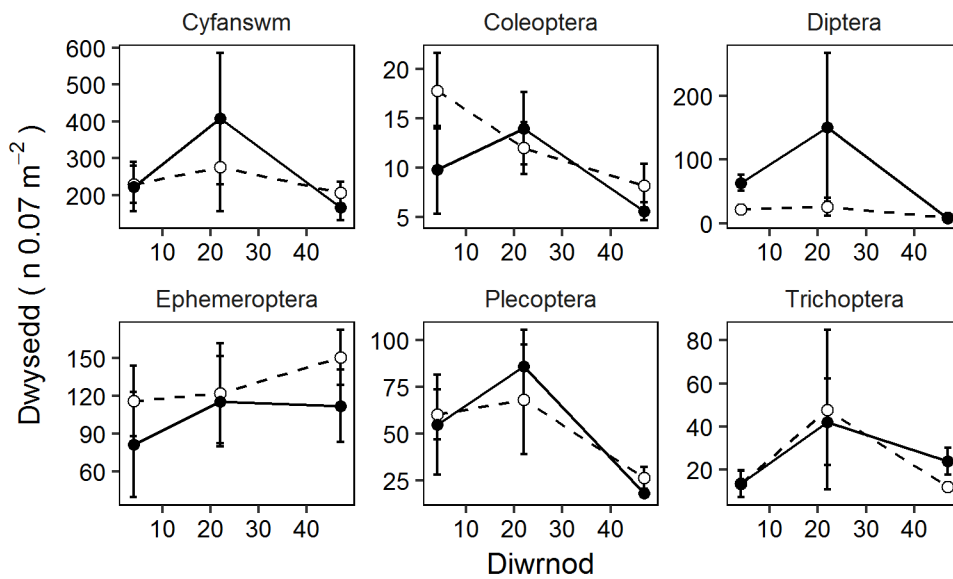
#### **4.4.3. Macroinfertebratau**

Roedd y gymuned fenthig wedi ei dylanwadu'n gryf, o ran niferoedd, gan bum grŵp tacsonomaidd, sef larfau'r pryfed (Diptera), y chwilod (Coleoptera), y cylion Mai (Ephemeroptera), y pryfed pric (Trichoptera) a phryfed y cerrig (Plecoptera). Casglwyd nifer o sbesimenau toredig o'r Oligochaeta yn ogystal. Cyflwyna'r adran hon o'r bennod ddadansoddiad o'r pum prif grŵp (cyfanswm o 7,548 o anifeiliaid), ynghyd â chyflwyno amcan o fiomas mwydod yr Oligochaeta. Yn rhan o'r gymuned hefyd, mewn niferoedd bychain, oedd oedolion Coleoptera a Diptera, ac aelodau o'r Hydrozoa, Hirudinea, Amphipoda, Gastropoda a'r Arachnidae. Ni chynhwysir y tacsau gwasgarog hyn yn y dadansoddiad ystadegol.

Wrth gymharu benthos y parthau rheoli ac arbrofol yn Afon Aled, deir i'r canlyniad cyffredinol bod nifer (dwysedd) yr infertebratau yn swbstrad y parthau rheoli ac arbrofol yn debyg; ond iddynt fod yn anifeiliaid llai (màs corff) yn y parth llif isel. Gwelwyd fod dwyseddau pedwar o'r pum prif tacson yn debyg rhwng y parthau rheoli ac arbrofol (Ffigwr 4.7), a bod gwerth  $p = 0.042$  am gymhariaeth model y Diptera yn rhoi awgrym nad oedd lleihad dwysedd y grŵp tacsonomaidd hwn yn hynod arwyddocaol ychwaith (Tabl 4.3). Roedd perthynas maint corff y tacsonau â lefel y llif yn fwy cymysglyd. Ni welwyd gwahaniaeth i fàs cymedrig larfau'r Coleoptera na'r Diptera rhwng y parthau. Yn ystadegol, o gyfuno data'r tri achlysur samplu, roedd pryfed pric (Trichoptera) y parth arbrofol yn drymach na'r rhai yn y parth rheoli (Tabl 4.4) ond ymddengys i sbesimenau trwm yr ail achlysur samplu ddylanwadu'n gryf dros yr achlysur samplu cyntaf ac olaf (Ffigwr 4.8). Yn amlycach oedd maint corff llai,

ac, felly, cyfanswm egni maethol is, Ephemeroptera a Plecoptera y parth arbrofol o'u cymharu â'u cyfoedion yn y parth rheoli.

Cynrychiola larfau'r cylion Mai 46 % o holl anifeiliad y pum prif dacson. Roedd màs cymedrig Ephemeroptera y parth llif isel 0.0606 mg yn ysgafnach na'r rheiny yn y parth rheoli. O ganlyniad, roedd màs cymedrig y pum prif dacson 0.0539 mg yn ysgafnach yn y parth arbrofol o'i gymharu â'r parth rheoli. Cafodd hyn ei adlewyrchu yn stoc biomas uwch yr Ephemeroptera o dan gyflyrau llif llawn o'i gymharu â'r rhai oedd mewn llif isel (Tabl 4.5). Nid oedd modd adnabod unigolion yr Oligochaeta oherwydd bod cyrff y sbesimenau wedi torri yn nifer o ddarnau, ynghyd ag anawsterau weithiau o'u gwahaniaethu o aelodau eraill yr Annelida. O ganlyniad, nid oes data ystyrlon naill ai ar nifer na maint cymedrig mwydod yr Oligochaeta a gasglwyd, ond trwy fesur yr holl ddarnau corff gellir ennill amcan bras o fomas y gydran hon o'r benthos. Mae'n werth nodi fod yr amcan hwn o fomas yr Oligochaeta yn sylweddol fwy na biomas cyfunol y pum prif dacson arall (Tabl 4.5).



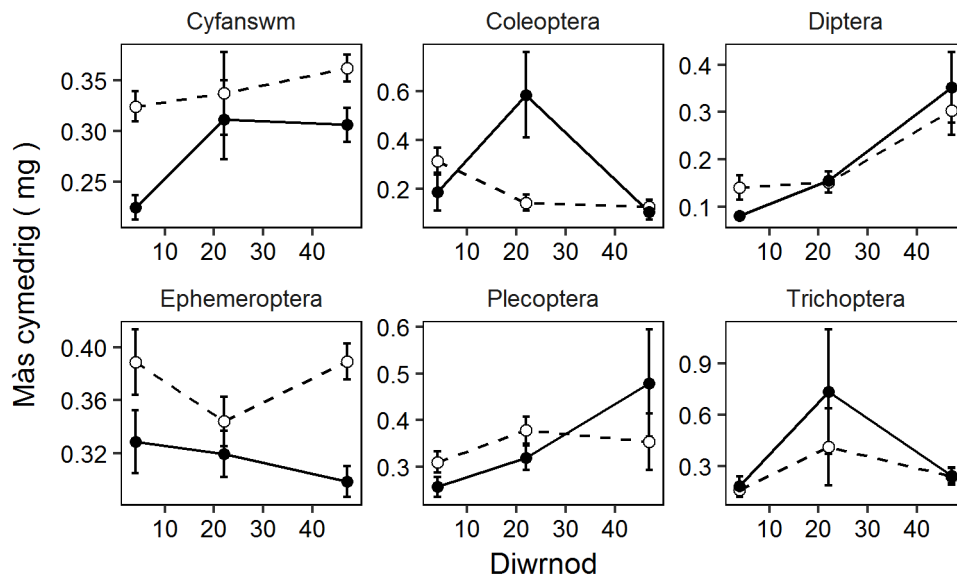
**Ffigwr 4.7: Sefydlogrwydd dwyseddau infertebrataidd**

Dwyseddau cymedrig ( $\pm$  cyfeiliornad safonol) samplau Hess ( $5 \times 0.07 \text{ m}^2$  pob achlysur samplu) mewn parth rheoli (llif llawn; smotiau golau a llinell doredig) a pharth arbrofol lle bu lleihad o 28 % i arllwysiad yr afon (smotiau tywyll a llinell llawn). Cynrychiola 'Cyfanswm' werthoedd cymedrig data cyfunol 'Coleoptera', 'Diptera', 'Ephemeroptera', 'Plecoptera' a 'Trichoptera'.

**Tabl 4.3: Modelau llinol cyffredinol yn mynegi sefydlogrwydd dwyseddau infertebrataidd**

Canlyniadau dadansoddiad modelau llinol cyffredinol ar ddwyseddau macroinfertebratau; profir am wahaniaeth rhwng parth rheoli (llif llawn) ac arbrofol (llif isel) yn Afon Aled wrth reoli am amrywiaeth dwyseddau dros gyfnod yr arbrwf (pum sampl Hess 0.07 m<sup>2</sup> ar Ddiwrnod 4, 22, 47 yr astudiaeth). Cyflwynir y modd trawsffurfiwyd y data dwysedd (y; dim trawsffurfiad = "-"); gwerthoedd R<sup>2</sup> addasiedig (R<sup>2</sup>add.), graddau rhyddid (grh), ystedgyn prawf t a gwerthoedd p fesul tacson. Cynrychiola "Cyfanswm" ddadansoddiad y gymuned infertebrataidd fel cyfanswm larfau'r Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera a Trichoptera.

| Tacson        | Trawsffurfiad y | R <sup>2</sup> add. | grh   | t      | p     |
|---------------|-----------------|---------------------|-------|--------|-------|
| Cyfanswm      | -               | 0.999               | 3, 26 | 0.198  | 0.845 |
| Coleoptera    | y+1             | 0.976               | 3, 26 | -1.227 | 0.231 |
| Diptera       | ln(y)           | 0.347               | 3, 26 | 2.140  | 0.042 |
| Ephemeroptera | sqrt(y)         | 0.032               | 3, 26 | -1.380 | 0.179 |
| Plecoptera    | ln(y+1)         | 0.346               | 3, 26 | -0.722 | 0.477 |
| Trichoptera   | ln(y+1)         | -0.040              | 3, 26 | 0.427  | 0.673 |



**Ffigwr 4.8: Mäs cymedrig ysglyfaeth pysgod yn is dan lif isel**

Mäs cymedrig (± cyfeiliornad safonol) infertebratau o samplau Hess (0.07 m<sup>2</sup>) mewn parth rheoli (llif llawn; smotiau golau a llinell doredig) a pharth arbrofol lle bu lleihad o 28 % i arllwysiad yr afon (smotiau tywyll a llinell lawn). Cynrychiola 'Cyfanswm' werthoedd cymedrig data cyfunol Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera a Trichoptera.

**Tabl 4.4: Modelau llinol cyffredinol yn mynegi lleihad maint corff ysglyfaeth infertebrataidd**

Canlyniadau dadansoddiad modelau llinol cyffredinol ar ddwyseddau macroinfertebratau; profir am wahaniaeth rhwng parth rheoli (llif llawn) ac arbrofol (llif isel) yn Afon Aled wrth reoli am amrywiaeth dwyseddau dros gyfnod yr arbrawf (pum sampl Hess 0.07 m<sup>2</sup> ar Ddiwrnod 4, 22, 47 yr astudiaeth). Cyflwynir y modd trawsffurfiwyd y data màs ( $y$ , dim trawsffurfiad = "-"); gwerthoedd R<sup>2</sup> addasiedig (R<sup>2</sup>add.), graddau rhyddid (grh), ystedgyn prawf t a gwerthoedd p fesul tacs. Cynrychiola "Cyfanswm" ddadansoddiad y gymuned infertebrataidd fel cyfanswm larfau'r Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera a Trichoptera.

| Tacs          | Trawsffurfiad $y$ | R <sup>2</sup> add. | grh     | t      | p      |
|---------------|-------------------|---------------------|---------|--------|--------|
| Cyfanswm      | ln( $y$ )         | 0.021               | 3, 7453 | -8.665 | <0.001 |
| Coleoptera    | -                 | -0.006              | 3, 332  | 1.955  | 0.051  |
| Diptera       | ln( $y$ )         | 0.085               | 3, 1370 | 1.630  | 0.103  |
| Ephemeroptera | ln( $y$ )         | 0.011               | 3, 3437 | -5.847 | <0.001 |
| Plecoptera    | ln( $y$ )         | 0.021               | 3, 1545 | -4.267 | <0.001 |
| Trichoptera   | ln( $y$ )         | 0.014               | 3, 753  | 2.404  | 0.016  |

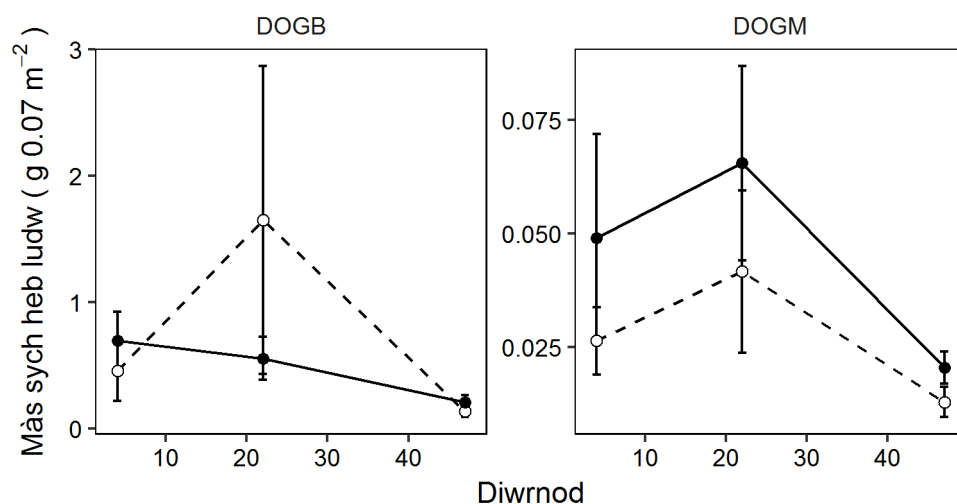
**Tabl 4.5: Crynodeb o ddwyseddau, cymedrau màs a biomas byw adnodd ysglyfaethol pysgodfa Afon Aled**

Cymhariaeth o ansawdd adnodd maethol pysgodfa afon Gymreig rhwng parth â llif llawn ('Rheoli' yn y tabl) a llif isel ('Isel') yn Afon Aled. Cyflwynir cyfanswm yr infertebratau a gasglwyd (n), dwyseddau cymedrig infertebratau (n fesul 5 sampl Hess 0.07 m<sup>2</sup>, tri achlysur samplu), màs cymedrig yr anifeiliad ( $\pm$  cyfeiliornad safonol) a biomas byw (cymedr pum sampl Hess 0.07 m<sup>2</sup>, tri achlysur samplu). Casglwyd y samplau ar Ddiwrnod 4, 22 a 47. Amcanir biomas yr Oligochaeta yn unig er budd dehongliad (gweler prif destun yr adran hon am fanylion). Ni chynhwysir yr Oligochaeta yng ngwerthoedd "Cyfanswm" y benthos.

| Llif  | n    | n 0.07 m <sup>2</sup> | Màs (mg)               | Biomass (mg 0.07 m <sup>2</sup> ) |
|---|------|-----------------------|------------------------|-----------------------------------|
| <b>Cyfanswm</b> (Larfau'r Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera a Trichoptera) |      |                       |                        |                                   |
| Rheoli  | 3559 | 237.3                 | 0.3401 ( $\pm$ 0.0170) | 80.6935                           |
| Isel  | 3989 | 266.0                 | 0.2862 ( $\pm$ 0.0205) | 76.0843                           |
| <b>Larfa Coleoptera</b>   |      |                       |                        |                                   |
| Rheoli  | 190  | 12.7                  | 0.2191 ( $\pm$ 0.0289) | 2.7748                            |
| Isel  | 147  | 9.8                   | 0.3603 ( $\pm$ 0.0882) | 3.5454                            |
| <b>Larfa Diptera</b>  |      |                       |                        |                                   |
| Rheoli  | 284  | 18.9                  | 0.1703 ( $\pm$ 0.0165) | 3.2422                            |
| Isel  | 1107 | 73.8                  | 0.1414 ( $\pm$ 0.0055) | 10.4300                           |
| <b>Ephemeroptera</b>  |      |                       |                        |                                   |
| Rheoli  | 1945 | 129.7                 | 0.3748 ( $\pm$ 0.0108) | 48.5876                           |
| Isel  | 1544 | 102.9                 | 0.3142 ( $\pm$ 0.0099) | 32.3523                           |
| <b>Plecoptera</b>   |      |                       |                        |                                   |
| Rheoli  | 773  | 51.5                  | 0.3476 ( $\pm$ 0.0184) | 17.9137                           |
| Isel  | 792  | 52.8                  | 0.3164 ( $\pm$ 0.0209) | 16.6778                           |
| <b>Trichoptera</b>  |      |                       |                        |                                   |
| Rheoli  | 367  | 24.5                  | 0.3368 ( $\pm$ 0.1479) | 8.2206                            |
| Isel  | 399  | 26.6                  | 0.4913 ( $\pm$ 0.1924) | 13.1020                           |
| <b>Oligochaeta</b>  |      |                       |                        |                                   |
| Rheoli  | -    | -                     | -                      | 3952.2660                         |
| Isel  | -    | -                     | -                      | 4872.2840                         |

#### 4.4.4. Deunydd organig

Roedd cyfanswm màs sych heb ludw deunydd organig gronynnol bras y parth rheoli ac arbrofol yn debyg ( $R^2_{\text{add.}} = 0.002$ ,  $t_{2, 24} = -0.916$ ,  $p = 0.369$ ). Cofnodwyd yr un patrwm ar gyfer y deunydd organig gronynnol mân, ond hynny ag amrywiant uwch ( $R^2_{\text{add.}} = -0.087$ ,  $t_{2, 23} = 1.493$ ,  $p = 0.149$ ; Ffigur 4.9).



**Ffigur 4.9: Amrywiant rhyng-sampl uchel deunydd organig**

Màs sych heb ludw ( $\pm$  cyfeiriornad safonol) deunydd organig gronynnol bras (DOGB) a mân (DOGM) o samplau Hess (0.07 m<sup>2</sup>) mewn parth rheoli (llif llawn; smotiau golau a llinell doredig) a pharth arbrofol lle bu lleihad o 28 % i arllwysiad yr afon (smotiau tywyll a llinell llawn).

#### 4.5. Trafodaeth

Prif ganlyniad yr astudiaeth hon yw bod arllwysiad is yn gysylltiedig â stoc egni (biomas) ymborthol is, all fod wedi cyfrannu at y dwyseddau is o eogiaid a brithyllod ifanc a nodwyd, hynny, yn hytrach na dylanwadu ar eu cyfraddau twf. Enghreifftir y canlyniad hwn gan *S. salar* a *S. trutta* blwyddyn gyntaf (0+) a oedd 59 % a 53 % yn llai niferus yn y parth llif isel o'i gymharu â'r parth rheoli, yn ôl trefn. Mae'r patrwm hwn yn dilyn y rhagdybiaeth y byddai dwyseddau rhywogaethau *Salmo* yn is (Damcaniaeth 1), ac y byddai cyfraddau twf eogiaid a brithyllod yn sefydlog (Damcaniaeth 2) o dan amodau llif isel, o'u cymharu ag amodau gwaelod-lif. Ymddengys bod dwyseddau is pariaid y pysgod hyn wedi galluogi cynhaliant cyfraddau twf arferol o dan gyflyrau llif isel. Cynigir fod dwyseddau poblogaethau *Salmo* is yn ymatebiad i leihad yn adnodd egni ymborthol yr afon yn ystod cyflyrau llif isel. Dangoswyd fod màs cymedrig macroinfertebratau yn ffwythiant o arllwysiad afon (cefnogaeth i Ddamcaniaeth 3), ond bod maint a chyfeiriad ymatebion yn dacson-

ddibynnol. Yn groes i ragdybiaeth Damcaniaeth 3, ni welwyd effaith llif isel ar ddwyseddau infertebratau.

Fel ymateb i lif isel, ymddengys fod pariaid rhywogaethau *Salmo* yn aros o fewn estyniad afon neu nant (Armstrong *et al.* 1998; Berland *et al.* 2004; Pennod 3), a bod unrhyw ymddygiadau ffoi yn cael eu cyfyngu i raddfa microgynefinol (pysgodyn yn symud i bwll dŵr o fewn ffiniau ei barth (Greenberg 1992; 1994; Armstrong *et al.* 1998; Huntigford *et al.* 1999; Dare *et al.* 2002)). Ar y cyfan, ategir yr arsylwadau ymddygiadol hyn gan Riley *et al.* (2009) mewn arbrawf lleihau llif 21 diwrnod mewn nant iseldirol. Yn astudiaeth Riley *et al.*, gwelwyd hefyd nad oedd wir allfudedd pysgod i lawr nant o ardal llif isel, ond fod cynnydd yng nghyfradd marwolaethau eog, brithyll a phenllwyd (*Thymallus thymallus* L.) Carfan 0+. Ystyrir poblogaeth o frithyllod i fod yn fodel ecolegol enghreifftiol o reolaeth prosesau ar lefel anifeiliaid unigol (dwysedd ac amddiffyniad micro-gynefinoedd) ar nodweddion poblogaethau (Kalleberg 1958; Koehl 1989). Ynghlwm â'r wybodaeth sydd eisoes ar gael, dehonglir cydberthynas llif isel a dwysedd salmonid isel yr astudiaeth hon fel amlygiad o reolaeth dwysedd-ddibynnol y pysgod tiriogaethol hyn. Awgryma hyn bod cyfanswm egni ymborthol yn ffactor gyfyngol. Gan fod diffyg tystiolaeth gyffredinol o fudo gwirfoddol pariaid *Salmo* i lif isel, tybir mai colled y pysgod lleiaf cystadleuol drwy noflithriad anwirfoddol neu farwolaeth sy'n gyfrifol am reoli poblogaethau.

Addasa bysgod salmonid eu diet yn ôl yr ysglyfaeth sydd ar gael (Jonsson a Jonsson 2011). Rheolir argaeledd ysglyfaeth i bysgodyn felly gan, ymysg ffactorau eraill, ei dwysedd (Allan 1981; Rincón a Lobón-Cerviá 1999). Dwyseddau arferol o infertebratau bychain a welwyd o dan amodau llif isel yr arbrawf hwn. Fel cymuned gyfan, roedd màs cymedrig infertebratau'r benthos yn is mewn llif isel. Ymddangosodd hynny yng nghyfanswm biomas is cymuned infertebrataidd y parth arbrofol. Roedd yr un patrwm yn amlwg am larfau'r cylion Mai a phryfed y cerrig. Cafwyd awgrym ystadegol o gynnydd i fâs cymedrig larfau pryfed pric dan gyflyrau llif is, ond tybir bod dylanwad samplu sylweddol ar y canlyniad hwn. Ni welwyd dylanwad llif is ar larfau'r pryfed na'r chwilod. Ni chafwyd chwaith dystiolaeth o effaith llif ar gyfradd cronni deunydd organig (mân na bras). Awgryma hyn bod sail egni organig marw'r gymuned infertebrataidd heb ei effeithio.

Diffinnir y cyfernod ecotroffig fel y gyfran o gynhyrchiant infertebrataidd benthig a ymbortha'r gymuned bysgod gyfan (Ricker 1946). Yn fras, disgwylir i'r cyfernod hwn amrywio rhwng 0.3 a 0.5 mewn nentydd brithyll (Waters 1988). Gellir esbonio'r fath gyfernodau ecotroffig isel, yn rhannol o leiaf, gan argaeledd troffig macroinfertebratau

(Ivlev 1966). Ar y cyfan, caiff argaeledd troffig macroinfertebrat fel ysglyfaeth i salmonid ei ddiffinio yn ôl y tueddiad i noflithro'n y golofn ddŵr. Mewn cyhoeddiad enghreifftiol, dosbarthodd Rader (1997) infertebratau dyfrol i dri dosbarth hierarchaidd (1 = pwysicaf, 3 = lleiaf pwysig), yn ôl eu hygyrchedd (pwysigrwydd) fel ymborth i salmonidau. Gwnaeth hynny ar sail (1) tuedd i noflithro'n fwriadol, (2) tuedd i noflithro'n anfwriadol, (3) pellter noflithriad, (4) ymddygiad oedolion (e.e. a oeddent yn alldod drwy nofio i arwyneb y dŵr yntau ymlusgo i ardal dorlannol?), (5) amlygedd benthig, (6) maint corff, a (7) nifer. O drefnu'r tacsau y disgrifia Rader (1997) i urdd, ac ystyried y ddwy gydran o'r benthos oedd a màs cymedrig is yn y parth llif isel, gwelir mai'r Ephemeroptera oedd y ffynhonnell droffig bwysicaf a effeithiwyd arni (yn cynnwys Dosbarthiadau 1, 2 a 3), gyda'r Plecoptera yn ail (Dosbarthiadau 2 a 3). Yn ôl yr un system ddosbarthu, o'r ddwy urdd na effeithwyd arnynt gan y driniaeth, roedd y Diptera (Dosbarthiadau 1, 2 a 3) yn bwysicach (fwy hygyrch fel ysglyfaeth) na'r Coleoptera (Dosbarth 3). Nodwyd awgrym o gynnydd i faint corff cymedrig y Trichoptera o dan lif is. Pwysigrwydd 'canolig' fyddai gan y gydran hon o'r stoc ysglyfaethol (Dosbarthiadau 2 a 3). Yn ategol i bwysigrwydd yr Ephemeroptera fel aelod o gymuned ysglyfaethol y golofn ddŵr i salmonidau ffrydiau dyfrol, tynnir sylw hefyd at y ffaith i larfau'r urdd hon gynrychioli 46 % o holl anifeiliad y pum prif tacson infertebrataidd a ystyriwyd. Ymddengys, felly, i ddylanwad llif isel ddylanwadu cydran o'r adnodd maethol sy'n bwysig ar ran cyfanswm egni (niferoedd) a hygyrchedd (Dosbarthiadau Rader (1997)) i salmonidau sy'n hela mewn dyfroedd llifeiriol.

Mae'n anffodus nad oedd modd casglu data manylach o boblogaeth mwydod yr Oligochaeta (sbesimenau toredig). Dangosa amcan bras iawn i fiomas yr urdd hon fod yn sylweddol fwy na biomas cyfunol y Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera a Trichoptera. Roedd yr amcan hwn yn rhoi biomas uwch o'r Oligochaeta yn y parth arbrofol na'r parth rheoli. Noder fodd bynnag, nad yw'r anifeiliaid hyn yn cael eu hystyried i fod â hygyrchedd uchel i salmonidau sy'n hela yn y golofn ddŵr (Dosbarth 3 (Rader 1997)). Ystyriwch yn debygol i'r adnodd maethol (sylweddol) posib hwn â gytrefa gwarchodaeth y swbstrad, i fod, i ran helaeth, y tu hwnt i afael brithyll ac eog Bryn Aled. Rhwng popeth, er i ddwyseddau infertebratau aros yn gyson, ymddengys bod llif is yn gysylltiedig â lleihad yng nghyfanswm stôr egni ymborthol salmonidau (biomas macroinfertebratau) drwy leihau maint (màs corff) cymedrig eu hysglyfaeth. Roedd y lleihad hwn yn amlwg ar gyfer urddau infertebrataidd o bwysigrwydd troffig uchel a chanolig; nid felly ar gyfer urddau â phwysigrwydd isel.

Yn ymochrol i asesu ymatebion salmonid, dangosa'r astudiaeth hon fod dwysedd, cyfradd twf a chynhyrchiant penlletwad, fel un garfan oed cymysg o leiaf, yn gymharol

sefydlog yn wyneb llif isel. Mewn astudiaeth 34 mlynedd, dangosa Elliott (2006) fod llifoedd isel eithafol yn ystod sychderau hinsoddol yn cyd-fynd â chynnydd yn nwyseddau penlletwad. Hynny, ar draul dwyseddau brithyll. Ym Mryn Aled, effeithiodd y lleihad llif fâs cymedrig ysglyfaeth macroinfertebrataidd y brithyll a'r penlletwad. Yn gyffredinol, mae penlletwad yn hela infertebratau benthig (Mills a Mann 1983), tra bod salmonidau yn porthi ar infertebratau sy'n noflithro (er y byddant yn cymryd infertebratau benthig hefyd; Elliott 1994; Gustafsson *et al.* 2010). Esboniad posibl am ymwrthedd y penlletwad yw bod lleihad i stoc (biomas) ysglyfaeth y golofn ddŵr heb ddylanwadu ar eu heffeithlonrwydd ymborthol yn groes i'r salmonidau, ac, o bosib, fod cyflymder llif is wedi hwyluso hela benthig.

Sicrha'r astudiaeth hon ran o'r ateb i'r galw am astudiaethau empeiraidd i ddarganfod effaith llifoedd isel ar gymunedau macroinfertebrataidd (Dewson *et al.* 2007) a salmonidau lotig (Piccolo *et al.* 2014). Dylid cydnabod dau brif gyfyngiad yr astudiaeth. (1) Mae cynnal arbrawf o'r raddfa hon yn gostus, ac adlewyrchir hynny yn y ffaith mai astudiaeth achos un safle yw hi. Yn ail (2), rhaid cymryd yn ganiataol bod parth arbrofol a pharth rheoli'r astudiaeth yn gynefinol-gymharol gan nad oes data rheoli cyn y driniaeth ar gael. Mae hon yn broblem barhaus i fiolegwyr lotig (Hurlbert 1984; Konrad *et al.* 2011). Yn ogystal, tynnir sylw unwaith eto at y ffaith nad oedd y gwahaniaethau i ddwyseddau brithyllod ac eogiaid parthau rheoli ac arbrofol yr astudiaeth yn ystadegol arwyddocaol. O ystyried patrwm clir y data (Ffigwr 4.3), posib mai ffwythiant diffyg pŵer ystadegol yw diffyg arwyddocâd canlyniad y dadansoddiad. Er cydnabod ei chyfyngiadau, credir fod arbrawf ar raddfa'r astudiaeth hon (pwmpwyd ~ 400 miliwn litr o ddŵr dros gyfnod yr arbrawf) yn gyfraniad teilwng sy'n darparu data hanfodol a ellir ei ddefnyddio yn y dyfodol mewn model cyflawn o effeithiau llifoedd isel ar boblogaethau salmonid.

#### **4.6. Casgliad**

Gwelwyd trwy'r astudiaeth hon fod cynhwysedd bioegniol afon yn ffwythiant o'r llif, a bod y cynhwysedd hwn yn ymddangos i reoli poblogaethau *Salmo* spp. yn ôl mecanwaith dwysedd-ddibynnol. Rhagfynega modelau o hinsawdd y dyfodol lifoedd is ledled llawer o diriogaethau cynhenid y brithyll brown ac eog yr Iwerydd (Bates *et al.* 2008). Darpara'r astudiaeth hon ddata empeiraidd ar gyfer galluogi darogan effaith y fath newidiadau i'r cylchred hydrolegol ar gyfnod pâr pysgod *Salmo* spp.; cyfnod allweddol yng nghylchred bywyd y pysgod. Trwy newid bioegniedd afonol, gall llifoedd isel o ganlyniad i brosesau hinsoddol ddylanwadu ar ffitrwydd poblogaethau eog a brithyll.



## **5. Pennod 5: Ymwrthedd gweithred ecosystem nantyddol ucheldirol mewn sychder eithafol: Arbrawf mewn mesocosmau rhaeadrol unigryw.**

### **5.1. Crynodeb**

Disgwylir i newid hinsawdd achosi i nifer o ranbarthau'r Ddaear fod yn sychach yn y degawdau nesaf. Yn ddiweddar, dangoswyd effeithiau sychder di-dymor ar brosesau allweddol mewn ecosystem ddyfrol iseldirol (Ledger *et al.* 2011; Ledger *et al.* 2013a; Lu *et al.* 2016), ond ceir diffyg dealltwriaeth arbrofol o (1) ddylanwad sychderau un tymor ar (2) ymwrthedd a (3) gwydnwch cymunedau ucheldirol. Yn y bennod hon, efelychir sychder eithafol mewn mesocosmau rhaeadrol unigryw, y credir eu bod y cyntaf o'u math, lle bu ad-drefniant cynnil i gymunedau macroinfertebrataidd ucheldirol, ac adferiad cyflym. Gwelwyd parhad gweithred ecosystemaidd craidd (stoc biomas) yn ystod y sychder er allfudiad nifer sylweddol o infertebratau wrth iddynt noflithro ar ddechrau'r sychder. Yn groes i'r hyn a welwyd yng nghymunedau'r iseldir, nid oedd amnewidiad anifeiliaid mawr am rai bach; awgryma hyn wydnwch uwch ecosystemau ucheldirol i sychderau. Darpara'r gwaith hwn ran o'r dystiolaeth arbrofol cyntaf o ymateb strwythurol, ac ymwrthedd gweithredol, ecosystemau dyfrol yr ucheldiroedd i'r newidiadau hinsoddol disgwylidig.

### **5.2. Cyflwyniad**

Yn gyffredinol, rhagfynegir y bydd hinsawdd y Ddaear yn gynhesach a chynyddol-anwadal, gydag amllder a gerwinder eithafion megis llifogydd, sychderau a phoethdonnau yn cynyddu (IPCC 2012; Burkett *et al.* 2014). Gall dylanwad y fath eithafion fod yn enbyd (Ledger a Milner 2015). Yn gynyddol, mae'r dystiolaeth yn awgrymu mai digwyddiadau eithafol, yn hytrach na thueddiadau cyffredinol, all fod yn gyfrifol am achosi'r newid ecolegol mwyaf (gweler Jentsch *et al.* 2007; Thompson *et al.* 2013). Credir bod afonydd ymysg yr ecosystemau mwyaf sensitif i ddylanwad y fath newidiadau hinsoddol (Durance a Ormerod 2007; Ormerod 2009).

Ceir pum math cydnabyddedig o sychder: meteorolegol, hydrolegol, amaethyddol, economaidd-gymdeithasol ac ecolegol (Lake 2011). Dim ond yn ddiweddar y adnabuwyd sychder ecolegol, gan esbonio, o bosib, natur amwys diffiniad yr aflonyddiad hwn: 'diffyg dŵr sy'n achosi straen i ecosystemau, gan gael effaith negyddol ar fywyd planhigion neu anifeiliaid' (Tallaksen a Van Lanen 2004). Gall sychderau daro dros un tymor (h.y. cyfnod byr o fewn blwyddyn) neu dros nifer o

dymhorau (h.y. dros nifer o flynyddoedd; Lake 2003), gan ddylanwadu ar fiota dyfrol yn uniongyrchol ac yn anuniongyrchol. Ymysg yr effeithiau uniongyrchol gellir rhestru colled dŵr, cynefin ac ymgysylltedd nantyddol. Yn anuniongyrchol, gellir disgwyl dirywiad yn ansawdd y dŵr, newid i gynhaliaeth adnoddau bwyd, a newid i ddynnameg rhyngweithiadau rhyngrywogaethol (Boulton 2003; Lake 2003).

Yn ffwythiant o'u geomorffoleg, mae nentydd serth, egniol yr ucheldiroedd, eu swbstrad symudol a'u tymheredd amrywiol yn cyflwyno amgylchedd ffisegol heriol i'r organebau sy'n eu cytrefu. Canlyniad y gofynion cynefinol eithafol hyn yw ecosystem unigryw wedi ei ffurfio o dacsonau arbenigol, gyda strwythur a gweithred tra-wahanol i nentydd araf a chynnes yr iseldiroedd (WTT 2017). Mae'r swyddogaethau ecosystemaidd sylweddol a ddarperir gan yr ecosystemau dyfrol ucheldirol hyn yn cynrychioli cyfalaf naturiol pwysig, ac yn pwysleisio'r angen am wybodaeth drylwyr ar effaith y newidiadau hinsoddol disgwylidig ar allu'r systemau i ddarparu gwasanaethau angenrheidiol yn y dyfodol (gweler Raffaelli a White (2013) am adolygiad). Yr anhawster canolog wrth geisio crynhoi gwybodaeth ar effaith digwyddiadau eithriadol megis sychderau eithafol yw eu natur stocastig. Dyma her ymarferol sylweddol sy'n golygu bod ein dealltwriaeth gyfredol yn tueddu i fod wedi ei seilio ar ymchwilydd yn manteisio ar ddigwyddiadau hinsoddol naturiol (e.e. Cowx *et al.* 1984; Ledger a Hildrew 2001), ac, felly, yn etifeddu'r anawsterau sy'n annatod ag astudiaethau maes traddodiadol, gan gynnwys: amrywiant gofodol ac amserol dryslyd, diffyg rheolyddion cadarn a diffyg data cyn-ddylanwad (Boulton 2003). O gymharu ag elfen stocastig arall yr hydrograff - llifogydd - tynn Piniewski a'i gydweithwyr (2017) sylw at ddiffyg gwybodaeth am ddylanwad sychderau ar gymunedau infertebrataidd Ewrop.

Yn fwy diweddar, cafodd gwybodaeth hanfodol am ymateb strwythurol cymunedau infertebrataidd iseldirol i sychder, a dylanwad hynny ar weithred ecosystemaidd, ei chasglu o arbrawf rheoledig cywrain gan ddefnyddio mesocosmau ailadroddol (Ledger *et al.* 2011; 2013a). Un casgliad cyffredinol gan Ledger a'i gydweithwyr oedd bod aflonyddiad megis sychder yn buddio rhai anifeiliaid ac iddynt gyrff bach ac sy'n atgennedlu'n gyflym (strategyddion  $r$ ), o'i gymharu ag anifeiliaid mwy, sy'n atgennedlu'n arafach (strategyddion  $K$ ) (gweler Pianka (1970) am ehangiad o gysyniad detholiad  $r$  a  $K$ ). Galluoga mesocosmau i'r ymchwilydd gynnal astudiaethau â dyluniadau arbrofol cadarn, tra'n cynnal cymhlethdodau a chydberthnasau ecosystem gynrychiadol (Stewart *et al.* 2013). Mae cynnal y fath arbrawf mewn ecosystem ucheldirol yn cyflwyno her newydd, sef yr angen i ail-greu llif rhaeadrol, egniol nant serth. Yn yr astudiaeth gyfredol, defnyddir yr hyn a greidir i fod yn

fesocosmau rhaeadrol unigryw; cyfleuster arbrofol arloesol yn Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne, canolbarth Cymru, DU i grynhoi data manwl ar ddylanwad sychder eithafol ar gymuned macroinfertebrataidd ucheldirol tra gwybyddus (gweler Durance a Ormerod (2007) am nodweddion y gymuned). Am y tro cyntaf mewn ecosystem nantyddol ucheldirol, defnyddir data arbrofol i ddangos gallu cymuned macroinfertebrataidd i adfer wedi sychder, yn ogystal ag ymwrthedd gweithred ecosystemaidd (stoc biomas infertebrataidd) y gymuned honno. Trwy gymhariaeth â mesocosmau â llif llawn (rheolyddion), eir ati i brofi'r damcaniaethau canlynol am ddylanwad sychder eithafol: (1) bydd allforiad uchel o infertebratau yn ffoi'r aflonyddiad drwy noflithro; (2) bydd newid i gyfansoddiad y gymuned infertebrataidd; (3) bydd dwysedd infertebrataidd yn is; (4) bydd amnewidiad anifeiliaid mawr am rai llai (yn gyffredinol); a (5) bydd stoc biomas y benthos yn llai.

### **5.3. Methodoleg**

#### **5.3.1. Safle'r astudiaeth**

Cynhaliwyd yr arbrawf dros 22 wythnos rhwng mis Mehefin a mis Rhagfyr 2015 mewn mesocosmau nantyddol rhaeadrol yn Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne, canolbarth Cymru, DU (Lledred: 52.135806; Hydred: -3.7473021; Ffigwr 5.1; Durance a Ormerod, 2007). Yn gyffredinol, ceir hinsawdd arforol dymherus yno; adroddir bod tymheredd cymedrig dyddiol nentydd rhwng 0 - 16 °C, dyddodiad cymedrig blynyddol ~ 1900 mm a phelydriad heulog cymedrig o 7.85 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Weatherly ac Ormerod 1990).

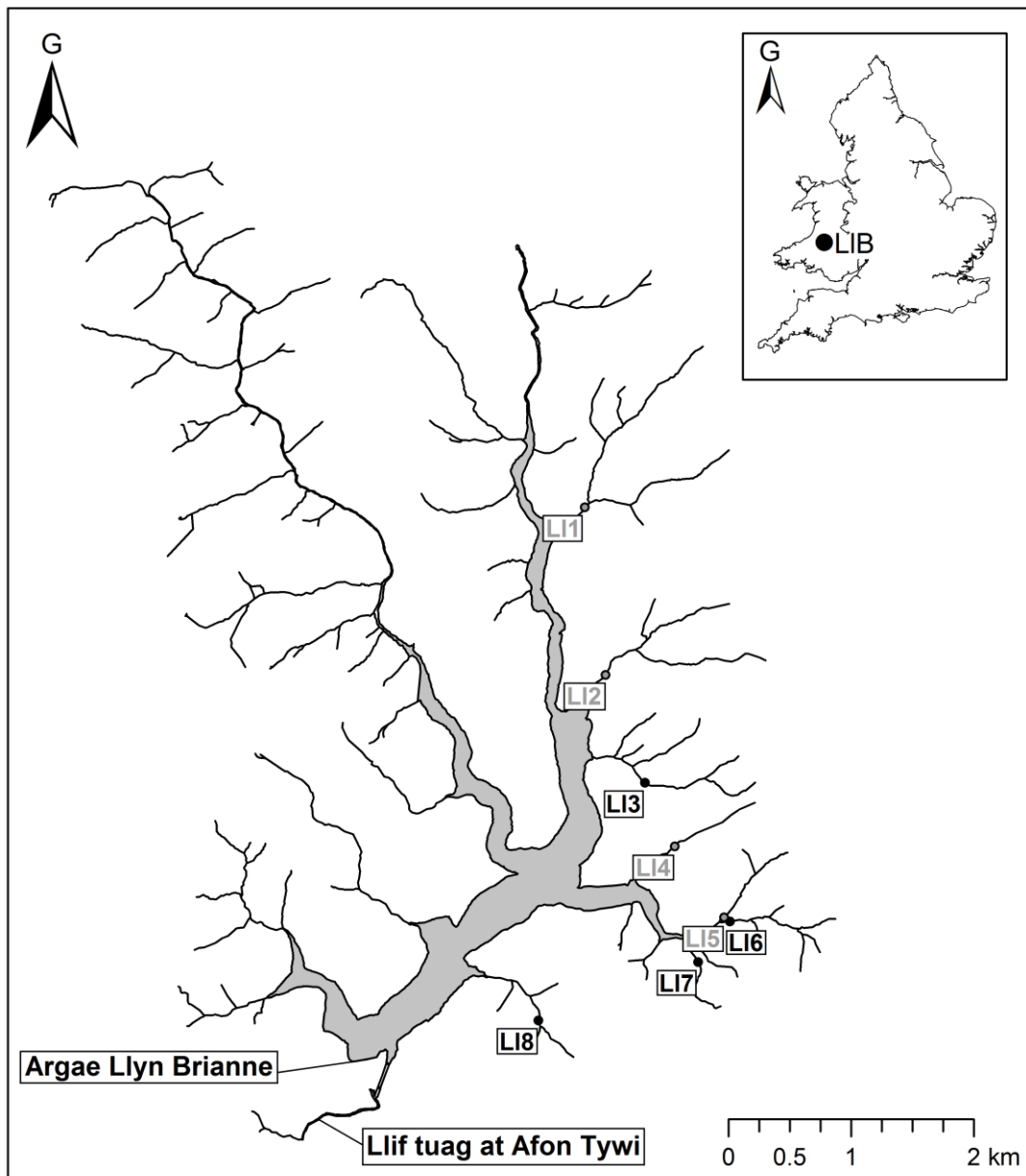
Roedd y pedwar bloc o dri mesocosm wedi eu lleoli yn gyfagos i'w nentydd ucheldirol perthnasol. Lleolwyd dau bloc (Hanwell a Sidaway) ger nentydd LI3 a LI8 (Ffigwr 5.1) sy'n episodaidd-asidig (pH cymedrig 4.8 - 5.2), ac yn llifo o ddalgylchoedd a nodweddir gan goedwigoedd conwydd byrwydden Sitca (*Picea sitchensis* Carr.) a phinwydden gamfrig (*Pinus contorta* Doug.). Mae creigiau bas-ddiffygiol Ordofigaidd a Silwraidd yn cyfuno â phridd podsolig a mawn yn yr ardal i gynhyrchu dŵr ffo meddal (caledwch cymedrig 3.9 - 7.9 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>; Ormerod a Durance 2009) sy'n ymatebol i ddylanwad dyddodiad asid. Lleolwyd y ddau bloc arall (Carpenter a Davies) ger nentydd LI6 a LI7 (Ffigwr 5.1) sydd wedi eu byffro gan wythien galsit (15 - 19 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>; am niwtral, pH > 6.9) ac yn llifo drwy rostir pori garw. Ceir disgrifiadau manwl o'r safleoedd hyn gan Weatherly ac Ormerod (1987).

Darpara pob nant ddŵr heb ei hidlo (hynny yw, dŵr sy'n cynnwys gronynnau rhydd naturiol megis gronynnau deunydd organig) drwy biben blastig i gronfeydd ar ben bob

bloc; y dŵr hwn fydd wedyn yn cyflenwi'r mesocosmau perthnasol. Roedd pob bloc o fesocosmau wedi eu ffurfio o dri chafn dur gwrthstaen syth (lled: 0.2 m, hyd: 20 m, dyfnder: 0.2 m) oedd â gris (rhaeadr) pob metr. Defnyddiwyd dau fesocosm o bob bloc yn yr astudiaeth hon, y trydydd mesocosm yn gweithredu fel yswiriant ystadegol ar gyfer astudiaeth arall (Pennod 6). Rheolwyd llif drwy'r mesocosmau â falfiau wedi eu lleoli ar ben caeedig bob cafn. Lliffai'r dŵr yn rhydd o'r mesocosmau, dan ddylanwad disgrychiant, i danc samplu ar waelod pob mesocosm, ac o'r tanc samplu yn ôl i'r nant berthnasol mewn piben blastig. Llenwyd gwaelod cafnau dur y mesocosmau â graean o oedd yn nodweddiadol o ddalgylch Llyn Brienne wedi ei drefnu mewn modd 'pwll-crychdon'. Casglwyd y graean o ddalgylch gerllaw, ac fe'i hychwanegwyd i'r mesocosmau pan e'u hadeiladwyd. Cafodd y graean ei ychwanegu fel swbstrad 'glân'; hynny yw, swbstrad heb ei gytrefu gan organebau dyfrol. Ar raddfa oedd yn cael ei chyfyngu gan faint y mesocosmau, roedd y ffurf pwll-crychdon yn ceisio adlewyrchu gwedd y nentydd naturiol cyfagos. Roedd brithyllod yn bresennol yn y cafnau (dwyseddau hafal ar ddechrau'r astudiaeth; Pennod 6); rhoddwyd rhwyd ysgafn (maint rhwyll: 10 mm) dros y mesocosmau i atal adar rhag amharu'r pysgod.

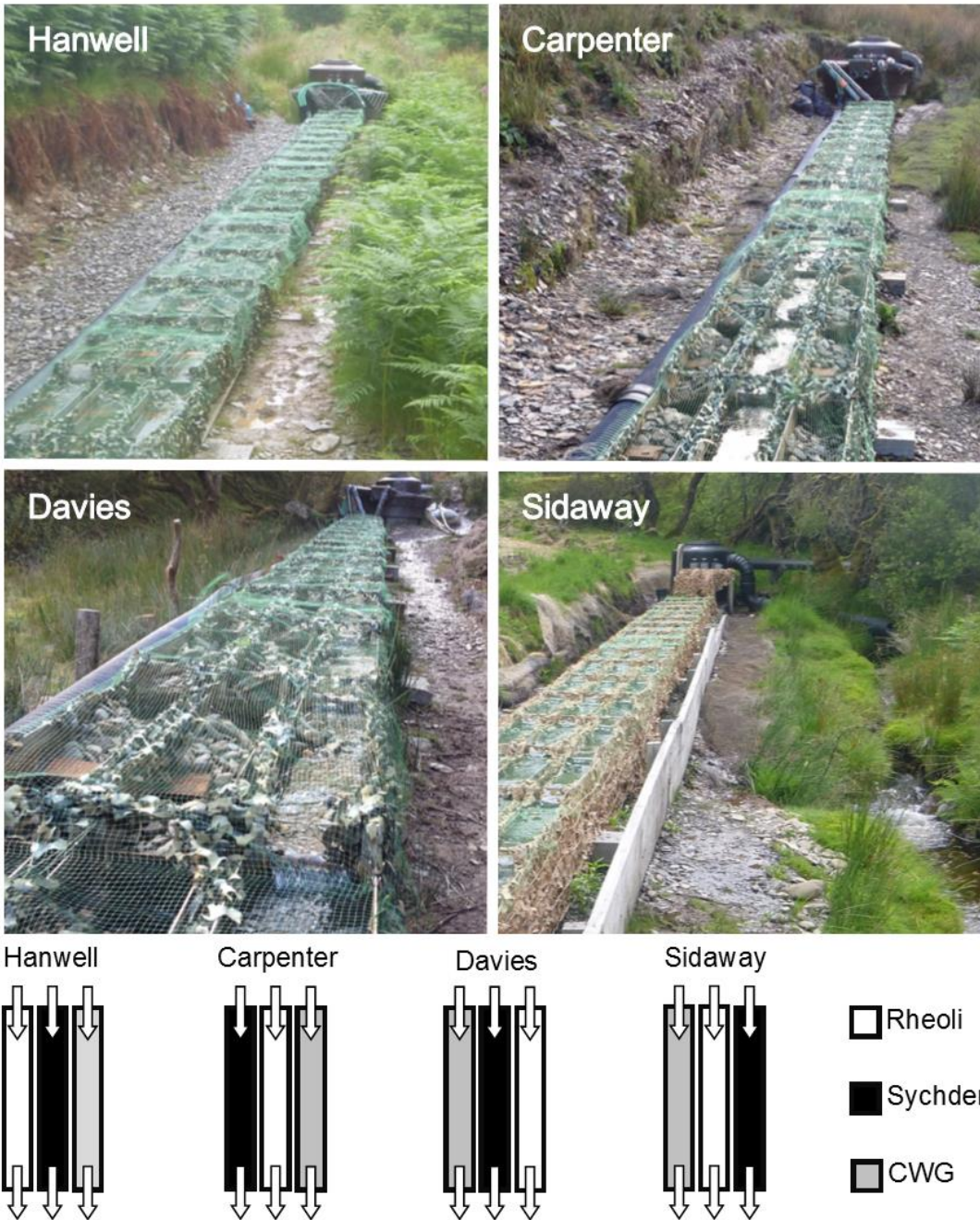
### **5.3.2. Dyluniad arbrofol**

Defnyddiwyd dyluniad arbrofol bloc lle'r oedd pob un o'r pedwar bloc o fesocosmau yn cynnwys un mesocosm arbrofol (sychder) ac un mesocosm rheoli (llif llawn a ystyrir yn gymharol i lif gwaelodol naturiol nentydd ucheldirol; 4 bloc x 2 cafn = cyfanswm o 8 cafn; Ffigwr 5.2). Cafodd dŵr nant heb ei hidlo redeg yn rhydd trwy bob mesocosm er mwyn sefydlogiad a chynhaliachd naturiol cymunedau biotig am o leiaf 6 mis cyn dechrau'r driniaeth. Ym mis Gorffennaf 2015 dechreuwyd y driniaeth drwy leihau arllwysiad y dŵr trwy'r cafnau arbrofol yn raddol dros 10 diwrnod trwy gau'r falf ar ben mesocosm arbrofol pob bloc, nes cyrraedd llif sychder oedd 0.05% o arllwysiad y cafn rheoli perthnasol (arllwysiad cymedrig y cafnau sychder:  $0.23 \pm 0.03 \text{ ml s}^{-1}$ ; Prawf-t;  $t = 290.94$ ,  $p < 2.2e^{-16}$ ; os na noder fel arall, dynoda '±' werth cyfeiliornad safonol yn y bennod hon). Cynhaliwyd y sychder am 75 diwrnod nes adfer y llif yn raddol, eto, dros 10 diwrnod. Cynhaliwyd llif llawn wedi hynny am 52 diwrnod; gan raddol gynyddu arllwysiad pob cafn i efelychu dyodiad tymhorol ym misoedd Tachwedd a Rhagfyr (cymedr arllwysiad cafnau rheoli yn ystod y cyfnod adfer:  $0.59 \pm 0.004 \text{ L s}^{-1}$ ; cafnau sychder:  $0.74 \pm 0.005 \text{ L s}^{-1}$ ). Arolygwyd y mesocosmau'n gyson trwy gydol yr astudiaeth. Bu achosion achlysurol pan rwystrodd brigau a dail y llif dŵr i'r mesocosmau. Adferwyd arllwysiad i'r lefel priodol cyn gynted a chanfuwyd y fath rwystrau.



**Ffigwr 5.1: Lleoliadau mesocosmau arbrofol Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne**

Lleoliad dalgylchoedd nentydd yn ucheldir Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne (LIB). Dynodir “LI3”, “LI6”, “LI7” a “LI8” y pedair nant oedd yn darparu dŵr a gronynnau rhydd i'r pedwar bloc o fesocosmau: Hanwell, Carpenter, Davies a Sidaway; yn ôl trefn. Mae “LI3”, “LI6”, “LI7” a “LI8” yn rhan o gyfres o nentydd sy'n destun astudiaethau hirdymor Arsyllfa Llyn Brianne (dynodir nentydd “LI1” - “LI8” yma). Addaswyd o Windsor *et al.* (wrthi'n paratoi).



**Ffigwr 5.2: Dyluniad arbrofol**

Blochiau arbrofol mesocosmau rhaeadrol Arsyllfa Nentydd Llyn Brienne. Cynhelir llif pob bloc gan ddefnyddio disgyrchiant i arallgyfeirio dŵr a gronynnau rhydd o nant sy'n unigryw i'r bloc hwnnw i gronfa ar ben bob bloc. Rheolir llif i bob mesocosm gan ddefnyddio falfiau. Caiff trefniant triniaethau ymysg y mesocosmau eu cynrychioli gan "Rheoli" ar gyfer llif llawn, "Sychder" ar gyfer 75 diwrnod o lif isel a "CWG" ar gyfer cafn wrth gefn a dderbyniodd yr un driniaeth a'r cafn "Sychder" fel yswiriant ystadegol ar gyfer astudiaeth arall (Pennod 6). Dynodir cyfeiriad llif dŵr gan saethau.

### **5.3.3. Mesur y driniaeth**

#### *5.3.3.1. Arllwysiad*

Cafodd arllwysiad ei fesur bob 15 munud dros gyfnod yr arbrawf gan ddefnyddio cofnodyddion data barometrig (HOBO® U20L-04 Water Level; Onset Computer Corporation, UDA) wedi eu lleoli ar waelod pob cafn, wedi eu gorchuddio â graean ym mhen uchaf pob mesocosm (lle llifa'r dŵr o'r gronfa i'r cafn). Troswyd data barometrig pob cafn i ddyfnder dŵr yn ôl gwasgedd a thymheredd (Barometric Compensation Assistant, HOBOware Pro, fersiwn 3.7.8, Onset Computer Corporation) gan reoli am amrywioldeb gwasgedd atmosfferig o gofnodydd gwasgedd wedi ei leoli ger bloc Hanwell (nant Ll3; 359 m ulm). Llenwyd unrhyw fylchau yn y data â mesuriad dyfnder dŵr o ffon fesur oedd nesaf i bob cofnodydd. Defnyddiwyd y dull cyfeintiol i gynhyrchu cromlin cyfraddiad sy'n disgrifio perthynas dyfnder ac arllwysiad dŵr mewn sianel (Gore 2007); estynnwyd yr atchweliad llinol i werthoedd gyfateb â 2.5 wedi lluosio â'r arllwysiad uchaf a fesurwyd trwy ddefnyddio'r dull cyfeintiol (gan ddilyn Bovee a Milhous 1978). Diystyrwyd gwerthoedd uwch na'r trothwy uchaf hwn. Cofnodwyd gwerthoedd negyddol fel sero. Cyfrifwyd arllwysiad pob cofnod dyfnder gan ddefnyddio hafaliad atchweliad y gromlin cyfraddiad.

#### *5.3.3.2. Tymheredd*

Mesurwyd tymheredd y dŵr uwchben y graean bob 15 munud dros gyfnod yr astudiaeth drwy leoli cofnodyddion tymheredd (HOBO® UA-002-64 Pendant temp/light; HOBO® U20L-04 Water Level; Onset Computer Corporation, UDA) mewn pyllau parhaus ym mhen isaf pob cafn.

#### *5.3.3.3. Ansawdd dŵr*

Cafodd holl fesuriadau ansawdd y golofn ddŵr eu cymryd yn rhan waelod (y pen y llifa'r dŵr i'r tanc samplu) pob mesocosm. Mesurwyd pH, crynodiad ocsigen hydoddedig a dargludedd dŵr yn wythnosol gyda mesuryddion cludadwy (HI-98103/HI-98129; PRIMO5/HI-98129, Hanna Instruments Ltd, Swydd Bedford, DU; PDO-519, Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd, Taipei, Taiwan; yn ôl trefn). Mesurwyd crynodiad Carbonad (KH), Caledwch Cyffredinol (GH), Nitrid (NO<sub>2</sub>) a Nitrad (NO<sub>3</sub>) gyda ffyn profi adweithiol (Test 6 in 1, Tetra, Spectrum Brands, Inc.) a Ffosffad (PO<sub>4</sub>) gydag adweithydd dyfrol (PO<sub>4</sub> Profi Test, Salifert®, Yr Iseldiroedd) ar yr un diwrnod y samplwyd y benthos; hynny cyn y sychder, yn ystod y sychder, ac yn ystod y cyfnod adfer.

#### 5.3.3.4. Cynefin gwlyb

Mesurwyd arwynebedd, dyfnder a chyflymder cynefin dyfrol pob mesocosm yr un diwrnod y casglwyd samplau o'r benthos (manyion amserlen casglu samplau yn Adran 5.3.4). Mesurwyd arwynebedd gwlyb y mesocosmau drwy gymryd ffotograffau o adrannau penodol rhwng dau ris yng ngwaelod (y pen arllwysa'r dŵr o'r mesocosmau), canol, a phen uchaf (y pen arllwysa ddŵr i'r mesocosmau) pob cafn. Defnyddiwyd meddalwedd dadansoddi delweddau (ImageJ, National Institute of Health, UDA) i ddargopio'r arwynebedd gwlyb. Mesurwyd dyfnder y dŵr ym mhob cafn gyda phren mesur o arwynebedd uchaf y graen i arwynebedd y dŵr yn rhan ganol y llif; hynny ym mhen uchaf, canol a gwaelod yr adrannau penodol a ddefnyddiwyd ar gyfer mesur arwynebedd gwlyb. Defnyddiwyd yr un adrannau i fesur cyflymder y llif gyda mesurydd cerrynt electromagnetig (MF Pro; OTT Hydrometry Ltd, Chesterfield, DU).

#### **5.3.4. Mesur dwysedd, maint cyrff a biomas infertebratau, a chasglu deunydd organig**

Casglwyd samplau o'r gymuned macroinfertebrataidd fenthig (Ffigwr 2.2 am enghreifftiau o aelodau'r gymuned) a'r swmp deunydd organig bras a mân (DOGB/M) trwy gymryd tri sampl Hess (165cm<sup>2</sup>; Hess 1941; rhwyd am i lawr ac am i fyny'r llif: rhwyll 500 µm; EFE-UK & GB Nets Ltd. DU) o adrannau wedi eu dethol ar hap o amgylch pen, canol a gwaelod pob bloc. Ni samplwyd un adran ddwywaith tan sampl olaf yr arbrawf, pryd roedd yr adran a samplwyd wedi cael pum mis i adfer ers y sampl flaenorol. Sicrhawyd trefniant samplu tebyg ar gyfer y mesocosm rheoli a sychder o fewn pob bloc, gan amrywio'r trefniant rhwng pob bloc. Casglwyd samplau Hess cyn y driniaeth ar Ddiwrnod -2, yn ystod y driniaeth ar Ddiwrnod 11, 38 a 82, ac wedi'r driniaeth (cyfnod adfer) ar Ddiwrnod 95, 131 a 145. Mesurwyd cyfradd noflithriad macroinfertebrataidd a chludiant DOGM/B drwy osod rhwydi 500 µm dros allbwn dŵr pob mesocosm i hidlo'r golofn ddŵr cyfan am gyfnod o ~ 24 awr; gan gasglu cyfanswm noflithriad un gwawr ac un machlud ym mhob sampl. Casglwyd samplau drifft cyn y driniaeth ar Ddiwrnod 1, yn ystod y driniaeth ar Ddiwrnod 11, 26, 40, 54, 68 a 85, ac wedi'r driniaeth (cyfnod adfer) ar Ddiwrnod 95, 110, 124, 131 a 145.

Storiwyd y samplau yn y maes mewn ethanol (> 70 %). Cafodd yr infertebratau benthig eu hadnabod i'r lefel tacsonomaidd isaf ymarferol (genws gan amlaf, oni bai am larfau oedd heb ddatblygu'n llawn neu fod yn dacsonau cudd; adnabuwyd anifeiliaid tirol i urdd). Er mwyn galluogi cydraniad amserol uwch y samplau drifft o gymharu â'r samplau Hess, adnabuwyd infertebratau'r drifft i lefel teuluol. Mae



amrywiaeth tacsonomaidd nentydd ucheldirol Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne yn gymharol gyfyngedig; golyga hyn bod data lefel teuluol yn darparu cyfran helaeth o'r amrywiaeth y'i ceir o ddata lefel genws (Durance a Ormerod 2007 am nodweddion cymunedol yr Arsyllfa). Ar gyfer pob sbesimen, nodwyd eu cyfnod ontogenig, yntau ddeilliad dyfrol neu dirol oedd ganddynt, a nodwyd hefyd presenoldeb adenydd gweladwy. Defnyddiwyd rhestr o dacsonau cyffredin i'r nentydd i effeithloni'r broses adnabod.

Yn ategol i gofnodi dwysedd infertebrataidd y drifft a'r benthos, mesurwyd cyrff holl facroinfertebratau (n = 3,237) y samplau benthig (Hess) fel dimensiynau llinol (lled capsawl y pen, hyd y corff, hyd cragen neu lled y corff), ac amcangyfrifwyd màs cyrff unigolion gyda hafaliadau atchwel hyd-màs sych ar gyfer tacsas tebyg (Atodiad 4). Cafodd hyd y pen ei fesur ar draws pwynt lleta'r pen. Cafodd hyd corff ei fesur o ben blaen i ben ôl yr anifail, neu o ben blaen capsawl y pen i ben ôl rhan olaf yr abdomen ar gyfer y pryfed (Insecta; yn ôl Meyer 1989), gan anwybyddu atodiadau megis teimlyddion (Sabo *et al.* 2002). Mesurwyd hyd cragen dros y trawslun hiraf, a lled corff ar bwynt lleta'r anifail. Canfuwyd gweddillion nifer o chwilog rhisgl (Scolytinae (Latreille)), y rhan helaeth ohonynt ym mlociau arbrofol Hanwell a Sidaway (dalgylchoedd â choedwigoedd conwydd). Anwybyddwyd y sbesimenau hyn gan fod y mwyafrif ddim yn anifeiliaid cyfan a ellir eu hadnabod / mesur yn fanwl gywir. Diystyrwyd heidiau chwiwiad a gasglwyd yn ddamweiniol o'r aer â'r samplydd Hess, yr Ostracoda (Latreille), chwilerod y Diptera (n = 19), larfau'r Dytiscidae (n = 14) ac unrhyw sbesimenau eraill oedd wedi colli y rhan corff perthnasol ar gyfer eu mesur. Cofnodwyd maint a phresenoldeb pryfed y cerrig (Plecoptera) yn ôl urdd oherwydd bod rhannau'r geg a ddefnyddir i adnabod genera unigol y grŵp hwn o anifeiliaid yn rhy fach i'w hadnabod. Defnyddiwyd microsgop stereo â graticwl pan oedd mesuriadau llinol yn bosib, a microsgop wedi cysylltu i gamera digidol (GXCAM, GTVision, Suffolk, DU) ar gyfer anifeiliaid â siâp llai hwylus. Yn yr achos hwn, defnyddiwyd meddalwedd dadansoddi delweddau (GXCAPTURE, GTVision, Suffolk, DU) i gasglu'r mesuriadau. Yn gyffredinol, mae amcangyfrif biomas o ddimensiynau corff llinol infertebratau yn symlach, ac yn fwy trachywir, na mesuriadau uniongyrchol neu amcangyfrifon cyfaint (Burgherr a Meyer 1997).

### **5.3.5. Dadansoddiad ystadegol**

#### **5.3.5.1. Cyflyrau anfiotig**

Profwyd am wahaniaeth rhwng data ansawdd dŵr (caledwch cyffredinol, carbonad, dargludedd, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub> a pH) y cafnau rheoli a'r cafnau sychder gan gyfuno data

o'r pedwar bloc; hynny, dros gyfnod y sychder yn unig (75 diwrnod). Cynhaliwyd cymariaethau o ddargludedd a pH â dŵr y nentydd â lifa gerllaw'r mesocosmau yn ogystal; hynny, er mwyn ennill dilysiad o gynrychiolaeth y mesocosm rheoli o'r nant naturiol. Cynhaliwyd profion ANOVA neu Mann-Whitney fel roedd yn briodol â meddalwedd R (R Core Team 2016). Profwyd am wahaniaeth ystadegol yn arllwysiad, cyflymder, dyfnder, arwynebedd gwlyb, tymheredd, a chrynodiad ocsigen hydoddedig y dŵr a lifa drwy'r mesocosmau rheoli ac arbrofol fesul bloc. Yn debyg i'r dadansoddiad o ansawdd dŵr, ystyriwyd gwerthoedd cyfnod y sychder yn unig. Defnyddiwyd meddalwedd R (R Core Team 2016) i gynnal profion-t a Mann-Whitney.

#### 5.3.5.2. Cyfansoddiad y gymuned macroinfertebrataidd: y benthos a'r drifft

Er mwyn ymchwilio i effaith y sychder ar gyfansoddiad y gymuned macroinfertebrataidd, adeiladwyd modelau llinol cyffredinoleddig (MLIC) ar gyfer y samplau Hess a drifft ar wahân dros y cyfnodau cyn, yn ystod ac wedi'r sychder gan ddefnyddio ffwythiant *manyglm* ym mhecyn *mvabund* (Wang *et al.* 2012) â meddalwedd R (R Core Team 2016). Gweler Pennod 3 am ddisgrifiad o becyn *mvabund* a'r manteision o'i ddefnyddio dros fesuriadau annhebygrwydd traddodiadol megis PERMANOVA. Gosodwyd y newidynnau esboniadol canlynol: "dwysedd tacsa" ~ "bloc" + "diwrnod samplu" (newidyn di-dor) + "cafn" (arbrofol / rheoli) + rhyngweithiad "bloc:cafn" + rhyngweithiad "cafn:diwrnod samplu". Un diwrnod samplu oedd cyn y driniaeth, felly ni chafodd dyddiad samplu ei gynnwys yn y model ar gyfer y cyfnod hwnnw. Defnyddiwyd prawf cymhareb tebygolrwydd (PCT) fel yr ystadegyn prawf. Er lles effeithlonrwydd cyfrifo, tybiwyd annibyniaeth y newidynnau ymatebol (dwysedd tacsonau). Defnyddiwyd ail-samplu *PIT-trap* (999 iteriad), sy'n ymdrin ag unrhyw strwythur cydberthynol rhwng samplau a tacsonau, i gyfrifo arwyddocâd yr ystadegau prawf a gwerthoedd p. Cyfrifwyd gwerthoedd p a PCT y model lluosnewidyn gan ddefnyddio'r ffwythiant ANOVA; gosodwyd y ffwythiant *p.uni* fel "adjusted" er mwyn adnabod ymatebion un-newidyn tacsonau unigol. Defnyddiwyd yr un dull er mwyn dadansoddi cyfansoddiad tacsonomaidd yr infertebratau oedd yn gadael y cafnau (samplau drifft). Ni chafodd bloc ei gynnwys ar gyfer model y samplau drifft a gasglwyd cyn y driniaeth i fodloni gofynion gweddilleb y model. Cyfrifwyd dwyseddau infertebratau'r drifft (nifer / arllwysiad) gan ychwanegu y gwerth 0.0008737864 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (y gwerth arllwysiad lleiaf a recordiwyd ar unrhyw ddiwrnod samplu drifft) i bob amcan arllwysiad i osgoi cyfrifiad dwyseddau anfeidraidd. Cyfrifwyd tueddfryd infertebratau i ddrifftio (dwysedd drifft / dwysedd benthig) gan ddefnyddio'r samplau drifft hynny oedd agosaf i ddiwrnodau samplau benthig

(samplau Hess) fel mesur o'r gyfran o'r benthos oedd yn drifftio, gan reoli am newidiadau yn nwyseddau'r benthos.

Defnyddiwyd y dull graddio amlddimensiwn af-fetrig (GADA; Shepard 1962; Kruskal, 1964) i ddehongli'r gymuned facroinfertebrataidd yn weledol. Ceir disgrifiad o amcanion y dull GADA ym Mhennod 3. Cynhaliwyd ordeiniadau GADA ar sail 500 ailadroddiad trwy ddefnyddio'r ffwythiant *metaMDS* ym mhecyn *vegan* (Oksanen *et al.* 2017) â meddalwedd R (R Core Team 2016) ar samplau Hess unigol. Cyfrifwyd gwerthoedd annhebygrwydd o ddata dwysedd infertebrataidd yn ôl cyfernod Bray-Curtis (Bray a Curtis 1957). Mae'r cyfernod hwn yn llwyddo i ddygymod yn effeithiol â data niferoedd sy'n cynnwys nifer o werthoedd sero. Wedi trawsffurfio gwerthoedd niferoedd i'w hail isradd, safonwyd hwy yn ôl y broses Wisconsin ddwbl. Gweithredwyd y ffwythiant *stepacross* sy'n galluogi cydgyfeiriad pan fod cyfran uchel o samplau heb dacsonau cyffredin. Galluogodd hynny i'r dehongliad gweledol ei gynnal mewn dau ddimensiwn ar ddata heb eu hymgasglu (hynny yw, yn ôl samplau unigol), ac felly ar yr un cyfraniad â'r dadansoddiad ystadegol â modelau *manyglm* (pecyn *mvabund*).

#### 5.3.5.3. Stoc deunydd organig, strwythur maint a biomas y benthos

Dadansoddwyd effaith y driniaeth ar stoc deunydd organig, strwythur maint y benthos a biomas infertebrataidd y benthos â modelau llinol cyffredinodig cymysg (MLICC) trwy ddefnyddio ffwythiant *glmmPQL* ym mhecyn *MASS* (Venables a Ripley 2002) â meddalwedd R 3.3.2 (R Core Team 2016) yn amgylchedd RStudio (RStudio Team 2016). Ystyriwyd data di-dor y mesuriadau a gasglwyd yn addas i'w trin â dull syml a hydwyth lled-debygolrwydd cosbiedig a weithreda ffwythiant *glmmPQL* i amcan paramedrau MLICC (gweler Bolker *et al.* 2009 am adolygiad defnyddiol o fanteision ac anfanteision dulliau amrywiol o amcan paramedrau). Dadansoddwyd gwerthoedd DOGB, DOGM, màs infertebratau unigol a chyfanswm biomas infertebrataidd samplau Hess ar wahân, ar gyfer y cyfnodau cyn (Diwrnod -2), yn ystod (Diwrnod 11, 38, 82) ac wedi'r driniaeth (Diwrnod 95, 131, 145) yn ôl y newidynnau esboniadol: "diwrnod samplu" (newidyn di-dor) + "cafn" (arbrofol / rheoli) + rhyngweithiad "cafn:diwrnod samplu" + "bloc" (term ar hap i reoli am amrywiaeth rhyng-floc). Casglwyd y samplau cyn y driniaeth i gyd ar yr un diwrnod, felly ni ystyriwyd y dyddiad samplu yn nadansoddiad y cyfnod hwnnw. Ychwanegwyd y gwerth '1' i bob arsylwad newidynnau 'y' i ateb yr angen i werthoedd beidio bod yn sero. Cafodd unrhyw werthoedd màs negyddol DOGB/M bychan eu cofnodi fel gwerth sero i ymdopi â drifft y glorian drachywir a ddefnyddiwyd i'w mesur. Profwyd am wahaniaethau ystadegol.

## 5.4. Canlyniadau

### 5.4.1. Cyflyrau anfiotig y sychder

O gymharu gwerthoedd cymedrig cafnau rheoli a sychder y pedwar bloc, tystir fod yr arwynebedd gwlyb wedi lleihau 48%, gan adael dŵr oedd 53% yn fwy bas, 86% yn fwy llonydd, ac ynddo 2.6 mg yn llai o ocsigen bob litr, a chynhesach ar gyfartaledd, ond hefyd â thymheredd mwy amrywiol o'i gymharu â'r cafnau rheoli (cafnau rheoli:  $11.02 \pm 0.01$  °C; tymheredd uchaf: 18.05 °C; tymheredd isaf: 6.37°C; cafnau sychder:  $11.75 \pm 0.02$  °C; tymheredd uchaf: 34.27 °C; tymheredd isaf: 2.20 °C; Prawf-t,  $t = -5.7$ ;  $p < 2.2e^{-16}$ ; Tabl 5.2; Ffigur 5.3). Roedd crynodiad ocsigen dŵr y cafnau rheoli ychydig yn is na'r nentydd naturiol ( $9.47 \pm 0.12$ ;  $9.93 \pm 0.06$  mg L<sup>-1</sup>, yn ôl trefn), tra fod crynodiad ocsigen y cafnau sychder llawer is na'r cafnau rheoli ( $6.77 \pm 0.26$  mg L<sup>-1</sup>; Kruskal-Wallis,  $\text{Chi}^2 = 105.1$ ,  $gr = 2$ ,  $p < 2.2e^{-16}$ ). Bu ansawdd cemegol dŵr y cafnau sychder yn debyg i'r cafnau rheoli a'r nentydd perthnasol dros gyfnod y sychder (Tabl 5.1).

**Tabl 5.1: Cemeg y dŵr**

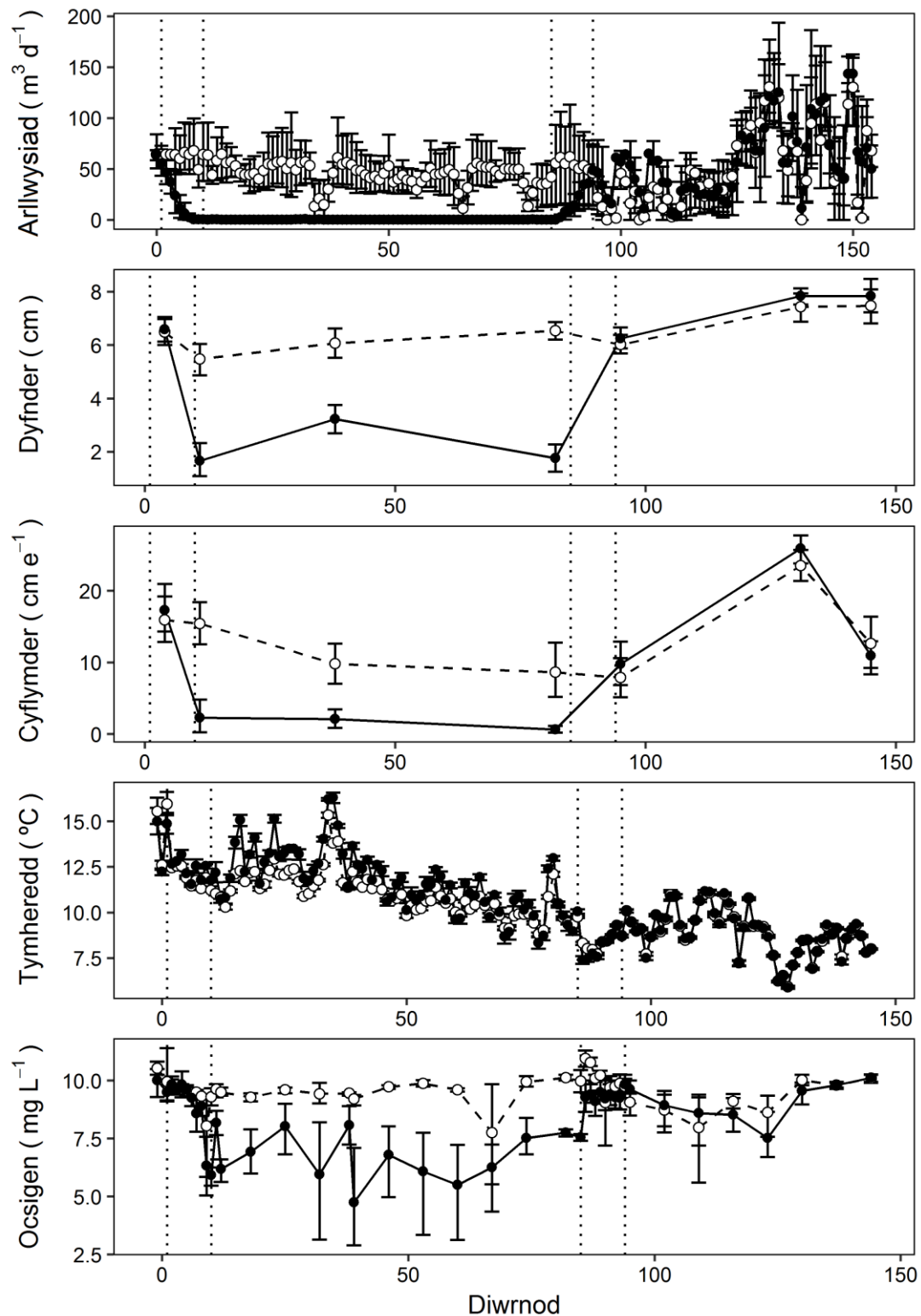
Gwerthoedd cymedrig ( $\mu$ ) a'u cyfeiliomadau safonol ( $\pm$ ) o fesuriadau yn ystod sychder efelychol (cymedr o bedwar cafn rheoli a phedwar cafn sychder wedi eu huno). Profwyd am wahaniaeth rhwng data'r cafn rheoli a'r cafn sychder wedi eu huno o'r pedwar bloc yn ystod y cyfnod sychder (75 diwrnod). Dynodir prawf ANOVA gan "F" a phrawf Mann-Whitney gan "W", gydag ystadegyn (YP) a gwerth p (p) y profion perthnasol wedi eu hadrodd. Disgrifia "Strwythur" naill ai cymhariaeth rhwng y nant naturiol berthnasol, y cafn rheoli a'r cafn sychder (N-Rh-S), neu cymhariaeth rhwng y cafn rheoli a'r cafn sychder yn unig (Rh-S). Dynodir arsylwadau clwm gan "AC".

| Paramedr   | Strwythur | $\mu$ | $\pm$ |   | YP    | p    |
|--|-----------|-------|-------|---|-------|------|
| pH   | N-Rh-S    | 6.5   | 0.08  | F | 0.05  | 0.95 |
| Dargludedd ( $\mu\text{S}$ )                       | N-Rh-S    | 51.01 | 0.82  | F | 0.017 | 0.98 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> ) | Rh-S      | 0     | 0     | - | AC    | AC   |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> ) | Rh-S      | 1     | 0.69  | W | 50    | 1    |
| GH (dH)  | Rh-S      | 0.6   | 0.33  | W | 45    | 0.58 |
| KH (dH)  | Rh-S      | 1.35  | 0.34  | W | 55    | 0.69 |
| PO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )              | Rh-S      | 0     | 0     | - | AC    | AC   |

**Tabl 5.2: Nodweddion y sychder**

Gwerthoedd cymedrig ( $\mu$ ) a'u cyfeiliornadau safonol ( $\pm$ ) o fesuriadau anfiotig yn ystod sychder efelychol mewn mesocosmau nantyddol. Profwyd am wahaniaeth rhwng cafn rheoli ac arbrofol pob bloc yn ystod cyfnod triniaeth sychder (75 diwrnod). Dynodir Prawf-t â "t", a Phrawf Mann-Whitney â "W", ynghyd ag ystadegyn (YP), graddau rhyddid (gr) a gwerth p (p) y profion perthnasol.

| Paramedr                                 | Bloc      | Cafn    | $\mu$   | $\pm$  |   | YP       | gr       | p        |
|--|-----------|---------|---------|--------|---|----------|----------|----------|
| <b>Arlwysiad (L d<sup>-1</sup>)</b>      | Hanwell   | Rheoli  | 29146.4 | 156.8  |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 2.1     | 1.3    | W | 49310647 | -        | <2.2e-16 |
|  | Carpenter | Rheoli  | 50759.9 | 157.7  |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 73.2    | 10.0   | W | 49959297 | -        | <2.2e-16 |
|  | Davies    | Rheoli  | 68119.6 | 449.7  |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 0.0     | 0.0    | W | 46130860 | -        | <2.2e-16 |
|  | Sidaway   | Rheoli  | 30530.8 | 126.75 |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 3.9     | 3.6    | W | 72283524 | -        | <2.2e-16 |
| <b>Cyflymder (cm e<sup>-1</sup>)</b>     | Hanwell   | Rheoli  | 12.2    | 1.3    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 2.6     | 1.1    | W | 78       | -        | 0.00029  |
|  | Carpenter | Rheoli  | 8.7     | 2.0    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 0.9     | 0.4    | W | 81       | -        | 0.00041  |
|  | Davies    | Rheoli  | 7.9     | 1.8    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 1.1     | 0.4    | W | 52       | -        | 0.0039   |
|  | Sidaway   | Rheoli  | 16.2    | 2.7    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 1.7     | 1.0    | W | 79       | -        | 0.00079  |
| <b>Dyfnder (cm)</b>                      | Hanwell   | Rheoli  | 5.9     | 0.3    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 3.4     | 0.3    | t | 6.01     | 51.95    | 1.84e-07 |
|  | Carpenter | Rheoli  | 6.1     | 0.3    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 1.3     | 0.3    | W | 699.50   | -        | 6.61e-09 |
|  | Davies    | Rheoli  | 5.8     | 0.3    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 1.2     | 0.2    | W | 721.5    | -        | 6.38e-10 |
|  | Sidaway   | Rheoli  | 6.3     | 0.3    |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 3.1     | 0.3    | W | 658.5    | -        | 3.62e-07 |
| <b>Arwynebedd Gwlyb (m<sup>2</sup>)</b>  | Hanwell   | Rheoli  | 0.15    | 0.005  |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 0.13    | 0.005  | W | 65       | -        | 0.0337   |
|  | Carpenter | Rheoli  | 0.16    | 0.003  |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 0.05    | 0.009  | W | 81       | -        | 0.0004   |
|  | Davies    | Rheoli  | 0.17    | 0.005  |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 0.04    | 0.009  | W | 81       | -        | 0.0004   |
|  | Sidaway   | Rheoli  | 0.17    | 0.004  |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 0.09    | 0.010  | W | 81       | -        | 0.0004   |
| <b>Tymheredd dŵr (°C)</b>                | Hanwell   | Rheoli  | 10.67   | 0.02   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 11.56   | 0.04   | t | -20.60   | 9820.61  | <2.2e-16 |
|  | Carpenter | Rheoli  | 11.45   | 0.02   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 11.94   | 0.03   | t | -12.88   | 11093.92 | <2.2e-16 |
|  | Davies    | Rheoli  | 11.11   | 0.02   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 11.41   | 0.03   | t | -8.63    | 11909.23 | <2.2e-16 |
|  | Sidaway   | Rheoli  | 10.85   | 0.02   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 12.10   | 0.04   | t | -27.61   | 8678.96  | <2.2e-16 |
| <b>O<sub>2</sub> (mg L<sup>-1</sup>)</b> | Hanwell   | Rheoli  | 9.62    | 0.09   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 7.15    | 0.25   | t | 9.34     | 15.02    | 1.21e-07 |
|  | Carpenter | Rheoli  | 9.14    | 0.43   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 5.50    | 0.81   | W | 161      | -        | 9.54e-05 |
|  | Davies    | Rheoli  | 9.52    | 0.20   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 6.90    | 0.39   | W | 162.50   | -        | 6.90e-05 |
|  | Sidaway   | Rheoli  | 9.60    | 0.12   |   |          |          |          |
|  |           | Sychder | 7.52    | 0.31   | t | 6.30     | 15.36    | 1.28e-05 |

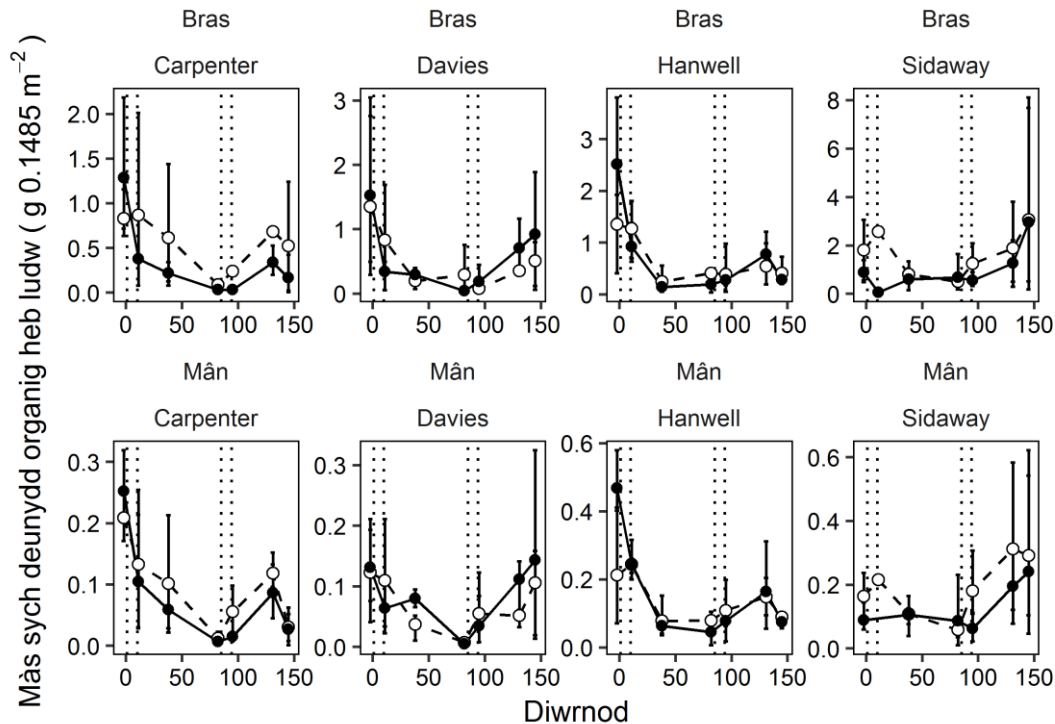


**Ffigwr 5.3: Nodweddion y sychder: Dŵr cynnes, bas, llonydd a fwy hypocsig**

Mesuriadau cymedrig ( $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr wedi'i ymlwytho) arllwysiad, dyfnder, cyflymder, tymheredd a chrynodiad ocsigen hydoddedig dŵr cafnau arbrofol (smotiau tywyll, llinell gyfan) a rheoli (smotiau golau, llinell doredig) o bedwar bloc o fesocosmau dyfrol ucheldirol yn ôl diwrnod. Efelychwyd sychder eithafol drwy leihau llif cafnau arbrofol yn raddol rhwng Diwrnod 1 a 10, a chodi'r llif yn raddol eto rhwng Diwrnod 85 a 94 i ddechrau cyfnod adfer (dynodir gan linellau fertigol toredig).

### 5.4.2. Adnoddau organig craidd

Gwelwyd fod stoc y deunydd organig gronynnol oedd ar gael i'r infertebratau yn y cafnau rheoli ac arbrofol yn debyg cyn y driniaeth. Roedd hynny'n wir am gydran fras ( $> 1000 \mu\text{m}$ ; DOGB) a mân ( $500 - 1000 \mu\text{m}$ ; DOGM) y samplau Hess a gasglwyd (glmmPQL:  $t_{18} = -0.619$ ,  $p = 0.544$  a glmmPQL:  $t_{18} = -1.358$ ,  $p = 0.191$ , yn ôl trefn). Yn ystod y driniaeth, casglwyd llai o ddeunydd organig bras o raeon y cafnau arbrofol o'i gymharu â'r hyn a gasglwyd o'r cafnau rheoli (glmmPQL:  $t_{59} = 3.001$ ,  $p = 0.004$ ). Nid felly am gydran fân yr adnodd (glmmPQL:  $t_{59} = 0.893$ ,  $p = 0.376$ ). Casglwyd gerthoedd màs tebyg o ddeunydd bras a mân wedi'r llif ei ail-gyflenwi (glmmPQL:  $t_{61} = 0.536$ ,  $p = 0.594$  a glmmPQL:  $t_{62} = 0.834$ ,  $p = 0.408$ , yn ôl trefn; Ffigwr 5.4). Ni arsylwyd perthynas arwyddocaol rhwng rhyngweithiad diwrnod samplu:cafn (arbrofol / rheoli) a'r stoc DOGB/M yn ystod unrhyw un o'r cyfnodau arbrofol.



**Ffigwr 5.4: Stoc deunydd organig benthig mewn sychder**

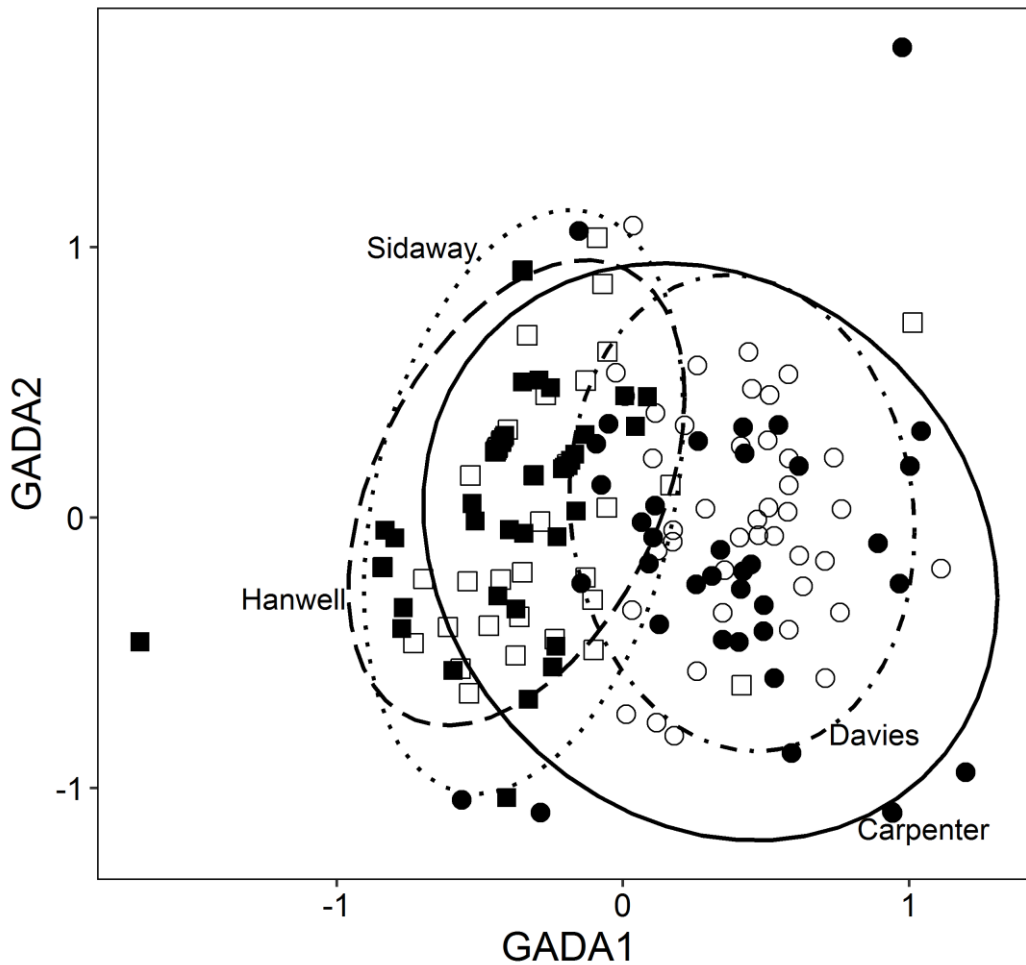
Cymhariaeth rhwng triniaethau rheoli (smotiau golau, llinell dorredig) ac arbrofol (smotiau tywyll, llinell gyfan) ar gymedr màs sych heb ludw (MSHL) deunydd organig tri sampl Hess ailadroddol ( $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr wedi'i ymlwytho) mewn pedwar bloc arbrofol (Carpenter, Davies, Hanwell a Sidaway). Cyflwynir gwerthoedd màs deunydd organig gronynnol bras (DOGB;  $> 1000 \mu\text{m}$ ) a mân (DOGM;  $500 - 1000 \mu\text{m}$ ) ar wahân. Efelychwyd sychder eithafol drwy leihau llif cafnau arbrofol yn raddol rhwng Diwrnod 1 a 10, a chodi'r llif yn raddol eto rhwng Diwrnod 85 a 94 i ddechrau cyfnod adfer (dynodir gan linellau fertigol toredig).

#### 5.4.3. *Strwythur cymunedol: Y benthos*

Casglwyd a mesurwyd 3,237 anifail o'r swbstrad (samplau Hess) dros gyfnod yr arbrawf. Fel cymuned gyffredinol ar draws y pedwar bloc arbrofol (wyth cafn) roedd infertebratau dyfrol yn cynrychioli 99.1 % o'r benthos, yn ôl niferoedd. Daeth y 0.9 % oedd yn weddill o ddeiliant tirol; yn benodol, cofnodwyd presenoldeb gwiddon (Acari (Leach)), aelodau o'r Arachnida (Cuvier) gan gynnwys pryfed cop (Araneae), morgrug (Formicidae), aelodau o'r Hemiptera a'r Hymenoptera, ac ambell gynffon sbonc (Collembola). Cynrychiolwyd 91.6 % o'r holl sbesimenau a gasglwyd gan saith brif dacson dyfrol: larfau'r gwybed bustl (Chironomidae), larfau pryfed y cerrig, larfau cylion Mai o'r genws *Baetis* (Leach) a *Serratella* (Edmunds), chwilod dŵr *Elmis*, larfau'r Simuliidae a mwydod dyfrol yr Oligochaeta. Cafodd gweddill y gymuned ddyfrol ei chyfansoddi o amryw o dacsonau llai cyffredin ( $n < 50$ ), gan gynnwys chwilod dŵr *Esolus* (Mulsant a Rey) ac *Oulimnius* (des Gozis), cynrychiolaeth o'r Diptera ar ffurf larfau'r chwiwiad (Ceratopogonidae), y Dixidae a'r Tipulidae; larfau cylion Mai *Ecdyonurus* (Eaton), *Heptagenia* (Walsh), *Rhithrogena* (Eaton) a *Paraleptophlebia* (Lestage); aelodau o urdd y pryfed pric megis y *Glossosoma* (Curtis), *Diplectrona* (Westwood), *Wormaldia* (McLachlan), *Plectrocnemia* (Stephens), *Polycentropus* (Curtis), *Rhyacophila* (Pictet) a *Sericostoma* (Latreille); y *Velia* (Latreille) o'r Hemiptera; a'r gwyddon dŵr (Hydracarina).

Yn gyffredinol, gwelwyd fod ymraniad deubarthol amlwg i gyfansoddiad cymunedol y benthos (Ffigur 5.5). Gwelwyd fod rhywogaethau *Baetis* ac *Elmis*, ynghyd ag aelodau'r Oligochaeta, Ceratopogonidae a'r Heptagenidae ar goll i bob pwrpas o flociau asidaidd Hanwell a Sidaway o'u cymharu â blociau amniwtral Carpenter a Davies yn ystod un neu holl o'r cyfnodau arbrofol (cyn, yn ystod neu wedi'r sychder). Bu dwyseddau'r Chironomidae yn uwch yn y blociau asidaidd yn y cyfnod adfer. Noder fod disgrifio gwahaniaethau tacsonomaidd yn hwylus yng nghyd-destun deuoliaeth pH nentydd, ond mewn gwirionedd fod y pedwar bloc arbrofol yn cynrychioli amrediad o gyflyrau ffisegemegol, a bod gwahaniaethau tacsonomaidd yn adlewyrchu hynny.





**Ffigur 5.5: Ymrianiad deubarthol strwythur cymunedol yn ôl statws asid / amniwtral nentydd**

Dylanwad pH ar strwythur cymunedol benthos ucheldirol yn ôl dadansoddiad graddio amlddimensiwn af-fetrig (GADA, mynegai annhebygrwydd: Bray-Curtis; diriant = 0.239). Cynrychiola pwyntiau'r ffigur (smotiau / sgwariau) gynnwys samplau Hess unigol ( $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr gan linellau wedi eu labelu yn ôl bloc). Dyfrrir blociau Hanwell (sgwariau tywyll) a Sidaway (sgwariau golau) â dŵr o nentydd sy'n hanesyddol fwy asidaidd, tra bod dŵr blociau Carpenter (smotiau tywyll) a Davies (smotiau golau) yn amniwtral.

#### 5.4.3.1. Cyn y sychder

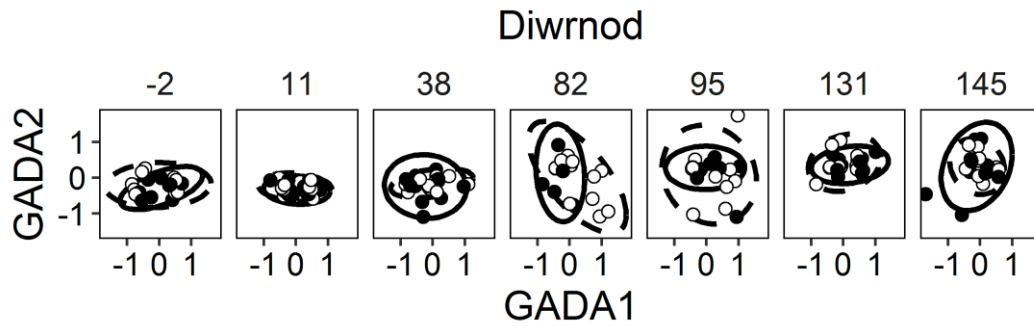
Ar sail un pwynt amser cyn y driniaeth (Diwrnod -2, tri sampl ailadroddol pob cafn); cofnodwyd peth gwahaniaeth yng nghyfansoddiad cymunedol y cafnau rheoli ac arbrofol (*manyglm*: PCT = 39.18,  $p = 0.036$ ), a bod y gwahaniaeth yn amrywiol yn ôl bloc (*manyglm*: PCT = 46.59,  $p = 0.012$ ). Y diwrnod hwnnw, gwelwyd bod mwy o *Baetis* (preswlydd blociau amniwtral) wedi eu casglu o'r cafn rheoli na'r cafn sychder ym mhloc Carpenter, tra bod y gwrthwyneb yn wir ym mhloc Davies (*manyglm*: PCT = 16.385,  $p = 0.034$ ).

#### 5.4.3.2. Yn ystod y sychder

Gwelwyd fod cymuned infertebrataidd y cafnau arbrofol wedi newid yn raddol dros gyfnod y sychder (Diwrnod 11 - 82); hynny, o fod yn debyg i'r cymunedau rheoli ar ddechrau'r cyfnod, i fod yn wahanol tuag at ddiwedd y cyfnod sychder (rhyngweithiad "diwrnod samplu:triniaeth"; *manyglm*: PCT = 39.95;  $p = 0.004$ ; Ffigwr 5.6). Canfuwyd hefyd o'r model lluosnewidyn fod dylanwad sychder yn ddibynnol ar y bloc arbrofol dan sylw (rhyngweithiad "bloc:triniaeth"; *manyglm*: PCT = 62.39;  $p = 0.023$ ). Noder nad oedd y patrwm bloc-ddibynnol yn amlwg yn ôl dull gweledol GADA. Yn ôl dadansoddiad un-newidyn, dim ond y Simuliidae oedd ag ymateb ystadegol arwyddocaol i'r driniaeth; hynny mewn rhyngweithiad â'r diwrnod samplu (*manyglm*: PCT = 12.743;  $p = 0.011$ ). Trwy ddehongliad gweledol, gwelwyd fod amrywiaeth uchel rhwng samplau a bod y patrwm yn gymysglyd ar draws blociau, gan awgrymu fod tueddiad y Simuliidae i ymgynnull (yn aml mewn niferoedd uchel, dwys) mewn microgynefinoedd cyfyng wedi dylanwadu'r dadansoddiad. Ymddengys felly na esboniwyd newid strwythur y cymunedau mewn sychder gan ymateb unrhyw dacson unigol, gan awgrymu fod yr ymateb cymunedol yn un cynnil. Yn unol a hyn, gwelwyd fod dwysedd infertebrataidd (nifer / arwynebedd benthig samplydd Hess) yn gymharol ar gyfer cafnau rheoli ac arbrofol yn ystod y sychder, neu o leiaf fod maint effaith y sychder yn llai na dylanwad safle a thymor (Ffigwr 5.7).

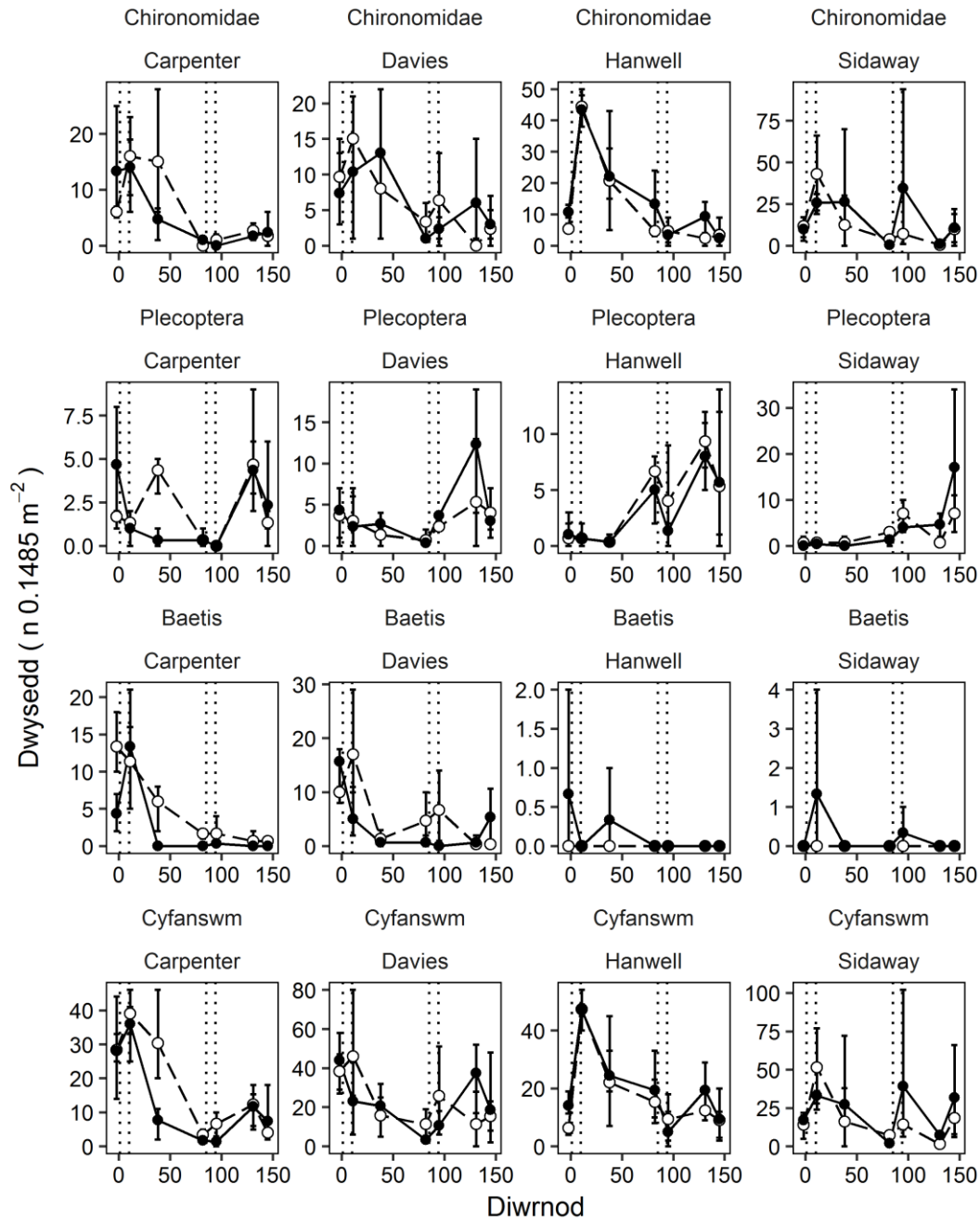
#### 5.4.3.3. Ar ôl y sychder: y cyfnod adfer

Ar ddiwedd y sychder, ail-gyflenwyd y llif i'r cafnau arbrofol. Roedd adferiad y cymunedau yn y cafnau arbrofol yn gymharol sydyn; bu peth annhebygrwydd i'w weld rhwng y cymunedau arbrofol a rheoli ar Ddiwrnod 95 (y diwrnod cyntaf o lif llawn wedi'r 10 diwrnod o godi'r llif yn raddol) ond disbyddodd yr annhebygrwydd hwn erbyn Diwrnod 131 a 145 (Ffigwr 5.6). Cadarnhawyd hynny gan y dadansoddiad lluosnewidyn, lle na adnabuwyd patrwm graddol i'r adferiad (rhyngweithiad "diwrnod samplu:triniaeth"; *manyglm*: PCT = 29.38,  $p = 0.092$ ) a dim gwahaniaeth yng nghyfansoddiad cymunedol y cafnau arbrofol a rheoli dros gyfanrwydd y cyfnod adfer (*manyglm*: PCT = 37.66,  $p = 0.092$ ). Yn gytûn a'r dadansoddiad lluosnewidyn, ni welwyd unrhyw wahaniaeth yn nwyseddau benthig unrhyw un o'r tacsonau penodol rhwng y cafnau arbrofol a rheoli yn ystod y cyfnod adfer.



**Ffigwr 5.6: Newid graddol ac adferiad sydyn cymuned infertebrataidd**

Dadansoddiad graddio amlddimensiwn af-fetrig (GADA) o strwythur cymunedau macroinfertebrataidd dyfrol mewn mesocosmau ucheldirol. Cymerir cymunedau oedd yn preswyllo mewn cafnau rheoli (smotiau golau, llinell dorredig) â'r rhai oedd dan driniaeth sychder (smotiau tywyll, llinell gyfan)  $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr (mynegai annhebygrwydd: Bray-Curtis; diriant = 0.239). Samplwyd y benthos ym mhob cafn cyn (Diwrnod -2), yn ystod (Diwrnod 11, 38 a 82) ac wedi'r sychder (Diwrnod 95, 131 a 145). Nodwyd effaith ystadegol arwyddocaol y driniaeth mewn rhyngweithiad a'r diwrnod samplu ar strwythur y gymuned yn ystod cyfnod y sychder (MLIC: PCT = 39.95;  $p = 0.004$ ).

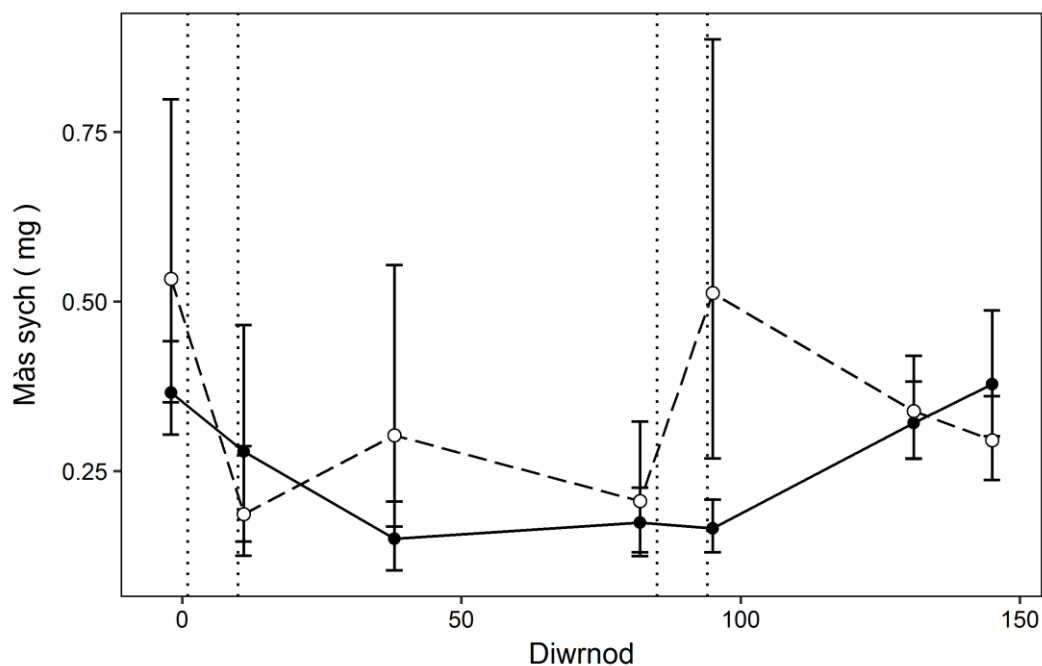


**Ffigwr 5.7: Dylanwad tymhorol a lleoliad yn hwy nag effaith sychder ar nifer infertebratau**

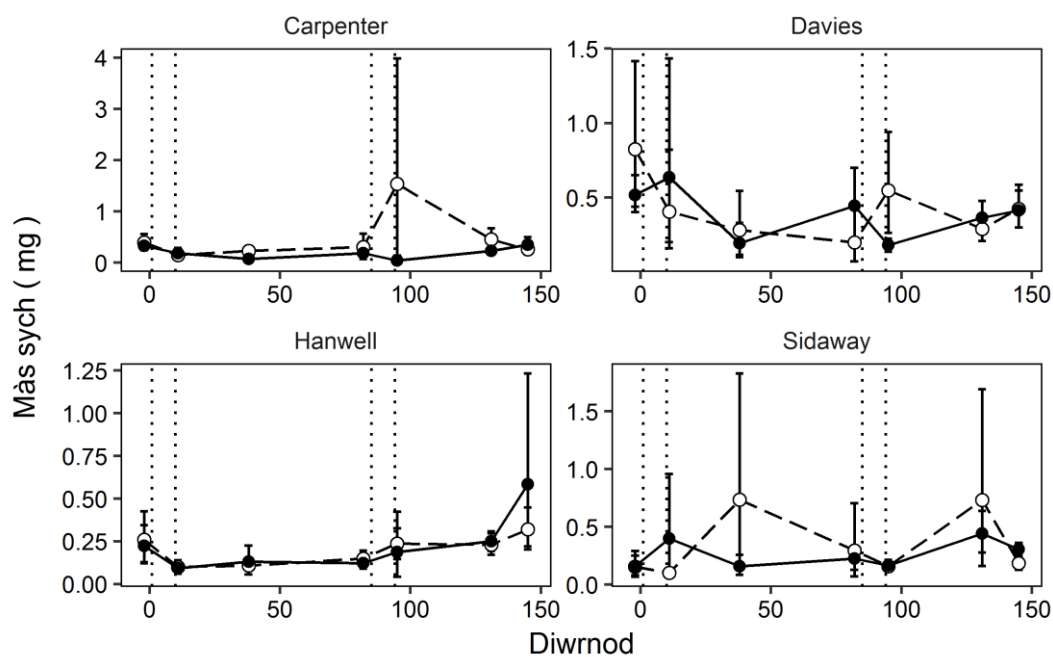
Cymhariaeth rhwng triniaethau rheoli (smotiau golau, llinell dorredig) a sychder (smotiau tywyll, llinell gyfan) ar niferoedd macroinfertebratau benthig ( $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr wedi'i ymlwytho) mewn pedwar bloc arbrofol (Carpenter, Davies, Hanwell a Sidaway). Cyflwynir dwyseddau ar gyfer y tri tacson mwyaf cyffredin: Chironomidae, Plecoptera a'r *Baetis* (51, 16 a 12 % o'r gymuned gyfan yn ôl niferoedd, fesul trefn); yn ogystal â chyfanswm niferoedd y gymuned (gan gynnwys infertebratau tirol: 0.9 % o'r sbesimenau a gofnodwyd). Efelychwyd sychder eithafol drwy leihau llif cafnau arbrofol yn raddol rhwng Diwrnod 1 a 10, a chodi'r llif yn raddol eto rhwng Diwrnod 85 a 94 i ddechrau cyfnod adfer (dynodir gan linellau fertigol toredig).

#### **5.4.4. Strwythur maint y benthos**

Ymddengys i faint corff cymedrig yr holl infertebratau yn y cafnau arbrofol leihau fel ymateb i'r sychder, hyd nes bod yn gymharol â strwythur maint benthos y cafnau rheoli ar Ddiwrnod 131 (Ffigwr 5.8). Ni chadarnhawyd hynny wrth edrych ar ymatebion bloc-benodol (Ffigwr 5.9), na chwaith trwy ddadansoddi samplau cyfnod y sychder yn unigol (Diwrnod 11, 38, 82; rhyngweithiad "diwrnod samplu:triniaeth", *glmmPQL*:  $t_{1644} = 1.079$ ,  $p = 0.281$ ; Ffigwr 5.10). Awgryma canlyniadau MLICC o samplau Diwrnod 95, 131 a 145 fod maint corff cymedrig y cymunedau yn y cafnau arbrofol wedi cynyddu dros y cyfnod adfer; nid felly yn y cafnau rheoli (rhyngweithiad "diwrnod samplu:triniaeth", *glmmPQL*:  $t_{1009} = -2.825$ ,  $p = 0.005$ ). Roedd strwythurau maint y cafnau rheoli ac arbrofol yn debyg cyn y driniaeth (Diwrnod -2, *glmmPQL*:  $t_{565} = 1.501$ ,  $p = 0.134$ ).

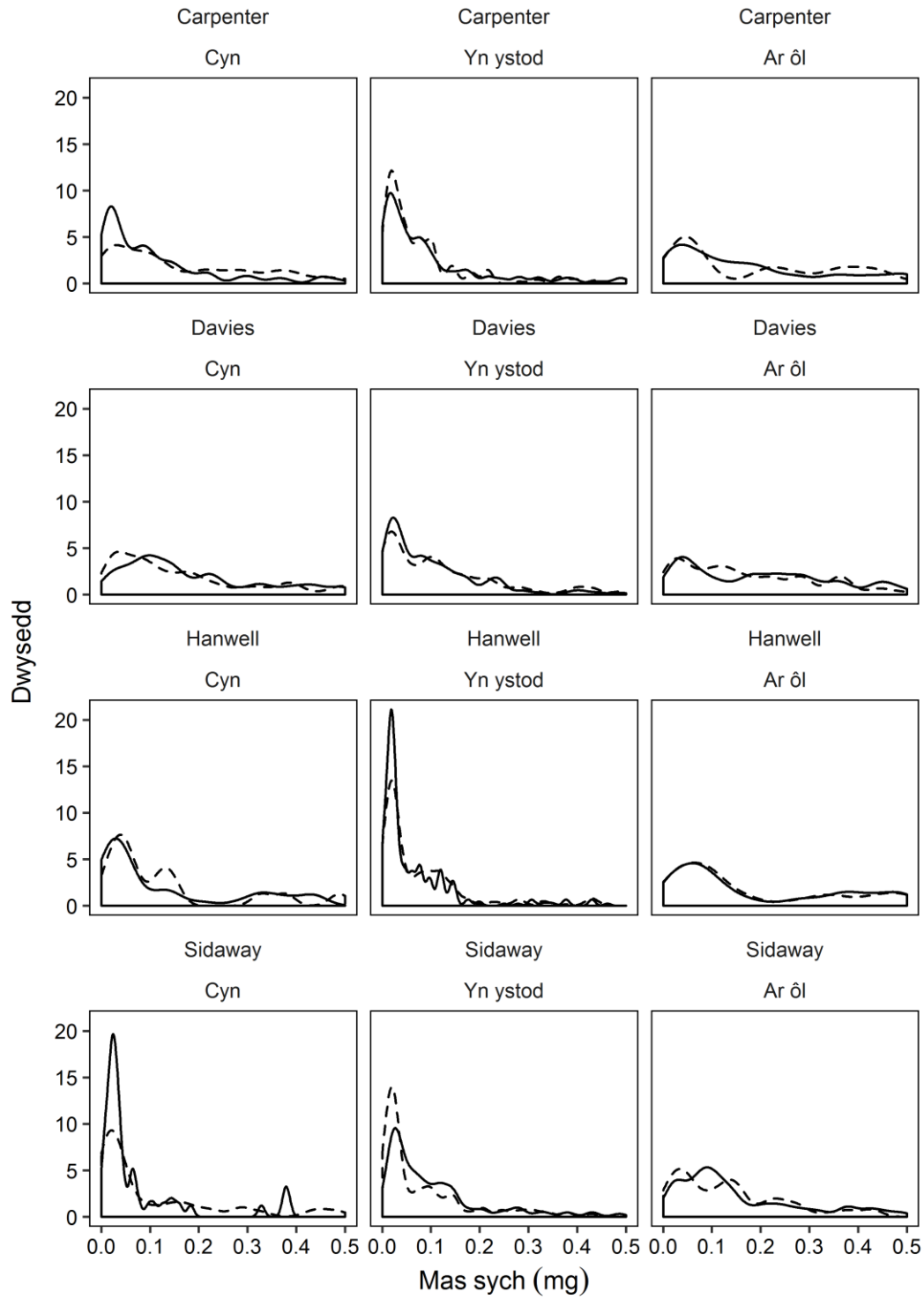


**Ffigur 5.8: Maint cyrff infertebratau bentig (data cyfunol y pedwar bloc)**



**Ffigur 5.9: Maint cyrff infertebratau bentig yn ôl bloc**

Cymhariaeth rhwng triniaethau rheoli (smotiau golau, llinell dorredig) a sychder (smotiau tywyll, llinell gyfan) ar faint corff (màs sych) macroinfertebratau samplau Hess ( $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr wedi'i ymlwytho) mewn pedwar bloc arbrofol (Carpenter, Davies, Hanwell a Sidaway). Efelychwyd sychder eithafol drwy leihau llif cafnau arbrofol yn raddol rhwng Diwrnodau 1 a 10, a chodi'r llif yn raddol eto rhwng Diwrnod 85 a 94 i ddechrau cyfnod adfer (dynodir gan linellau fertigol toredig). Cyflwynir data cyfunol y pedwar bloc o fesocosmau yn Ffigur 5.8, ac ymatebion bloc-benodol yn Ffigur 5.9

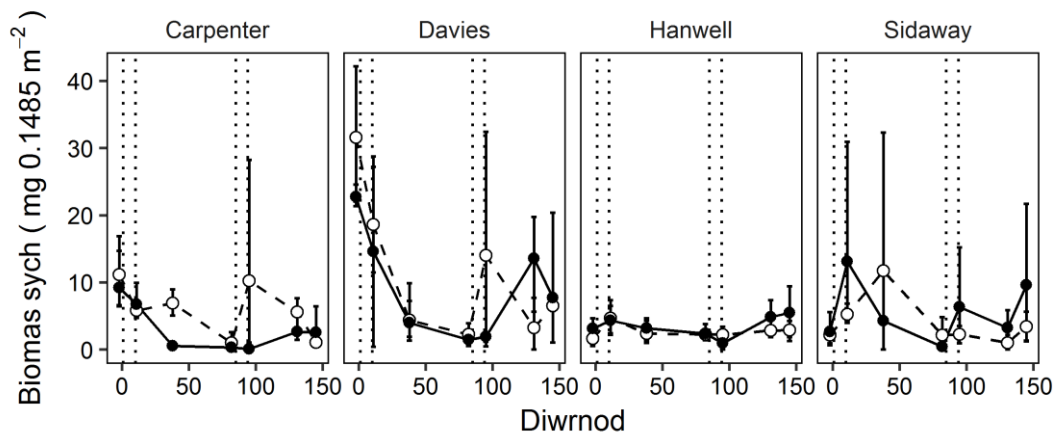


**Ffigwr 5.10: Strwythur maint cymuned infertebrataidd ucheldirol yn wydn i aflonyddiad sychder**

Plotiau dwysedd sy'n cymharu triniaethau rheoli (llinell dorredig) a sychder (llinell gyfan) ar strwythur maint cymuned infertebrataidd ( $n = 3,237$ ) o samplau Hess (rhwyll  $500 \mu\text{m}$ ) mewn pedwar bloc arbrofol (Carpenter, Davies, Hanwell a Sidaway). Cyflwynir data ar gyfer anifeiliaid  $< 0.5 \text{ mg}$  er lles dehongliad (375 anifail ddim yn weledol).

#### 5.4.5. Stoc biomas infertebrataidd

Roedd stoc biomas infertebrataidd benthig y cafnau arbrofol a rheoli yn debyg cyn y sychder ar ôl rheoli am effaith bloc (*glmmPQL*:  $t_{19} = -0.099$ ,  $p = 0.922$ ). Yn ystod cyfnod y sychder, ni effeithiodd y sychder gyfanswm stoc biomas infertebrataidd benthig (*glmmPQL*:  $t_{65} = -0.695$ ,  $p = 0.49$ ). Yn y cyfnod adfer, ymddengys patrwm cynnil o gynnydd stoc biomas yn y cafnau arbrofol ar ôl i'r llif ei ailgyflenwi tra i'r stoc biomas leihau yn y cafnau reoli dros yr un cyfnod (rhyngweithiad "diwrnod samplu:triniaeth"; *glmmPQL*:  $t_{65} = -2.844$ ,  $p = 0.006$ ).



**Ffigwr 5.11: Stoc biomas benthos macroinfertebrataidd yn sefydlog mewn sychder**

Cymhariaeth rhwng triniaethau rheoli (smotiau golau, llinell dorredig) a sychder (smotiau tywyll, llinell gyfan) ar gymedr biomas sych infertebrataidd tri sampl Hess ailadroddol ( $\pm$  cyfwng hyder 95 % o'r cymedr wedi'i ymlwytho) mewn pedwar bloc arbrofol (Carpenter, Davies, Hanwell a Sidaway). Efelychwyd sychder tymhorol eithafol drwy leihau llif cafnau arbrofol yn raddol rhwng Diwrnodau 1 a 10, a chodi'r llif yn raddol eto rhwng Diwrnod 85 a 94 i ddechrau cyfnod adfer (dynodir gan linellau fertigol toredig).



#### 5.4.6. *Allforiant infertebratau: strwythur cymunedol y drifft*

Casglwyd cyfanswm o 7,372 infertebrat o'r samplau drifft 24 awr. Yn gyffredinol, ar draws blociau a thriniaethau, roedd cynrychiolaeth uwch o'r sbesimenau hynny o ddeiliant tirol (29%) o'i gymharu â'r benthos (samplau Hess: 0.9%). Cafodd 92% o holl anifeiliaid y drifft eu cynrychioli gan ddeg tacson. O'r Diptera nodwyd larfau'r gwybed bustl (Chironomidae), larfau'r Dixidae a larfau'r Simuliidae, yn ogystal â 1,363 o Ddiptera aeddfed ag adenydd (anifeiliaid tirol). Gwelwyd cynrychiolaeth o'r cylion Mai (Ephemeroptera) ar ffurf y Baetidae a'r Ephemerellidae; pryfed y cerrig (Plecoptera) ar ffurf y Leuctridae a'r Nemouridae; ynghyd â 121 o chwilod dŵr Elmidae a 567 cynffon sbonc (Collembola) tirol. Roedd yr 8% arall yn cynrychioli 40 tacson llai cyffredin (Tabl 5.3).

**Tabl 5.3: Rhestr macroinfertebratau'r drifft**

Nifer a deiliad tirol / dyfrol pob tacson a gasglwyd â samplau drifft (rhwyll 500 µm, ~ 24 awr) mewn arbrawf sychder yng nghyfleuster mesocosmau arbrolf Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne.

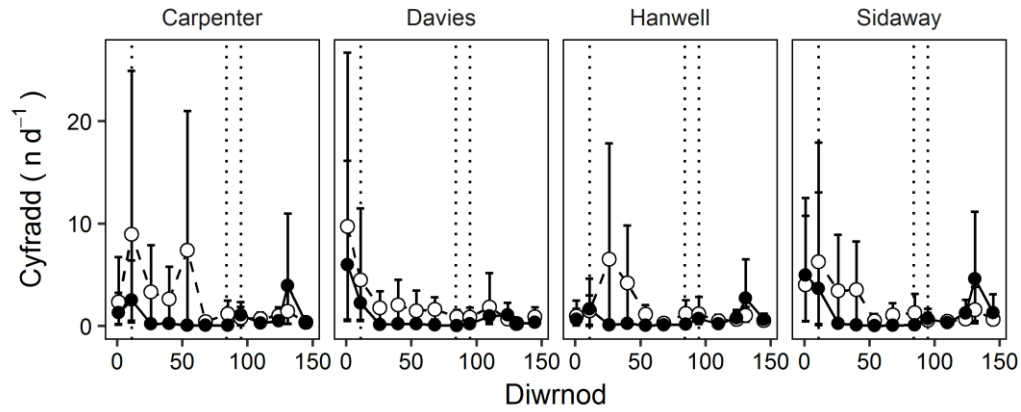
| Tacson            | Deiliad | n    | Tacson            | Deiliad | n   |
|-------------------|---------|------|-------------------|---------|-----|
| Arachnida         |         |      | Hemiptera         |         |     |
| Araneae           | Tirol   | 44   | Aphididae         | Tirol   | 40  |
| Acari             | Tirol   | 1    | Corixidae         | Dyfrol  | 1   |
| Opiliones         | Tirol   | 6    | Hemiptera         | Tirol   | 8   |
| Pseudoscorpionida | Tirol   | 3    | Hymenoptera       |         |     |
| Hydracarina       | Dyfrol  | 7    | Formicidae        | Tirol   | 29  |
| Diplopoda         | Tirol   | 1    | Hymenoptera       | Tirol   | 53  |
| Collembola        | Tirol   | 567  | Plecoptera        |         |     |
| Coleoptera        |         |      | Chloroperlidae    | Dyfrol  | 22  |
| Carabidae         | Tirol   | 2    | Leuctridae        | Dyfrol  | 306 |
| Coleoptera        | Dyfrol  | 3    | Nemouridae        | Dyfrol  | 242 |
| Coleoptera        | Tirol   | 2    | Perlodidae        | Dyfrol  | 16  |
| Dytiscidae        | Dyfrol  | 39   | Plecoptera        | Dyfrol  | 19  |
| Elmidae           | Dyfrol  | 121  | Trichoptera       | Dyfrol  | 1   |
| Hydraenidae       | Dyfrol  | 7    | Hydropsychidae    | Dyfrol  | 5   |
| Hydrochidae       | Dyfrol  | 11   | Hydroptilidae     | Dyfrol  | 2   |
| Hydrophilidae     | Dyfrol  | 1    | Limnephilidae     | Dyfrol  | 59  |
| Scirtidae         | Dyfrol  | 5    | Odontoceridae     | Dyfrol  | 31  |
| Staphylinidae     | Tirol   | 1    | Philopotamidae    | Dyfrol  | 13  |
| Diptera           | Dyfrol  | 18   | Polycentropodidae | Dyfrol  | 24  |
| Diptera           | Tirol   | 1363 | Psychomyiidae     | Dyfrol  | 2   |
| Ceratopogonidae   | Dyfrol  | 1    | Rhyacophilidae    | Dyfrol  | 25  |
| Chironomidae      | Dyfrol  | 397  | Isopoda           | Tirol   | 3   |
| Dixidae           | Dyfrol  | 79   | Oligochaeta       | Dyfrol  | 4   |
| Simuliidae        | Dyfrol  | 1357 |                   |         |     |
| Tipulidae         | Dyfrol  | 28   |                   |         |     |
| Ephemeroptera     |         |      |                   |         |     |
| Baetidae          | Dyfrol  | 2240 |                   |         |     |
| Ephemerellidae    | Dyfrol  | 105  |                   |         |     |
| Heptageniidae     | Dyfrol  | 41   |                   |         |     |
| Leptophlebiidae   | Dyfrol  | 16   |                   |         |     |
| Siphonuridae      | Dyfrol  | 1    |                   |         |     |

Roedd gwahaniaethau amlwg rhwng cyfansoddiad tacsonomaidd drifft y pedwar bloc yn ystod y sychder (*manyglm*: PCT = 233.32,  $p = 0.001$ ). Parhaodd y gwahaniaethau hyn i fisoedd Hydref, Tachwedd a Rhagfyr y cyfnod adfer (yn ôl bloc, *manyglm*: PCT = 330.1,  $p = 0.001$ ). Yn gytûn a'r samplau Hess, gwelwyd fod ymraniad asid / niwtral cyffredinol i'w weld yng nghyfansoddiad tacsonomaidd y samplau drifft. Cofnodwyd cyfraddau drifftio uwch ar gyfer y Baetidae, Elmidae, Ephemerellidae a'r Heptageniidae yng nghafnau amniwtral Carpenter a Davies o'u cymharu â Hanwell a Sidaway. Roedd y patrwm fwy gwasgarog rhwng y pedwar bloc o edrych ar y Nemouridae, tra bod cyfraddau drifftio'r Chironomidae yn uwch ym mlociau asidaidd Hanwell a Sidaway o'u cymharu â'r ddau amniwtral. Roedd cyfansoddiad tacsonomaidd drifft y cafnau arbrofol a rheoli yn debyg cyn y driniaeth (*manyglm*: PCT = 23.97,  $p = 0.608$ ). Cadarnhawyd hynny â dadansoddiad un-newidyn lle'r oedd cyfradd drifftio bob tacson penodol yn debyg rhwng y cafnau rheoli ac arbrofol.

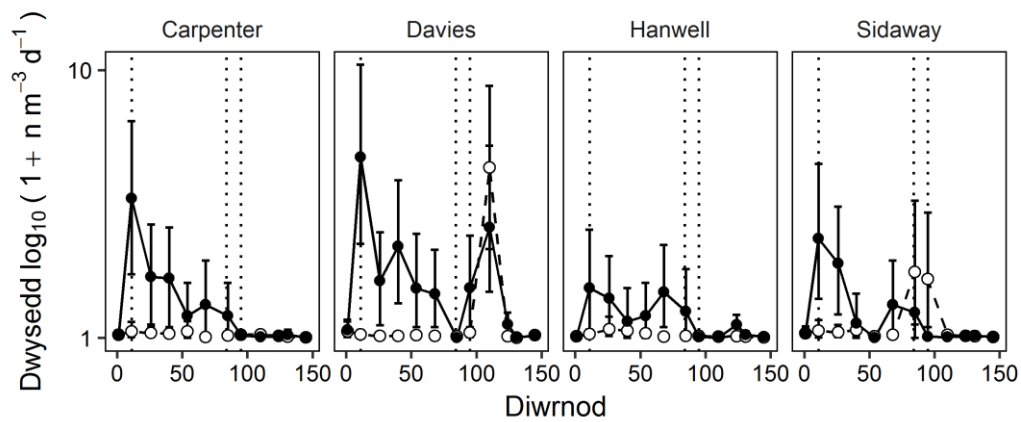
Yn ystod y sychder, roedd cyfansoddiad tacsonomaidd drifft y cafnau arbrofol a rheoli yn wahanol i'w gilydd (rhyngweithiad "diwrnod:triniaeth", *manyglm*: PCT = 122.33,  $p = 0.001$ ), ac roedd effaith y driniaeth yn amrywio yn ôl bloc ("bloc:triniaeth", *manyglm*: PCT = 77.27;  $p = 0.041$ ). Yn wahanol i ddadansoddiad y benthos, canfu dadansoddiad un-newidyn dacsonau penodol oedd yn dylanwadu ar gyfansoddiad tacsonomaidd y drifft. Yn benodol, casglwyd mwy o larfau'r Baetidae (*manyglm*: PCT = 17.343,  $p = 0.016$ ), larfau'r Chironomidae (*manyglm*: PCT = 24.505,  $p = 0.001$ ), Diptera tirol aeddfed (*manyglm*: PCT = 36.082,  $p = 0.001$ ), larfau'r Dixidae (*manyglm*: PCT = 20.86,  $p = 0.006$ ) a larfau'r Simuliidae (*manyglm*: PCT = 26.448,  $p = 0.001$ ) yn y cafnau arbrofol o'u cymharu â'r cafnau rheoli dros gyfanrwydd cyfnod y sychder. Yn ategol, gwelwyd fod perthynas ystadegol arwyddocaol rhwng rhyngweithiad tymor (diwrnod samplu):triniaeth a chyfradd drifftio larfau'r Baetidae (*manyglm*: PCT = 14.931,  $p = 0.007$ ), larfau'r Leptophlebiidae (*manyglm*: PCT = 15.433,  $p = 0.006$ ), larfau'r Nemouridae (*manyglm*: PCT = 29.462,  $p = 0.001$ ) a larfau'r Simuliidae (*manyglm*: PCT = 20.511,  $p = 0.002$ ).

Roedd y lleihad yn niferoedd yr infertebratau oedd yn noflithro (Ffigur 5.12) yn ffwythiant o'r lleihad arllwysiad eithafol oedd yn gysylltiedig â'r driniaeth sychder. Ceir awgrym o ddwysedd noflithro ffoi'r infertebratau hyn o gofio fod arllwysiad y cafnau sychder yn cynrychioli 0.05 % o arllwysiad y cafnau rheoli yn ystod y driniaeth. Gwelir hynny wrth nodi dwysedd cymedrig uwch yr infertebratau oedd yn noflithro pob  $m^3$  o ddŵr, pob diwrnod, yn y cafnau arbrofol o'i gymharu â'r cafnau rheoli yn ystod y sychder (Ffigur 5.13). Mae tueddfryd infertebratau i ddrifftio yn fesur o'r cyfran o'r

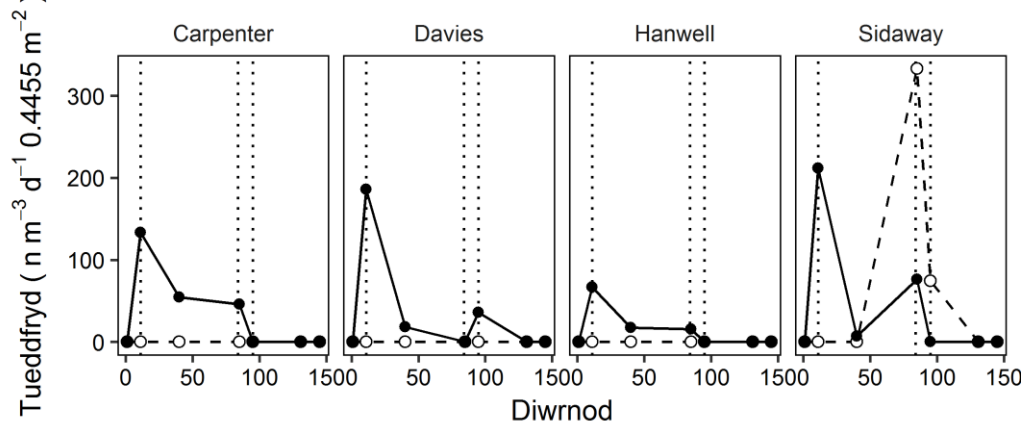
benthos sy'n drifftio, gan reoli am newidiadau i ddwyseddau benthig o ganlyniad i, er enghraifft, ddylanwadau tymhorol. Gwelwyd fod cydran fawr o'r benthos yn noflithro ar ddechrau'r cyfnod sychder, gan leihau wrth i gyfnod y sychder barhau (Ffigwr 5.14). Ail-strwythurwyd cyfansoddiad tacsonomaidd drifft y cafnau arbrofol pan ail-gyflenwyd y llif yn y cyfnod adfer i fod yn debyg i hynny a oedd yn noflithro yn y cafnau rheoli (dylanwad triniaeth, *manyglm*: PCT = 34.7, p = 0.928). Cefnogwyd hynny gan y dadansoddiad un-newidyn lle nodwyd tebygolrwydd arwyddocâd main ar gyfer un tacsâ yn unig (larfau'r Dixidae) i ddangos perthynas rhwng rhyngweithiad "diwrnod samplu:triniaeth" a chyfradd drifftio'r larfau (*manyglm*: PCT = 12.525, p = 0.048).



**Ffigwr 5.12: Cymedr cyfradd noflithro tacsonau yn is yn ystod sychder**



**Ffigwr 5.13: Cymedr dwysedd noflithro tacsonau yn uwch yn ystod sychder**



**Ffigwr 5.14: Tueddfryd infertebratau i noflithro yn uwch yn ystod sychder**

Ffigwr 5.12, 5.13 a 5.14: Cymhariaeth rhwng triniaethau rheoli (smotiau golau, llinell doredig) a sychder (smotiau tywyll, llinell gyfan) ar gymedr cyfradd a dwysedd noflithro tacsonau macroinfertebrataidd ( $\pm$  cyfngwng hyder 95 % o'r cymedr wedi'i ymlwytho) o samplau drifft 24 awr (rhwyll 500  $\mu$ m) mewn pedwar bloc arbrolfol (Carpenter, Davies, Hanwell a Sidaway). Cyfrifwyd tueddfryd ar gyfer cyfanswm niferoedd y drifft ar sail cyfanswm dwysedd y benthos (samplau Hess;  $\leq$  3 diwrnod o'r sampl drifft perthnasol). Dynodir dechrau'r driniaeth sychder gan llinell doredig ar Ddiwrnod 11, diwedd y sychder ar Ddiwrnod 84 a dechrau'r cyfnod adfer (llif llawn ym mhob cafn) ar Ddiwrnod 95. Cafodd y llif ei ostwng ai godi yn raddol dros 10 diwrnod.

## 5.5. Trafodaeth

Mae digwyddiadau hinsoddol eithafol yn anodd a drud i'w hefelychu ar raddfa'r maes, sy'n golygu fod arbrofion empeiraidd (e.e. Perkins *et al.* 2012) yn parhau i fod yn brin ac yn gyfyng ar ran eu graddfa. Ymateba'r cyfraniad cyfredol hwn i alwad ddiweddar Woodward a'i gyd-ymchwilyr (2016) am ddefnydd mesocosmau i lenwi'r bwlch cyfredol rhwng data a theori; hynny er lles datblygu fframwaith cyffredinol ar gyfer rhagfynegi dylanwad digwyddiadau hinsoddol eithafol ar ecosystemau dyfrol llifeiriol. Ategir yr alwad hon gan ddarganfyddiad adolygiad systematig trylwyr o astudiaethau Ewropeaidd lle un o'r prif fylchau tystiolaeth a ddarganfuwyd oedd yr angen brys am ddata ar ymateb biota i sychderau (Piniewski *et al.* 2017). Pwysleisiwyd yn yr adolygiad hwnnw fod mesocosmau yn cynnig ffordd gadarn o syntheseiddio dealltwriaeth o ddylanwad sychder ar organebau dyfrol ar sail dyluniadau arbrofol safonol. Awgrymir fod yr astudiaeth gyfredol yn ddefnyddiol gan iddi lenwi bwlch tystiolaeth arall yn ogystal. Am y tro cyntaf, ceir gwerthusiad o ddata arbrofol o ymateb cymuned ucheldirol i ddylanwad sychder. Yn fwy cyffredinol, dadleua Thompson *et al.* (2013) fod astudiaethau newid hinsawdd yn or-sympl yn ôl eu tueddiad i gynnal cyflyrau â chymedrau sefydlog; hynny, yn hytrach nag ymchwilio i effeithiau cyflyrau eithafol newidiol, megis llifogydd, tonnau gwres a sychderau. Cyfranna'r astudiaeth gyfredol at yr ymdrech ddiweddar i gywiro'r tuedd hwn. Yma, cofnodwyd ymddygiad ffoi infertebratau ar ddechrau sychder (Damcaniaeth 1). Disgrifiwyd newid ac adferiad sydyn strwythur cymuned y benthos (Damcaniaeth 2), gan gynnal dwyseddau'r gymuned infertebrataidd yn ei chyfanrwydd (Damcaniaeth 3). Yn groes i ragdybiaethau, ni fesurwyd amnewidiad cyffredinol anifeiliaid mawr am rai llai (Damcaniaeth 4), gwelwyd bod hynny yn gysylltiedig â chynhaliadau stoc biomas infertebrataidd benthig (gweithred ecosystemaidd allweddol) yn wyneb sychder (Damcaniaeth 5).

Yn gyfredol, o'r astudiaethau a wyddys amdanynt, dim ond data o un arbrawf arall sy'n mesur dylanwad sychder ar gymuned macroinfertebrataidd mewn mesocosmau llifeiriol. Cafodd yr arbrawf cain hwnnw ei gynnal gan Ledger a'i gydweithwyr (2013b) dros gyfnod o ddwy flynedd (mis Mawrth 2000 – mis Chwefror 2002) mewn mesocosmau awyr agored a ddyfriwyd gan nant galch ar safle Labordy Afon y Freshwater Biological Association, yn Dorset, De Lloegr, DU (Ffigwr 5.15). Ar ran dyluniad, mae'r cyfleuster hwnnw yn debyg i fesocosmau arbrofol Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne: pedwar bloc o dri mesocosm llinol (mesocosmau'r Arsyllfa: lled: 0.2 m, hyd: 20 m, dyfnder: 0.2 m; mesocosmau'r Labordy Afon: lled: 0.33 m, hyd: 12 m,

dyfnder: 0.3 m) y gellir rheoli eu llif. Ceir tri prif wahaniaeth rhwng y ddau gyfleuster a ddylid eu nodi cyn cynnal cymariaethau ecolegol. (1) Caiff pedwar bloc Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne eu dyfrio gan bedair nant gwahanol sydd â chyflyrau ffisegemegol unigryw; golyga hyn bod dylanwad sychder yn cael ei brofi yn erbyn pedair cymuned infertebrataidd wahanol. Dyfrir mesocosmau'r Labordy Afon, ar y llaw arall, o un nant; sy'n golygu fod y pedwar bloc yn cynrychioli ailadroddion o'r un gymuned (Harris 2006). (2) Mae'r nentydd sy'n dyfrio mesocosmau'r Arsyllfa yn cario dŵr o ddalgylchoedd ucheldirol a'u cymunedau infertebrataidd arbenigol yn adlewyrchu hynny; cymuned iseldirol a gynhelir gan y ffrwd melin sy'n dyfrio mesocosmau'r Labordy Afon yn Dorset. Yn driw i wahaniaethau llechwedd nentydd yr ucheldir a'r iseldir, mae'r mesocosmau ger Llyn Brianne yn rai rhaeadrol â gris pob medr; tra bod y cafnau yn Ne Lloegr â gwllâu gwastad (Ffigwr 5.15). (3) Efelychir sychder un tymor eithafol dros gyfnod o 75 diwrnod yn yr astudiaeth gyfredol, tra bod arbrawf Ledger *et al.* yn efelychu sychderau misol, byrdymor (6 diwrnod) dros dymhorau amrywiol cyfnod o ddwy flynedd (gweler Lake (2003) am ddiffiniad o sychderau un tymor ac aml-dymor).



**Ffigwr 5.15: Mesocosmau iseldirol Labordy Afon y *Freshwater Biological Association***

Ffotograff o bedwar bloc (tri mesocosm pob bloc) arbrol iseldriol yn Dorset, De Lloegr, DU. Addaswyd o Ledger *et al.* 2013b; hawlfraint y ffotograff: Dr Iwan Jones.

Yn gyffredinol, ymddengys fod ymwrthedd y gymuned infertebrataidd ucheldirol yn gymharol uchel i aflonyddiad sychder un tymor. Bu i anifeiliaid ffoi drwy noflithro ar

ddechrau'r sychder, ond newid cynnil yn unig a welwyd i gyfansoddiad cymunedol y benthos; a'r newid hwnnw wedi ei ddisbyddu o fewn 46 diwrnod o ail-gyflenwi'r llif (gwydnwch uchel). Roedd ymwrthedd cymuned iseldirol arbrawf Ledger a'i gydymchwilyr i sychder aml-dymor yn llawer is. Ni fesurwyd cyfraddau drifftio yn rhan o'r arbrawf hwnnw, ond gwelwyd newid clir i strwythur cymunedol y benthos (Ledger *et al.* 2012).

Gellir meddwl am y mesocosmau arbrofol a ddefnyddiwyd yn yr astudiaeth gyfredol fel adrannau cynefinol bychain, fel rhan o fasn afon ehangach. Bu adferiad (gwydnwch) y gymuned fenthig yn gymharol sydyn. Cafodd yr adferiad hwn ei hyrwyddo gan dri modd posibl o ail-gytrefu: mudiad o'r swbstrad, dodwy o'r aer a noflithriad o'r nentydd oedd yn dyfrio'r mesocosmau (Waters 1964; Williams a Hynes 1976). Ni ystyriwyd ei fod yn bosib i ail-gytrefu gymryd lle trwy fudedd i fyny'r nant gan fod y dŵr yn disgyn yn rhydd o biben ar waelod y mesocosmau yn ôl i'r nant; hynny yw, cwmp rhy fawr i alluogi anifeiliaid ddringo o'r nant i'r mesocosm. Roedd nentydd heb eu haflonyddu yn darparu ffynhonnell barod o ail-gytrefwyr; hynny fel y gall fod yn wir mewn sychder naturiol. Pwysleisir fodd bynnag, fel y gwna Ledger *et al.* (2012), y gall canlyniadau o arbrofion fel hyn fod yn geidwadol o ystyried fod sychderau, yn nodweddiadol, yn sychu ardaloedd eang ac felly bydd ffynonellau o ail-gytrefwyr yn fwy gwasgarog na brofwyd yn yr astudiaeth hon.

Maint corff yw echel unigol bwysicaf bioamrywiaeth (Brown *et al.* 2007). Mae bron pob nodwedd organeb, o'i strwythur a'i gweithred ar lefel moleciwlaidd, cellol a organeb-gyfan, i ddynmeg ecolegol ac esblygiadol, yn cydberthyn â maint corff (e.e. Peters 1983; Calder 1984; Schmidt-Nielsen 1984). Yn y cafnau yn Dorset, cofnodwyd amnewidiad cyffredinol tacsonau mawr, strategyddion-*K*, oedd â gwell mynediad at 'lochesi maint' rhag ysglyfaethwyr (hynny yw, rhy fawr i'w bwyta) am strategyddion-*r* ac iddynt gyrff llai oedd â mynediad i lochesi ffisegol rhag sychder (e.e. gwagleoedd yn y swbstrad) (Ledger *et al.* 2013a). Ar sail theori ecolegol cyffredinol ac arsylwadau Ledger a'i gydweithwyr, rhagdybiwyd y byddai trosiant tebyg yn y gymuned ucheldirol i ddylanwad sychder yn yr astudiaeth gyfredol. Nid felly. Ni fesurwyd newid ystadegol arwyddocaol i faint cymedrig y gymuned infertebrataidd yn ôl gwerthoedd màs cyrff unigol. Yn gyffelyb â hynny, ac yn groes i ddarganfyddiadau yn y system iseldirol, ni welwyd newid i ddwyseddau infertebrataidd fel cymuned gyfan nac yn ôl ymatebion tacson-benodol.

Canlyniad dwyseddau a strwythur maint sefydlog y gymuned macroinfertebrataidd ym mesocosmau Arsyllfa Nentydd Llyn Brianne oedd cynhaliath gweithred

ecosystemaidd y benthos, gan gynnal stoc biomas cyson rhwng triniaethau rheoli a sychder. Nododd Ledger *et al.* (2013a) iddynt fesur lleihad o 64 % i fiomas ysyddion cynradd, a lleihad o 88 % i fiomas ysglyfaethwyr infertebrataidd yn y mesocosmau dan sychder o gymharu â'r cafnau rheoli. Casglwyd ychydig llai o DOGB yn ystod cyfnod sychder yr astudiaeth gyfredol, tra bod màs DOGM wedi'i gynnal yn sefydlog. Adrodda Ledger *et al.* (2013a) sefydlogrwydd cynhaliaeth adnoddau maethol craidd.

Mae rhagfynegi dylanwad cynnydd yn amledd a gerwinder digwyddiadau hinsoddol eithafol megis sychder yn flaenoriaeth ar gyfer ecolegwyr dyfrol; ymofyn hyn am wybodaeth am fecanweithiau ymatebion cymunedau biotig (Woodward *et al.* 2016). Mewn mesocosmau iseldirol, dengys fod sychder wedi achosi colled dolennau a thacsonau gan achosi dymchweliad rhannol gweoedd bwyd (Woodward *et al.* 2012; Ledger *et al.* 2013a), ond fod creiddiau gweoedd bwyd â'r gallu i ailstrwythuro a chynnal cadernid yn wyneb aflonyddiad pellach (Lu *et al.* 2016). Y cam defnyddiol nesaf fyddai darganfod ymwrthedd a gwydnwch gweoedd bwyd cymunedau arbenigol nentydd yr ucheldiroedd i aflonyddiadau eithafol megis sychder. Datblygiad ymarferol ar gyfer yr astudiaeth gyfredol fyddai defnyddio'r data tacsonomaidd a gasglwyd i adeiladu gweoedd bwyd ar sail rhyngweithiadau gwybyddus tacsonau yn ôl meddalwedd *WebBuilder* (Gray *et al.* 2015).

Mewn adolygiad systematig, casglodd Piniewski a'i gydweithwyr (2017) erthyglau oedd yn adrodd dylanwad sychderau ar boblogaethau macroinfertebrataidd mewn nentydd naturiol. Adnabuwyd patrwm cyffredinol, lle bu nifer infertebratau a chyfoeth tacsonomaidd infertebrataidd yn is fel ymateb i sychder mewn astudiaethau ledled Ewrop. Yn fwy penodol i'r astudiaeth gyfredol, achubodd Cowx *et al.* (1984) ar y cyfle i astudio dylanwad haf eithriadol sych 1976 ar gymuned macroinfertebratau (a physgod) Afon Dulas, rhagnant ucheldirol i Afon Hafren ger Tylwch, canolbarth Cymru, DU. Blwyddyn wedi'r sychder yn 1976 cofnodwyd niferoedd is o rywogaethau pryfed (Insecta) amlwg gan gynnwys *Rithrogena semicolorata*, *Esolus parallepipedus*, *Ephemerella ignita*, *Leuctra inermis*, *Isoperla grammatica* a *Amphinemura sulcicollis*, yn ogystal ag aelodau o'r Plecoptera a'r Coleoptera. Yn ogystal, a gan gydweddu â darganfyddiadau Ledger a'i grŵp ymchwil ym mesocosmau Dorset, cofnodwyd cynnydd sylweddol i'r nifer o larfau Simuliidae a Chironomidae (strategyddion *r*) yn Afon Dulas wedi sychder. Nid yw canlyniadau'r bennod hon yn cytuno, felly, â disgwyliadau cyffredinol am amnewidiad anifeiliaid mawr am rai bach yn wyneb aflonyddiad sychder.



Tra bod newid cynnil yng nghyfansoddiad cymunedol cyffredinol y benthos wedi ei fesur yn yr astudiaeth gyffredol, mae ymwrthedd ymddangosiadol y tacsonau unigol a astudiwyd yn ymofyn mecanwaith esboniadol. Awgrymir tri rheswm posibl am ymwrthedd ymddangosiadol y gymuned ucheldirol: (1) fod gan gymunedau ucheldirol ymaddased ar gyfer llifoedd mwy amrywiol; (2) bod effaith sychder aml-dymor yn hwy nag effaith sychder un tymor; a (3) bod gwahaniaethau rhyng-floc mesocosmau'r Arsyllfa yn cymhlethu a chuddio dylanwad y sychder ar y gymuned infertebrataidd ucheldirol, o'i gymharu â blociau ailadroddol tebyg y Labordy Afon yn Dorset. Astudiodd Durance a Ormerod (2007) gymuned infertebrataidd nentydd amrywiol Arsyllfa Llyn Brianne dros gyfnod o 25 mlynedd. Un arsylwad o'r gwaith oedd bod y gymuned infertebrataidd yn ymwrthol i ddylanwad llifoedd amrywiol o flwyddyn i flwyddyn. Mae un o ganfyddiadau awduron yr astudiaeth am hynny, fod cymunedau nentydd yr ucheldiroedd yn wydn i amrywiaethau llif mawr, yn cytuno â chasgliad y bennod hon. Ni ddylid cyffredinoli ar sail y data cyffredol, ond mae'r posibilrwydd fod ecosystemau dyfrol yr ucheldiroedd yn wydn i amrywiaethau llif eithafol o dan gyfundrefn hinsawdd newydd y dyfodol yn debygol o fod er lles cynhaliaeth gweithred a gwasanaethau ecosystemau. Dyma destun diddorol ar gyfer ymchwil pellach.

## **5.6. Casgliad**

Yn y bennod hon, disgrifir ad-drefniant cynnil cymunedau macroinfertebrataidd ucheldirol, a'u hadferiad cyflym mewn mesocosmau rhaeadrol unigryw. Bu allforiad sylweddol o anifeiliaid oedd yn ffoi ar ddechrau aflonyddiad y sychder, ond cynhaliwyd gweithred ecosystemaidd craidd (stoc biomas). Yn groes i ymatebion gan gymunedau infertebrataidd iseldirol, ni thystiwyd newid i faint (màs corff) cymedrig anifeiliaid dan gyflyrau sychder. Cynrychiola'r cyfraniad hwn peth o'r dystiolaeth arbrofol gyntaf o ddylanwad sychder ar gyfansoddiad cymuned macroinfertebrataidd ucheldirol, gan arddangos cadernid cynhaliaeth gweithred ecosystemaidd.

## **6. Pennod 6: Cyfyngiadau bioegniol sychder eithafol mewn rhywogaeth enghreifftiol: y brithyll brown.**

### **6.1. Crynodeb**

Mae modelau hinsoddol yn rhagfynegi cynnydd yn amledd a gerwinder digwyddiadau hinsoddol eithafol, gan gynnwys sychderau, o fewn y gylchred hydrolegol. Er bod y brithyll brown â dosraniad byd-eang, ac yn un o'r pysgod sydd wedi eu hastudio orau ar y Ddaear, mae dylanwad sychder ar gyllideb bioegniol y pysgodyn hwn yn parhau i fod yn anhysbys. Gan ddefnyddio mesocosmau rhaeadrol unigryw, caiff effaith sychder 75 diwrnod ei feintoli ar gyllideb egni pariaid *Salmo trutta* (0+). Gwnaethpwyd hynny drwy ddsbarthiad o nodweddion gweithredol ysglyfaeth y pysgod a mesuriadau uniongyrchol o gyfraddau twf y pariaid. Ymddengys fod sychderau yn gysylltiedig â chyflenwad bwyd diffygiol a chyfraddau twf cyfyngedig ar gyfer brithyllod ifanc. Trwy ddylanwadu ar ddarpariaeth bioegniol nentydd yr ucheldiroedd, gall sychderau hinsoddol eithafol ddylanwadu ar uwch-brosesau poblogaethau salmonid.

### **6.2. Cyflwyniad**

Yn sylfaenol, caiff cyllideb egni organeb ei reoli gan gaffaeliad a gwariant egni; gyda'r gwahaniaeth yn cael ei fynegi fel croniad neu golled egni. Mynegir croniad egni anifail ar ffurf meinwe newydd, naill ai i gorff yr organeb honno neu drwy gynhyrchiant gametau ac epil. Trwy reoli twf, caiff cyllideb egniol pysgodyn ddylanwad ar amrediad eang o uwch-brosesau sy'n allweddol i ffitrwydd rhywogaeth. Cynnwys hyn gyfradd goroesi, oed a maint aeddfedrwydd, hirhoedledd, gallu cystadleuol a llwyddiant atgenhedlol.

Caiff cynhyrchiant salmonidau nantyddol ei reoli gan dri ffactor amgylcheddol: cyflyrau ffysiogemegol ffafriol, cynefinoedd addas a chyflenwad bwyd digonol (Poff a Huryn 1998). Gall sychderau ddylanwadu ar y dair elfen amgylcheddol hon drwy drawsnewid colofn ddŵr llifeiriol gyson i gyfres o byllau llonydd, cynnes, hypocsig. Rhagfynega modelau hinsoddol gynnydd yn amledd a gerwinder sychderau eithafol ar gyfer tiriogaethau salmonidau'r Iwerydd (Jonsson a Jonsson 2009). Her sy'n codi ei phen wrth gesio modelu effaith sychderau ar gyllid egniol y pysgod teleost hyn yw nad yw pob ysglyfaeth mor hygyrch â'i gilydd (De Crespin De Billy a Usseglio-Polatera 2002; Pennod 4 am drafodaeth arweiniol). Mae ysglyfaeth o genws y *Baetis*, er enghraifft, yn nofio'n wirfoddol yn y golofn ddŵr ac yn gwneud eu hunain yn amlwg ar wely'r nant. Ar y llaw arall, bydd chwilod yr Elmidae yn cuddio ymysg y graen; ni

fyddant yn noflithro'n wirfoddol (Rader 1997). Nôd gyntaf yr astudiaeth hon yw cynyddu manylder y wybodaeth gyfredol o effaith sychder ar argaeledd ysglyfaeth (caffaeliad egni) i eogiaid, *Salmo salar*, a brithyllod, *S. trutta*. Eir ati i wneud hyn drwy ddsbarthu infertebratau yn ôl casgliad o nodweddion sy'n rhagfynegi hygyrchedd troffig tacsonau amrywiol, megis y tuedd i nofio yn y golofn ddŵr. Nerth dosbarthu ysglyfaeth yn ôl y nodweddion gweithredol hyn, yn hytrach na tacsonomi Linnaeaid, yw'r gallu i werthuso dylanwad aflonyddiad (e.e. sychder) ar y grwpiau ysglyfaeth sydd fwyaf hygyrch, ac felly, bwysicaf o safbwynt cyllideb egni pysgod. Yn ail, dilysir rhagdybiaethau â mesuriadau o gyfradd twf brithyllod (*S. trutta*) yn ystod sychder eithafol. Credir y cynrychiola'r cyfraniad ymchwil hwn y tro cyntaf i bysgod gael eu hastudio mewn mesocosmau rhaeadrol.

Defnyddia salmonidau eu golwg i hela eu prif ysglyfaeth, sef infertebratau sy'n noflithro (Elliott 1973). Gall cyflyrau amgylcheddol ddylanwadu ar hygyrchedd ysglyfaeth i bysgod. Er enghraifft, bydd effeithlonrwydd porthianna salmonidau yn lleihau gyda chynnydd yng nghymhlethdod strwythurol cynefin (Wilzbach *et al.* 1986; Dahl a Greenberg 1997), neu mewn parthau microgynefinol sydd â chyflymder dŵr uchel iawn (Nislow *et al.* 1998). Mewn modd cyffelyb, gall diet pysgodyn gael ei ddylanwadu gan nodweddion morffolegol infertebratau sy'n eu gwneud yn llai amlwg yn weledol ac yn llai hwylus i'w trin fel ysglyfaeth (Ringler 1985; Reiriz *et al.* 1998; MacNeil *et al.* 1999; Bollache *et al.* 2006). Nid yw pob infertebrat y benthos neu'r golofn ddŵr â'r un hygyrchedd ysglyfaethol i salmonidau; o ganlyniad, ni fyddai cynhyrchiant uwch o dacsonau 'anhygyrch' o reidrwydd yn dylanwadu ar dwf pysgod (Wootton *et al.* 1996).

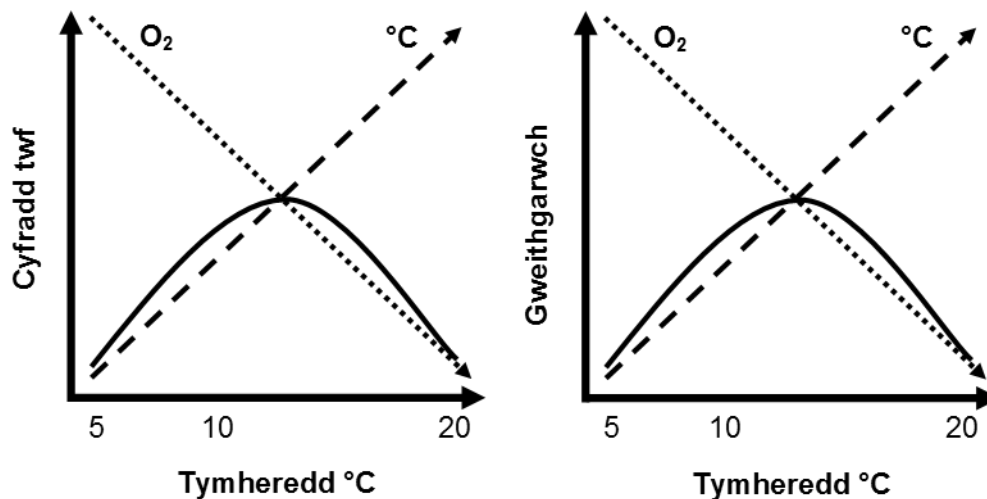
Er mwyn meintoli 'cyflenwad bwyd digonol' (un o'r tri ffactor amgylcheddol sy'n rheoli cynhyrchiant) mae angen ystyried argaeledd pob cydran bwyd (hynny yw, y nifer o infertebratau gwahanol) ynghyd â hygyrchedd y gydran honno i ysglyfaethwyr (Poff a Huryn 1998). Mae salmonidau yn bwydo ar amrywiaeth eang o ysglyfaeth, yn aml ceir gwahaniaethau rhwng pysgod unigol yn ogystal. Trwy ddistyllu nifer o dacsonau infertebrataidd i ychydig o nodweddion gweithredol, gellir ennill dealltwriaeth fecanyddol o ffafriaeth ysglyfaethol salmonidau (De Crespín De Billy a Usseglio-Polatera 2002). Er enghraifft, cyniga Ware (1973) fodel o ffafriaeth ysglyfaethol gan salmonid yn seiliedig ar pa mor weledol-amlwg oedd infertebrat yn ôl y nodweddion: gweithgarwch, amlygedd, dwysedd a maint. Ers hynny, mae Rader (1997) a De Crespín De Billy a Usseglio-Polatera (2002) wedi cyflwyno cronfeydd data manylach o nifer o nodweddion gweithredol sy'n disgrifio infertebratau yn ôl nodweddion cynefinol, ymddygiadol a morffolegol. Mae dosbarthu ysglyfaeth salmonidau yn y dull

hwn yn rhyddhau'r ymchwilydd o gyfyngiadau dadansoddiad tacsonomaidd, gan alluogi, yn hytrach, astudiaeth uniongyrchol o'r dolenni sy'n ffurfio perthynas ysglyfaeth-ysglyfaethwr. Dengys ymchwil nad sydd eto wedi'i gyhoeddi gan Gutiérrez-Cánovas *et al.* fod dosbarthu infertebratau yn ôl grwpiau gweithredol wedi seilio ar restr o'u nodweddion yn bwrw amcan biomas gwell o frithyllod *S. trutta* ac eogiaid *S. salar* na data tacsonomaidd. Daw'r canfyddiad hwn ar gefn data wedi eu casglu am facroinfertebratau a physgod dyfroedd llifeiriol ucheldiroedd gogledd a chanolbarth Cymru, DU. Trafodwyd eisoes (Penodau 3 a 4) cydberthynas bositif arllwysiad a chynnwys infertebratau'r golofn ddŵr. Mae'n debygol bydd llai o fwyd ar adegau o sychder, ac, o bosib, bydd yr ysglyfaeth sydd yn weddill yn llai hygyrch i bysgodyn o gymharu â'r sefyllfa mewn cyflyrau llif llawn.

Yn ogystal â dylanwadu ar gaffaeliad egni pysgod nantyddol, mae potensial gan sychder eithafol i effeithio ar 'ochr arall' y glorian fioegniol. Pan fydd llif nant yn cael ei leihau i byllau llonydd mewn sychder tymhorol, bydd tymheredd y dŵr yn codi (Pennod 5). Er gallu tagellau i weithredu fel cyfnewidyddion gwres, fel poikilothermau, cyfyng yw gallu pysgod i reoli tymheredd eu cyrff (Jonsson a Jonsson 2009). Bydd rhan helaeth o ddargludedd gwres yn digwydd trwy fur y corff (Elliott 1981). Trwy newid yr egni cinetig sydd ar gael i gynnal adweithiau biocemegol, caiff cyfraddau metabolaid pysgod eu dylanwadu yn uniongyrchol gan dymheredd eu hamgylchedd (Wootton 1998). O ganlyniad, disgwylir i gyfradd metabolaid pysgod teleost godi gyda thymheredd y dŵr yn ystod sychder, gan ddefnyddio mwy o egni i gynnal prosesau craidd.

Disgrifia Elliott *et al.* (1995) fodel ar gyfer twf brithyll *S. trutta* ar sail arbrawf lle cafodd tymheredd y dŵr ei newid mewn labordy tra'n sicrhau bod gan y pysgod ddigonedd o fwyd. Gwelwyd fod cynyddu'r tymheredd yn cynyddu cyfradd twf y pysgod, hynny, hyd nes cyrraedd brig y cyfradd twf; o gynyddu'r tymheredd ymhellach lleihawyd cyfradd tyfu'r pysgod (Ffigwr 6.1). Rheswm posib am y brig hwn mewn cyfraddau twf yw diffyg crynodiad ocsigen hydawdd; lleiha' crynodiad ocsigen hydoddedig wrth i dymheredd dŵr godi (Brett 1952; 1964). Yn ogystal, ymddengys fod cyfradd bwydo salmonidau yn cynyddu gyda thymheredd; ceir tymheredd optimwm tebyg ar gyfer cyfraddau twf a bwydo (Jonsson *et al.* 2001). Mae cyfuniad tymereddau uchel a chyflenwad bwyd cyfyngedig yn ystod sychder, felly, yn gwneud rhagdybio ymateb twf salmonidau yn anodd (Jonsson a Jonsson 2009). Yn ategol, gall cynnydd mewn tymheredd hefyd gynyddu gweithgarwch salmonidau ac felly eu defnydd egni; nes cyrraedd trothwy tymheredd optimwm (Svendsen *et al.* 2004; Salinger a Anderson 2006). Mewn modd tebyg, daw cyfle i adennill egni gan fod dim angen nofio yn erbyn

llif nant, gyda'r pysgod yn debygol o fod wedi eu hynysu mewn pwll dŵr llonydd. Gall sychder hinsoddol, felly, ddylanwadu ar nifer o agweddau cyllideb egni salmonid ar yr un pryd. Beth sydd ei angen yn gyfredol yw data empeiraidd sy'n meintoli cyfanswm yr holl ddylanwadau unigol ar dwf pysgod mewn sychder enghreifftiol gyda rheolyddion ystyrlon.



**Ffigwr 6.1: Perthynas tymheredd a crynodiad O<sub>2</sub> â buddsoddiad egni salmonidau**

Cynrychioliad cysyniadol o berthynas tymheredd (dynodir gan '°C') a chrynodiad ocsigen ('O<sub>2</sub>') gyda cyfradd twf a gweithgarwch megis nofio (llinellau cyflawn) ar gyfer brithyll brown dyfroedd llifeiriol. Addaswyd o Elliott *et al.* 1995.

Yma, defnyddir cyfres o fesocosmau rhaeadrol unigryw i ddynwared sychder eithafol i feintoli effaith aflonyddiad hinsoddol ar gyflenwad bwyd pysgod salmonid ucheldirol yn ôl grwpiau gweithredol infertebrataidd. Ychwanegir i gronfa nodweddion gweithredol Gutiérrez-Cánovas *et al.* dacsonau tirol er mwyn meintoli effaith sychder ar y ddarpariaeth fwyd gyflawn. Yn ategol, dilysir rhagdybiaethau â mesuriadau o gyfradd twf pariaid *S. trutta* (Carfan 0+) yn ystod yr un cyflyrau sychder. Profir y damcaniaethau: (1) bydd cyfanswm y nifer o ysglyfaeth yn is mewn sychder na llif llawn; (2) bydd cyfanswm màs infertebratiadd yn is mewn sychder nag mewn llif llawn o ganlyniad i leihad niferoedd a màs cymedrig infertebratau is; (3) bydd cydran tirol yr ysglyfaeth infertebrataidd yn fwy yn ystod sychder na llif llawn; (4) bydd cydran fwy o'r driff yn cynnwys ysglyfaeth â hygyrchedd isel mewn sychder nag mewn llif llawn yn ôl nodweddion gweithredol; (5) bydd pysgod yn fforio eu tiriogaethau yn llai aml; a (6) bydd cyfradd twf brithyllod mewn sychder yn is.

### **6.3. Methodoleg**

#### **6.3.1. Dyluniad arbrofol**

Cynhaliwyd yr arbrawf ym mesocosmau rhaeadrol Arsyllfa Llyn Brianne, cyfleuster unigryw sy'n galluogi ymchwilwyr i drin a rheoli agweddau o ecosystem ddyfrol sy'n gynrychiadol o nentydd ucheldirol a'u cymhlethdod ecolegol. Ceir disgrifiad manwl o'r safle, y dyluniad arbrofol a'r cyflyrau ffisegemegol ym Mhennod 5. Yn fras, cynhaliwyd arbrawf sychder dros 22 wythnos (Mehafin-Rhagfyr 2015) mewn pedwar bloc o ddau mesocosm nantyddol llinol, rhaeadrol (lled: 0.2 m, hyd: 20 m, dyfnder: 0.2 m) wedi'u lleoli yn yr awyr agored; roedd pob bloc yn gyfagos i nant oedd yn cyflenwi dŵr heb ei hidlo. Sefydlwyd cymunedau biotig naturiol trwy lifo dŵr drwy'r mesocosmau am o leiaf chwe mis, cyn lleihau arllwysiad un mesocosm i 0.05% arllwysiad y llall ym mhob bloc; hynny am 75 diwrnod i efelychu sychder hydrolegol tymhorol eithafol. Cynhaliwyd y driniaeth yn ystod tymor yr haf fel bod amseriad yr hydrograff, yn ogystal a'i erwinder, yn dynwared llifoedd nantyddol yn ôl rhagdybiaethau y Panel Rhynglywodraethol ar Newid Hinsawdd (IPCC 2012; Burkett *et al.* 2014). Yn ystod y sychder, gostyngodd y llif arwynebol a sychodd y swbstrad oedd wedi'i ddinoethi o dan ddylanwad tymheredd a symudiad naturiol yr aer. Roedd dŵr wedi parhau mewn pyllau a gwagleoedd o dan arwynebedd y swbstrad. Llwyddwyd i gynnal llif y mesocosmau rheoli trwy gydol yr arbrawf heblaw am gyfnodau byr pan rwystrodd dail y llif o'r gronfa ddŵr oedd yn dyfrio'r mesocosmau.

#### **6.3.2. Cyflwyno a monitro brithyllod**

Amcanwyd dwysedd naturiol *S. trutta* nantyddol ( $0.6$  pysgodyn  $m^{-2}$ ) drwy asesu parth 50 m o nant LI6 (Ffigwr 5.1) gan ddefnyddio dull electrobysgota meintiol safonol tri-cynnig (manyllion dull ym Mhennod 3; Seber a Le Cren 1967). Cyflwynwyd tri brithyll i bob mesocosm (dwysedd pysgod:  $0.8$   $m^{-2}$ ) wyth diwrnod cyn y driniaeth llif. Ystyriwyd y dwysedd hwn yn gymharol i ddwyseddau naturiol (Milner *et al.* 1978), tra'n cynnal y pŵer ystadegol o gael tri anifail ym mhob mesocosm. Cafodd pob pysgodyn ei bwyso (SF400D Electronic Compact Scale: Cynhwysedd: 500g x 0.01g ISO) a'i fesur (hyd fforch) o dan anaesthetig (Tricaine Pharmaq (Trican methan sylffonad); PHARMAQ Ltd, DU) (dan Drwydded y Swyddfa Gartref (PPL 30/2667)). Dosbarthwyd pysgod i'r mesocosmau mewn manau penodol. Casglwyd y pysgod â'r dull electrobysgota meintiol safonol tri-cynnig ar Ddiwrnod 81, 99 a 129 o'r arbrawf i fonitro cyfraddau twf, a'u hail cyflwyno i'r mesocosmau yn y man y'u darganfuwyd. Cyflwynwyd dau bysgodyn newydd ar Ddiwrnod 16 i ailgyflenwi wedi colledion. Er mwyn meintoli symudedd brithyllod, roedd adran waelod pob mesocom (y pen lle

arllwysa'r dŵr o'r cafn dur) wedi ei glirio o raean i wella gwelededd, a hosan (rhwyll: > 0.5 mm) wedi'i chysylltu i'r bibell ddŵr oedd yn gadael y cafn. Recordiwyd y nifer o bysgod oedd yn bresennol yn y trap hwn yn ddyddiol yn ystod y cyfnodau y cafodd y llif ei newid yn raddol ar ddechrau a diwedd y sychder, ac yn wythnosol yn ystod cyfnodau sefydlog. Ail ddosbarthwyd pysgod, yn ôl trefn, ym mhen isaf, canol a phen uchaf y mesocosmau yn ôl y nifer o bysgod a gasglwyd.

### **6.3.3. Samplu a phrosesu**

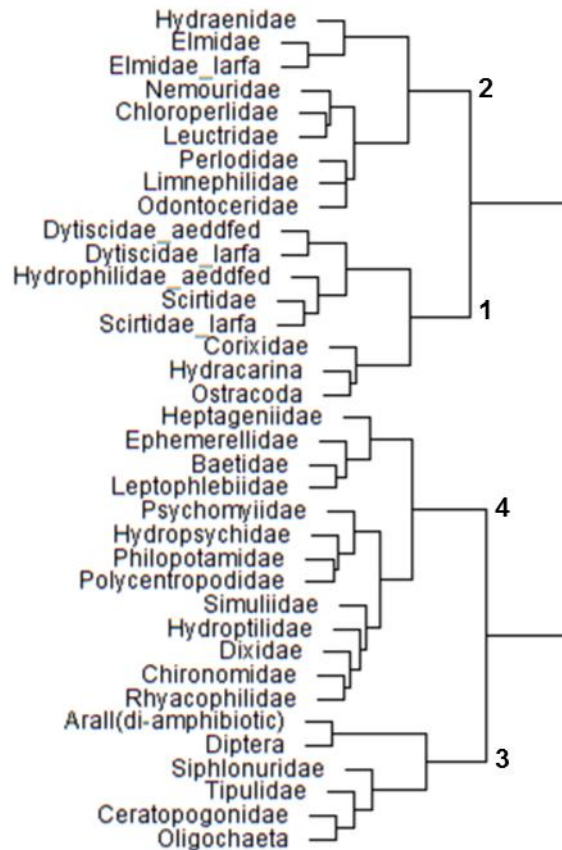
I feintoli effaith sychder ar gyllideb ysglyfaeth salmonidau, casglwyd macroinfertebratau drwy osod rhwydi 500 µm dros allbwn dŵr pob mesocosm er mwyn hidlo y golofn ddŵr gyfan am gyfnod o ~ 24 awr. Casglwyd cyfanswm noflithriad un gwawr ac un machlud ym mhob sampl. Storiwyd y samplau yn y maes mewn ethanol (>70%). Adnabuwyd infertebratau i lefel teulu (oni bai am larfau oedd heb ddatblygu'n llawn neu fod yn dacson cudd, adnabuwyd anifeiliaid tirol i lefel urdd) trwy ddefnyddio rhestr o dacsonau sy'n gyffredin yn nentydd yr Arsyllfa i effeithloni'r broses. Amcanwyd màs tacsonau yn ôl data a gasglwyd ar gyfer anifeiliaid y benthos (Pennod 5), gan ddefnyddio màs o'r lenyddiaeth cyhoeddedig (Atodiad 5) ar gyfer tacsonau oedd yn brin yn swbstrad y mesocosmau (hynny yw,  $n < 2$ ).

### **6.3.4. Clustnodi nodweddion gweithredol**

Casglwyd cronfa ddata o nodweddion (maint a siâp corff, tueddiad i noflithro, mudoledd a ffafriaeth gynefinol) sy'n dylanwadu ar hygyrchedd infertebratau fel ysglyfaeth i ysglyfaethwyr dyfrol megis *S. salar* a *S. trutta*, hynny yn dilyn Rader (1997), De Crespin De Billy a Usseglio-Polaterra (2002), a Gutiérrez-Cánovas *et al.* (wrthi'n paratoi). Defnyddiwyd dull codio niwlog (Chevenet *et al.* 1994) i ddistyllu'r holl ddata biolegol oedd ar gael ar gyfer is-dacsonau teuluoedd i ennill gwerth affinedd pob teulu ar gyfer pob nodwedd. Cyn dadansoddi'r data, troswyd data codio niwlog i ganrannau o affinedd ar gyfer pob nodwedd. Mae'r broses hon yn safoni'r gwahaniaethau posib rhwng gwerthoedd codio (hynny yw, lle bu cyfanswm rhes yn wahanol ar gyfer tacsonau a nodweddion).

Amcanwyd perthnasedd tacsonau i ddosbarthiadau gweithredol yn ôl dull aml-nodwedd i glustnodi infertebratau i grwpiau gweithredol (GG) ar sail matrices annhebygrwydd, gan ddefnyddio dull clystyru Ward. Gwiriwyd am werthoedd eigen annegyddol â Dadansoddiad Prif Gydrannau ar sail y matrices annhebygrwydd hwn i asesu gwedduster y dull clystyru. Dehonglwyd dendogram (Ffigwr 6.2) i gynhyrchu pedwar grŵp i gynrychioli y gwahanol fathau o effeithiau gweithredol ar gyfer

ysglyfaeth infertebrataidd. Gwelwyd cytundeb cadarn rhwng dosbarthiad Gutiérrez-Cánovas *et al.* (wrthi'n paratoi) a'r astudiaeth hon.



**Ffigwr 6.2: Pedwar grŵp o infertebratau yn ôl tebygrwydd nodweddion gweithredol**

Dendrogram o berthynas tacsonau infertebrataidd yn ôl matrices o nodweddion gweithredol sy'n amcan hygyrchedd infertebratau i bysgod salmonid (*S. trutta* a *S. salar*) fel ysglyfaeth. Ystyrir tacsonau sy'n perthyn i Grwpiau 1 a 3 i fod llai hygyrch nag anifeiliaid Grwpiau 2 a 4.

### 6.3.5. Dadansoddiad ystadegol

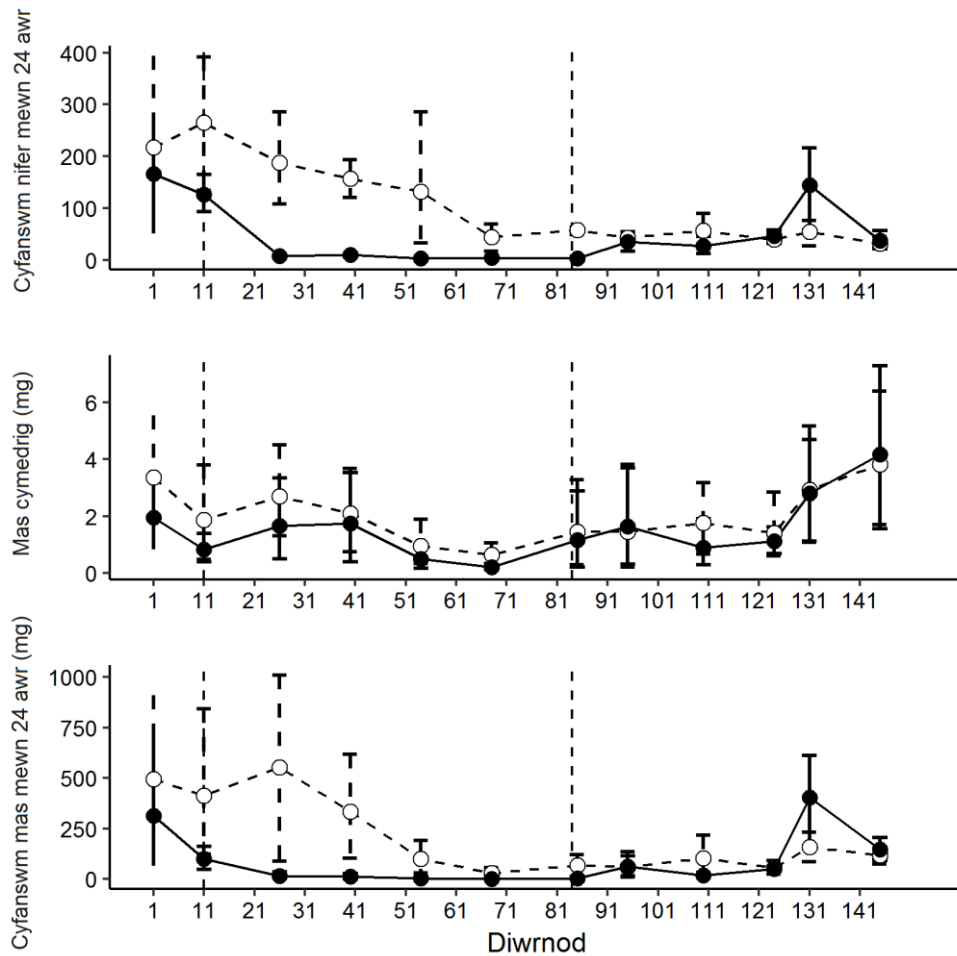
Perfformiwyd yr holl ddadansoddiadau data gan ddefnyddio meddalwedd R fersiwn 3.3.2 (R Core Team 2016). Dadansoddiwyd effaith sychder ar niferoedd a chyfanswm mäs ysglyfaeth gyda model llinol cyffredinol cymysg (MLICC; pecyn “lme4”, Bates *et al.* 2015) lle bu “triniaeth” (cafn rheoli / sychder) a “chyfnod” (cyn sychder, sychder neu adfer), a'r rhyngweithiad rhwng “triniaeth” a “chyfnod” yn ffactorau sefydlog; roedd y bloc arbrefol yn ffactor ar hap. Trawsnewidiwyd y newidyn  $y$  i  $\log(y+1)$  i ateb gofynion modelau llinol. Profwyd am effaith sychder ar gymhareb infertebratau tirol:dyfrol, a grwpiau hygyrch, gyda model llinol cyffredinol (MLIC) ar ffurf teulu binomial â dolen “logit”. Defnyddiwyd model llinol cyffredinol binomial negyddol (MLIC.BN; pecyn “MASS”, Venables a Ripley 2002) i amcan effaith sychder ar



gyfradd fforio tiriogaeth y brithyllod. Dadansoddwyd data'r brithyllod 0+ yn unig ar gyfer asesu cyfraddau twf. Grwpiwyd y pysgod i gyfnodau samplu "cyn y sychder" a "diwedd y cyfnod adfer" yn ôl y pwynt amser agosaf. Defnyddiwyd prawf Mann-Whitney i brofi effaith y sychder ar fàs a hyd fforch pysgod y cafnau rheoli a sychder ar wahân, gan brofi am effaith rhwng dechrau a diwedd cyfnod yr astudiaeth.

#### **6.4. Canlyniadau**

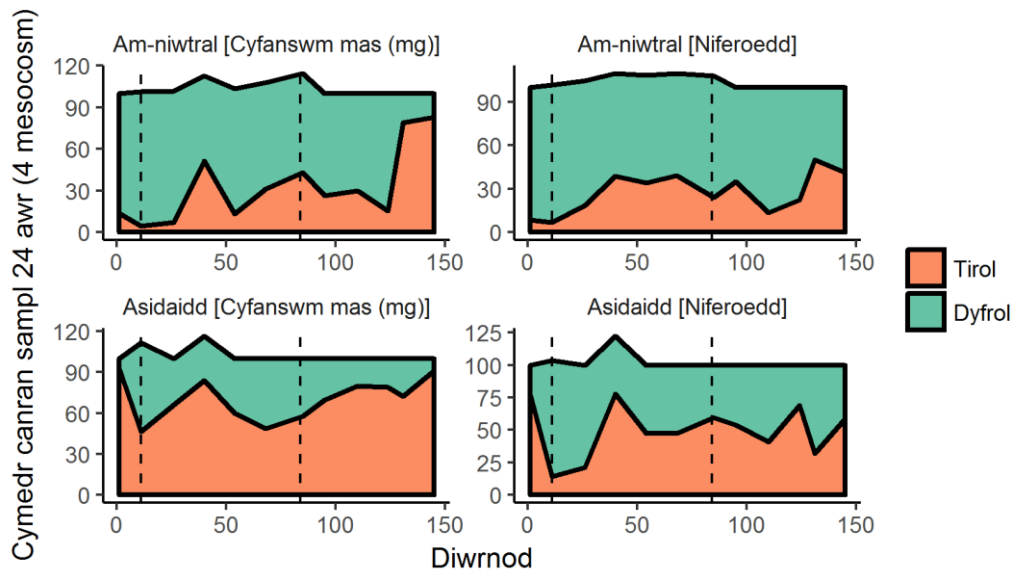
Roedd llai o infertebratau yn noflithro yn y cafnau arbrofol o'u cymharu â'r cyfnod cyn y sychder ac â'r cafn rheoli (MLICC:  $t_{2,90} = -2.797$ ,  $p < 0.01$ ; Ffigwr 6.3; cytûn a Damcaniaeth 1). Roedd nifer yr infertebratau a gasglwyd cyn y sychder ac yn ystod y cyfnod adfer yn gymharol yn y mesocosmau rheoli ac arbrofol (MLIC:  $t_{2,90} = 0.377$ ,  $p = 0.707$ ). O gychwyn y cyfnod adfer, cynyddodd nifer yr infertebratau yn y cafn arbrofol i nifer a oedd yn gymharol â'r cafn rheoli (MLIC:  $t_{2,90} = -5.671$ ,  $p < 0.01$ ). Roedd cyfanswm màs yr ysglyfaeth yn is yn y cafnau arbrofol o'i gymharu â'r cyfnod adfer ac â'r cafnau rheoli (MLICC:  $t_{2,88} = -4.143$ ,  $p < 0.01$ ; cytûn a Damcaniaeth 2). Casglwyd cyfanswm màs infertebrataidd tebyg cyn ac ar ôl y sychder (MLICC:  $t_{2,88} = 0.554$ ,  $p = 0.581$ ).



**Ffigwr 6.3: Lleihad yn argeledd ysglyfaeth yn ystod sychder**

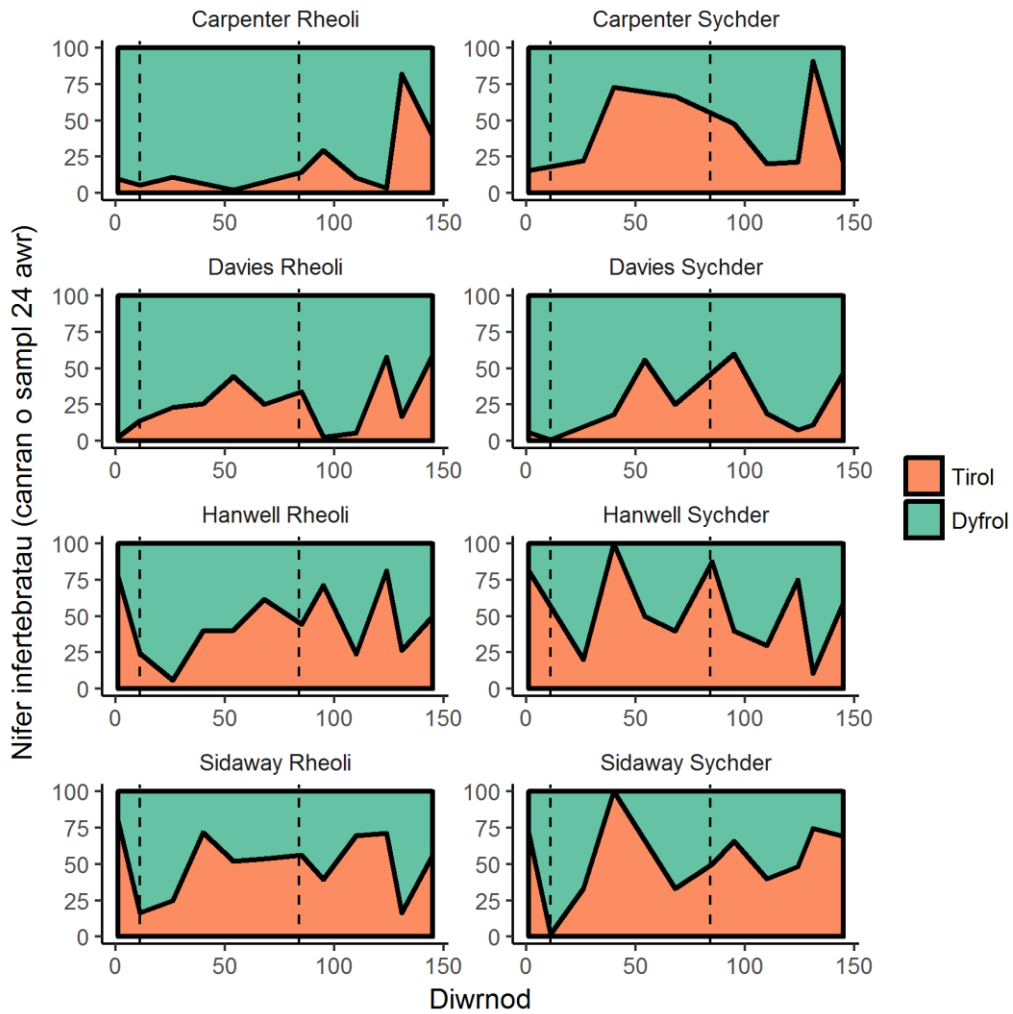
Cyfanswm nifer, màs cymedrig a chyfanswm màs infertebratau ( $\pm$  cyfwng hyder 95% wedi'i ymlwytho) a gasglwyd o golfn ddŵr pedwar bloc o fesocosmau arbrofol o dan gyflyrau sychder (smotiau tywyll a llinell lawn) a rheoli (llif llawn) (smotiau golau a llinell dorredig) mewn 24 awr. Dynodir dechrau cyfnod y sychder gan linell doredig ar Ddiwrnod 11, ac ar ddechrau'r cyfnod adfer ar Ddiwrnod 84.

Roedd diffyg cefnogaeth i Ddamcaniaeth 3. Ni effeithiodd y sychder ar gyfraniad ysglyfaeth oedd â hanes bywyd tirol o'i gymharu â hanes bywyd dyfrol, yn ôl niferoedd (cymhariaeth rhwng cyfnod sychder ac adfer; MLIC:  $z_{2,80} = -0.525$ ,  $p = 0.6$ ; Ffigwr 6.5) na chyfanswm màs (cymhariaeth rhwng cyfnod sychder ac adfer; MLIC:  $z_{2,80} = 0.488$ ,  $p = 0.626$ ; Ffigwr 6.6). Dros gyfnod yr astudiaeth gyfan, gwelwyd fod cyfraniad y nifer o infertebratau tirol i'r golfn ddŵr yn uwch yn yr ecosystemau asidaidd (Hanwell a Sidaway) o'i gymharu â'r rhai am-niwtral (Carpenter a Davies; MLIC:  $z_{2,80} -2.166$ ,  $p = 0.03$ , Ffigwr 6.4). Roedd y berthynas honno'n gryfach yn ôl cyfanswm màs (MLIC:  $z_{2,8} = -3.523$ ,  $p < 0.01$ ).



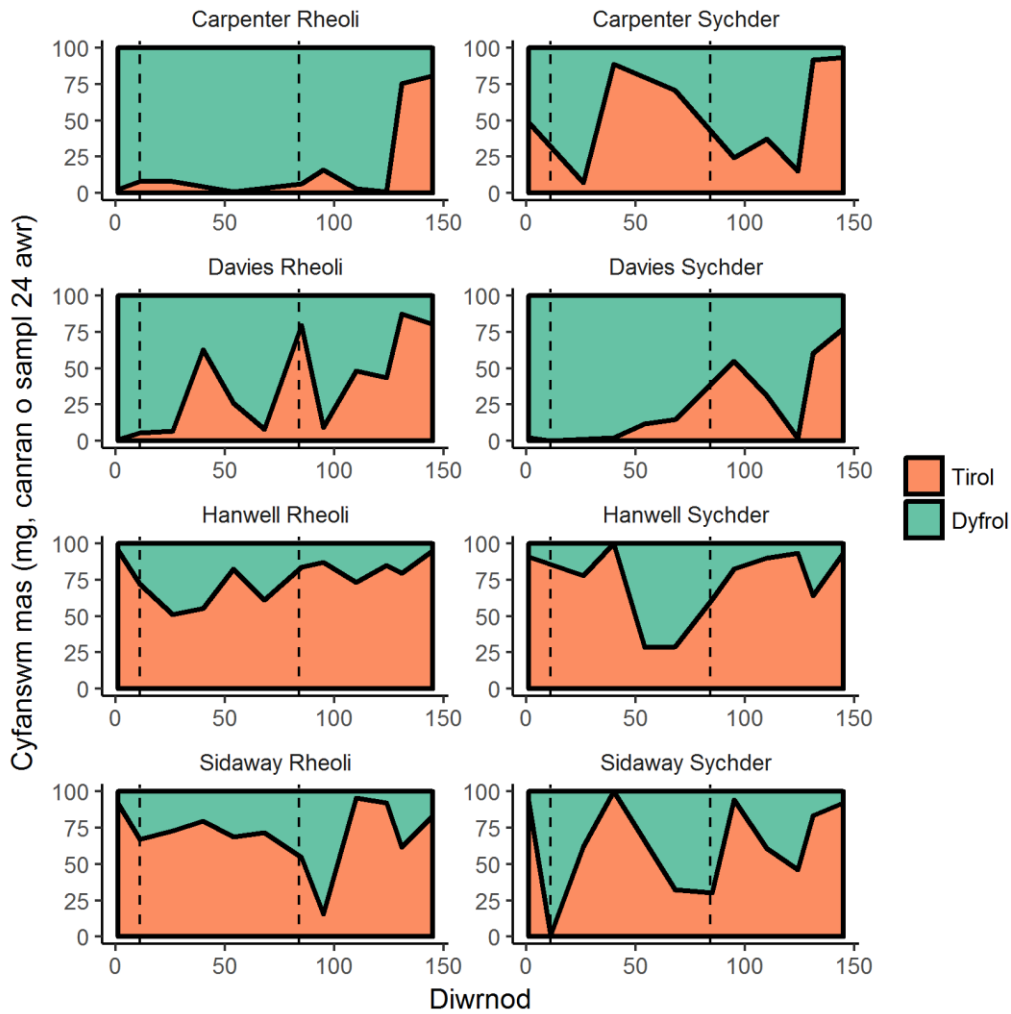
**Ffigwr 6.4: Cyfraniad infertebratau tirol yn fwy mewn dalgylchoedd asidaidd nag amniwtral**

Canran infertebratau a gasglwyd mewn 24 awr o colofn dŵr pedwar bloc o fesocosmau (dau asid, dau am-niwtral), yn ôl eu deilliad (tirol / dyfrol). Cyflwynir gwerthoedd cymedrig yn ôl cyfanswm y màs infertebrataidd, yn ogystal â'r nifer o infertebratau a gasglwyd mewn sampl. Dynodir cyfnod o sychder efelychol gan llinell doredig ar Ddiwrnod 11, a dechrau cyfnod adfer o'r sychder ar Ddiwrnod 84.



**Ffigwr 6.5: Cyfraniad infertebratau tirol a dyfrol i'r sail maethol fel nifer eitemau ysglyfaeth**

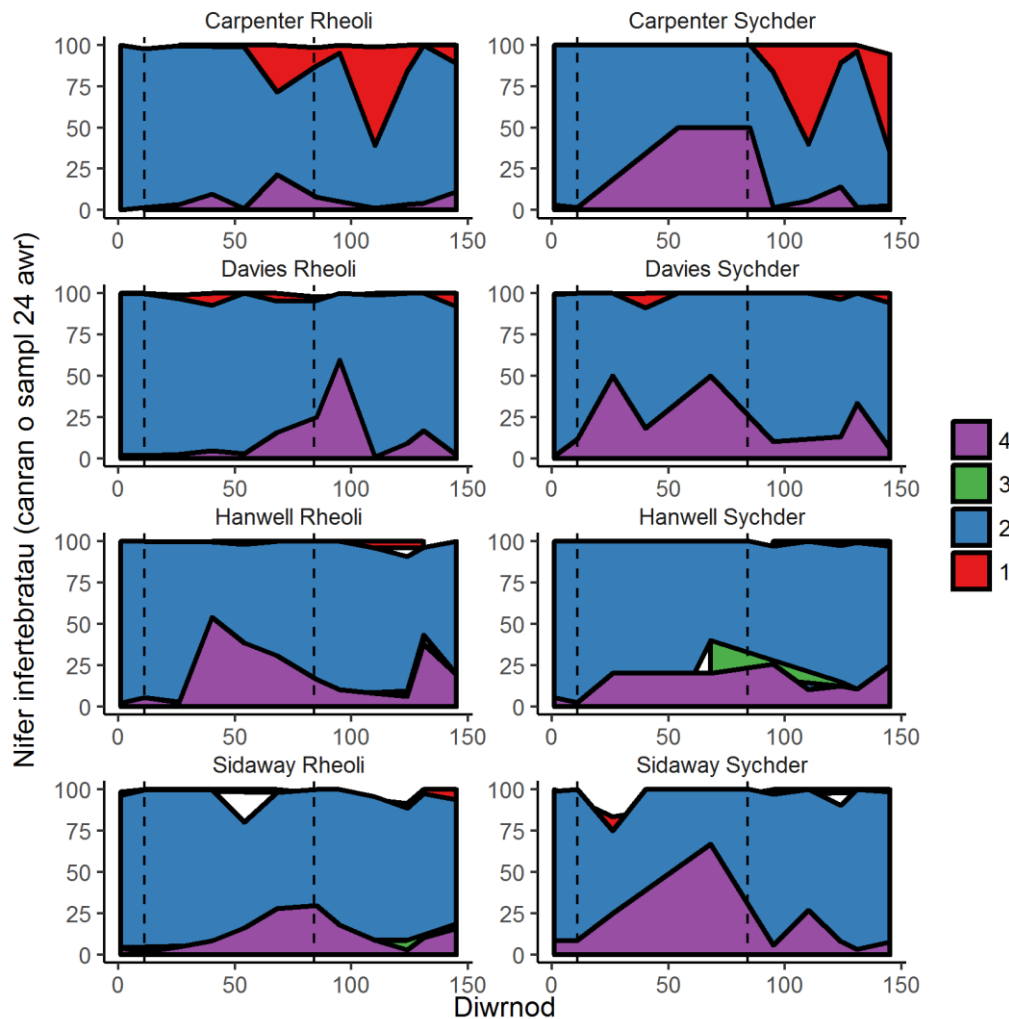
Canran infertebratau a gasglwyd mewn 24 awr o golofnau dŵr pedwar bloc o fesocosmau (am-niwtral: Carpenter a Davies, asidaidd: Hanwell a Sidaway), yn ôl eu deilliad (tirol / dyfrol). Dynodir cyfnod o sychder efelychol gan linell doredig ar Ddiwrnod 11, a dechrau cyfnod adfer o'r sychder ar Ddiwrnod 84.



**Ffigur 6.6 Cyfraniad infertebratau tirol a dyfrol i gyfanswm biomas y sail ysglyfaethol**

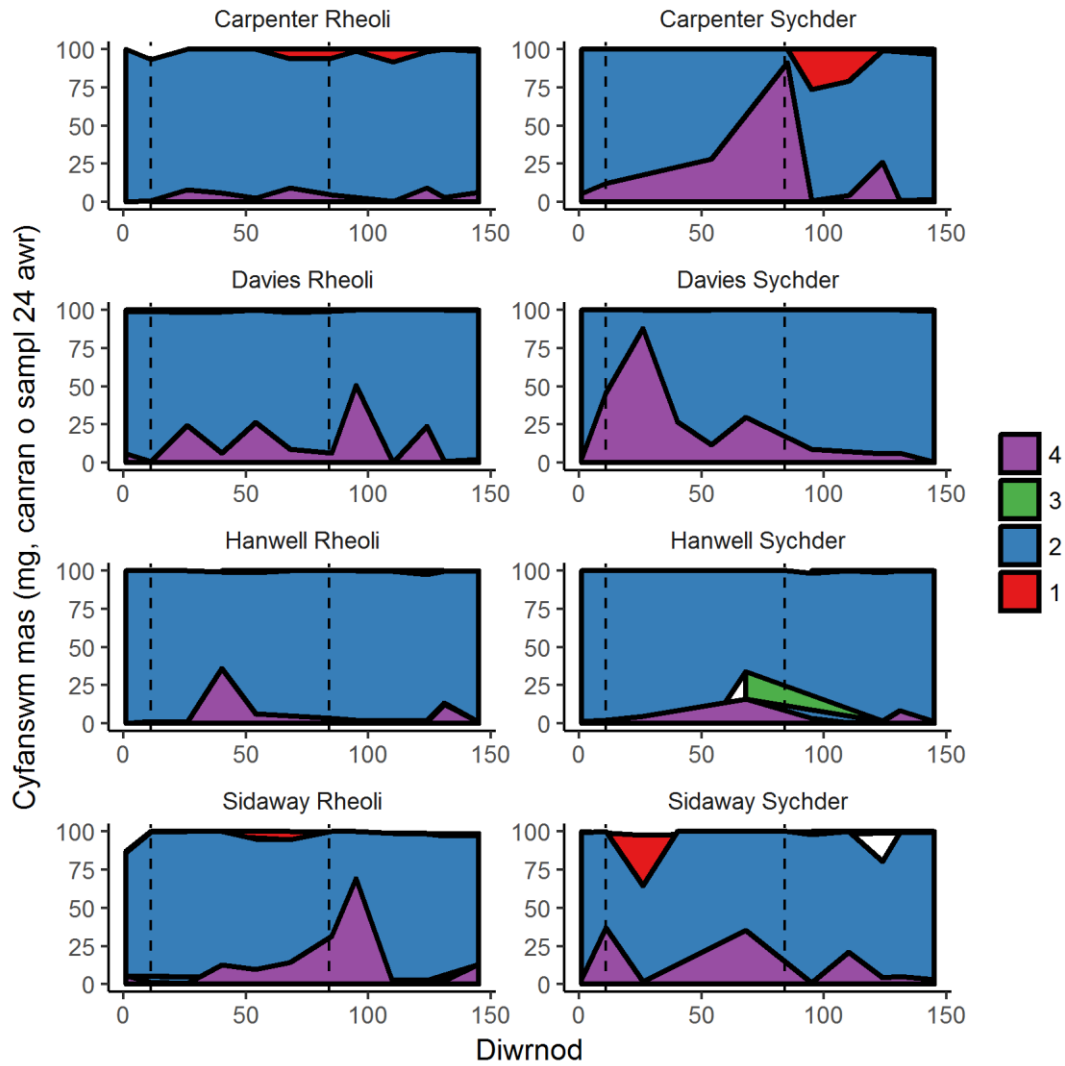
Canran infertebratau a gasglwyd mewn 24 awr o golofnau dŵr pedwar bloc o fesocosmau (amniwtral: Carpenter a Davies, asidaidd: Hanwell a Sidaway), yn ôl eu deilliad (tirol / dyfrol). Dynodir cyfnod o sychder efelychol gan linell doredig ar Ddiwrnod 11, a dechrau cyfnod adfer o'r sychder ar Ddiwrnod 84.

Parthed Damcaniaeth 4; ni effeithiodd y sychder ar gyfraniad carfan hygyrch yr infertebratau naill ai yn ôl niferoedd (cymhariaeth rhwng cyfnod sychder ac adfer; MLIC:  $z_{2,96} = 0.237$ ,  $p = 0.813$ ; Ffigwr 6.7) na chyfanswm màs (cymhariaeth rhwng cyfnod sychder ac adfer; MLIC:  $z_{2,96} = 1.143$ ,  $p = 0.253$ ; Ffigwr 6.8). Roedd cyfraniad grwpiau gweithredol yn gymharol yn ôl niferoedd rhwng dyfroedd asidaidd ac amniwtral (MLIC,  $z_{1,95} = -1.027$ ,  $p = 0.304$ ). Tebyg, hefyd, oedd y patrwm hwnnw ar ran cyfanswm màs (MLIC,  $z_{1,95} = -0.8$ ,  $p = 0.424$ ).



**Ffigwr 6.7: Cyfraniad niferoedd y pedwar grŵp o infertebratau a adnabwyd yn ôl nodweddion gweithredol**

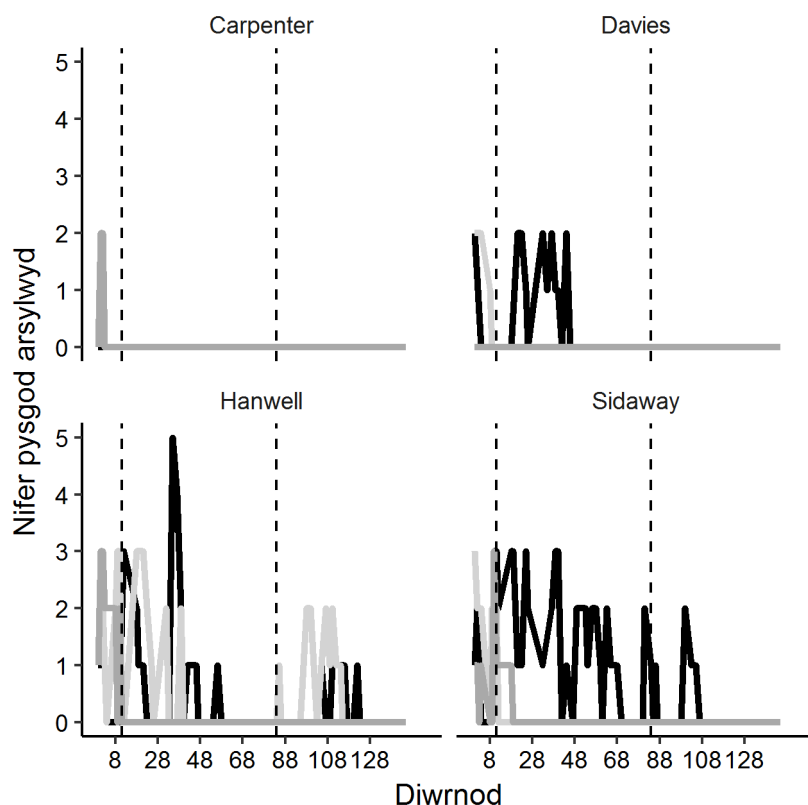
Canran infertebratau a gasglwyd mewn 24 awr o golofnau dŵr pedwar bloc o fesocosmau yn ôl pedwar grŵp sy'n amcan hygyrchedd infertebratau i salmonidau (*S. salar* a *S. trutta*) fel ysglyfaeth (Grŵp 1 a 3: anhygyrch, Grŵp 2 a 4: hygyrch). Dynodir cyfnod o sychder efelychol gan linell doredig ar Ddiwrnod 11, a dechrau cyfnod adfer o'r sychder ar Ddiwrnod 84.



**Ffigur 6.8: Cyfraniad biomas y pedwar grŵp o infertebratau a adnabwyd yn ôl nodweddion gweithredol**

Canran infertebratau a gasglwyd mewn 24 awr o golofnau dŵr pedwar bloc o fesocosmau yn ôl pedwar grŵp sy'n amcan hygyrchedd infertebratau i salmonidau (*S. salar* a *S. trutta*) fel ysglyfaeth (Grŵp 1 a 3: anhygyrch, Grŵp 2 a 4: hygyrch). Dynodir cyfnod o sychder efelychol gan linell doredig ar Ddiwrnod 11, a dechrau cyfnod adfer o'r sychder ar Ddiwrnod 84.

Gan gefnogi Damcaniaeth 5, arsylwyd fod y brithyllod yn fforio eu tiriogaethau (arsylwadau o bysgod yn symud o waelod y mesocosmau) yn llai aml mewn sychder o'i gymharu â'r cyfnod adfer (MLIC.BN,  $z_{2,750} = -4.527$ ,  $p < 0.01$ , Ffigwr 6.9). Roedd nifer yr arsylwadau o bysgod yn y trapiau yn debyg cyn ac ar ôl y sychder (MLIC.BN,  $z_{2,750} = 0.430$ ,  $p = 0.667$ ).



**Ffigwr 6.9: Amledd ymddygiad fforio brithyllod**

Nifer brithyllod (*S. trutta*) a arsylwyd arnynt mewn trapiau ar waelod pedwar bloc o fesocosmau dan driniaeth sychder a rheoli (llif llawn). Ym mhob bloc, roedd dau fesocosm a brofwyd cyflyrau sychder (llynellau llwyd tywyll a llwyd golau), ac un mesocosm rheoli (llynell ddu). Dynodir cyfnod o sychder efelychol gan linell doredig ar Ddiwrnod 11, a dechrau cyfnod adfer o'r sychder ar Ddiwrnod 84.

O'r 38 pysgodyn â gyflwynwyd i'r pedwar bloc ar ddechrau'r arbrawf, dim ond chwech ohonynt medrwyd eu dal a'u cofnodi ar gyfer monitro cyfraddau twf. Gan mai dim ond un pysgodyn o oed 1+ adenillwyd, diystyrwyd hwn o'r dadansoddiad. Ni ellir ennill mesuriad gwirioneddol ystyrion o effaith y driniaeth ar dwf brithyllod ar sail pum pysgodyn. O'r data sydd ar gael, roedd twf pysgod y cafn sychder 3.45% a -6.00% o dwf pysgod y cafn rheoli (hyd a màs, yn ôl trefn; Ffigwr 6.10). Tra'n cefnogi Damcaniaeth 6 rhaid nodi nad yw'r data (nifer y pysgod) yn caniatáu dod i gasgliad a gefnogir gan bŵer ystadegol arwyddocaol (Tabl 6.1).

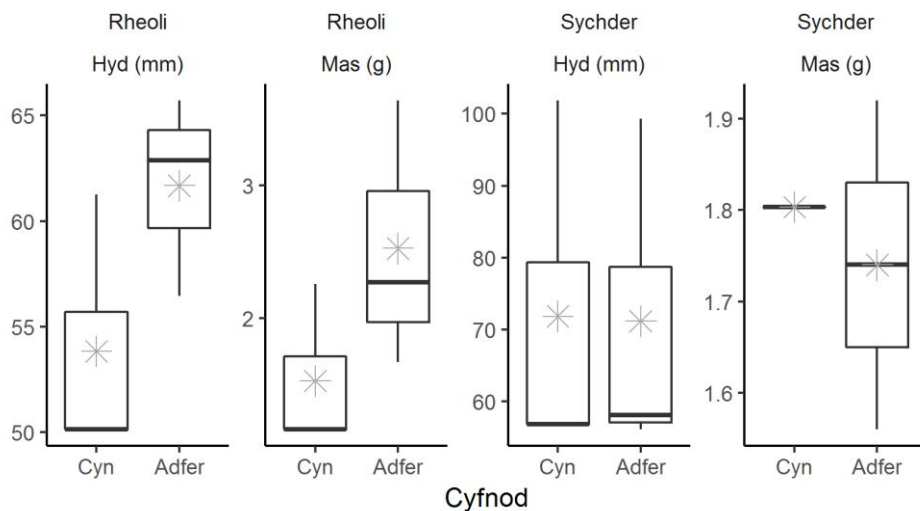


**Tabl 6.1: Mesuriadau o dwf brithyllod**

Gwerthoedd cymedrig pysgod a gyflwynwyd i fesocosmau, gwerthoedd y pysgod a adenillwyd a'r amcan twf mewn cafnau rheoli a sychder. Profwyd am wahaniaeth rhwng gwerthoedd màs a hyd y pysgod yn y cafnau rheoli a sychder, cyn y cyfnod sychder a'r cyfnod adfer gan ddefnyddio prawf Mann-Whitney lle **w** = ystadegyn y prawf ac **p** = y gwerth p.

| Pysgodyn | Triniaeth | Hyd cymedrig y cafn ar ddechrau'r |                                |                   | w | p     |
|----------|-----------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------|---|-------|
|          |           | arbrawf (mm)                      | Hyd ar ddiwedd yr arbrawf (mm) | Twf mewn hyd (mm) |   |       |
| 1        | Rheoli    | 61.26                             | 65.72                          | 4.46              |   |       |
| 2        | Rheoli    | 50.13                             | 56.44                          | 6.31              |   |       |
| 3        | Rheoli    | 50.13                             | 62.87                          | 12.74             | 1 | 0.184 |
| 4        | Sychder   | 56.85                             | 58.13                          | 1.28              |   |       |
| 5        | Sychder   | 56.85                             | 56.11                          | -0.74             | 5 | 1     |

| Pysgodyn | Triniaeth | Màs cymedrig y cafn ar ddechrau'r |                               |                         | w | p     |
|----------|-----------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---|-------|
|          |           | arbrawf (g)                       | Màs ar ddiwedd yr arbrawf (g) | Twf fel cronïad màs (g) |   |       |
| 1        | Rheoli    | 2.26                              | 3.64                          | 1.38                    |   |       |
| 2        | Rheoli    | 1.16                              | 1.67                          | 0.51                    |   |       |
| 3        | Rheoli    | 1.16                              | 2.27                          | 1.11                    | 1 | 0.184 |
| 4        | Sychder   | 1.8                               | 1.92                          | 0.12                    |   |       |
| 5        | Sychder   | 1.8                               | 1.56                          | -0.24                   | 2 | 1     |



**Ffigwr 6.10: Cyfradd twf cyfyngiedig parïad mewn sychder**

Maint brithyllod (*S. trutta*) yn ôl hyd fforch a màs o bedwar bloc o fesocosmau arbrofol dan gyflyrau sychder a rheoli (llif llawn). Dynodir cyfnod y mesuriad parthed i gyfnod y sychder; mesurwyd pysgod "Cyn" cyn y sychder a physgod "Adfer" ar ddiwedd yr astudiaeth. Dynodir gwerth cymedrig gan groes lwyd, canolrif gan linell drom ddu a'r amrediad rhyngchwartel gan flwch. Cynrychiola estyniadau llinol o'r blychau werthoedd 1.5 x yr amrediad rhyngchwartel neu lai. Noder nad yw gwahaniaethau gweledol yn ystadegol arwyddocaol.

## 6.5. Trafodaeth

Prif arsylwad yr astudiaeth hon yw bod sychder eithafol (75 diwrnod) yn lleihau cyflenwad ymborth brithyll (*S. trutta*) ac eog (*S. salar*) nantyddol (Damcaniaeth 1 a 2); hynny, er gwaethaf hygyrchedd (Damcaniaeth 3) a deilliad (Damcaniaeth 4) ysglyfaeth infertebrataidd. Yn ategol, gwelir sut y gall addasu cyflenwad bwyd i'r fath raddau effeithio ar brosesau bioegniol salmonidau. Er ymddengys i bysgod fforio eu tiriogaethau yn llai aml yn ystod y sychder, ac felly o bosib yn arbed egni (Damcaniaeth 5), nodwyd cyfraddau twf is mewn brithyllod ifanc mewn sychder efelychol ( $n = 5$ ; Damcaniaeth 6).

Bydd cyfansoddiad macroinfertebrataidd colofn ddŵr nant yn ddibynnol ar y gymuned sy'n cytrefu yn y swbstrad benthig (Waters 1972), tra bod nifer yr infertebratau a gludir drwy diriogaeth salmonid yn ffwythiant o arllwysiad (Piccolo *et al.* 2014). Dan ddylanwad sychder efelychol yr astudiaeth hon, cyfunodd arllwysiad isel â benthos â chyrrff bychan (Pennod 5) i achosi i'r swmp màs ysglyfaeth oedd ar gael i bysgod i fod yn llai nad oedd ar gael iddynt yn y cafnau llif llawn. Daw'r canlyniad hwn yn gytûn ac astudiaethau o sychderau hir dymor, lle gwelir patrwm cyffredinol o amnewidiad tacsonau mawr, *K*-ddetholus, am rai llai, *r*-ddetholus (Ledger *et al.* 2011; Ledger *et al.* 2013a; Woodward *et al.* 2012). Noder fod yr astudiaethau hyn wedi eu seilio mewn ecosystemau iseldirol. Llenwa'r cyfraniad cyfredol fwch gwybodaeth drwy ddarparu data â rheolyddion cadarn o ymateb cymuned o infertebratau ucheldirol enghreifftiol, tra gwybyddus (gweler Durance a Ormerod 2007; Ormerod a Durance 2009), i aflonyddiad hinsoddol tymhorol.

Gwelwyd fod cyfraniad ysglyfaeth yn ôl eu deilliad (tirol / dyfrol) i'r golofn dŵr yn debyg o dan gyflyrau sychder a llif llawn. Mae cytrefiad swbstrad nantyddol sych gan organebau tirol i'w ddisgwyl (Lake 2003). Awgrymir, felly, fod cyfradd mynediad infertebratau i'r golofn ddŵr yn isel, bod cyflymder isel y llif (Pennod 5) yn galluogi anifeiliaid tirol i ddianc o'r llif neu fod y fath ostyngiad llif wedi pylu'r signal ystadegol. Bu cydran ysglyfaeth dirol y mesocosmau oedd yn derbyn dŵr o nentydd asidaidd LI3 (bloc Hanwell) a LI8 (bloc Sidaway; Ffigwr 5.1) yn uwch na'r systemau am-niwtral (bloc Carpenter, nant LI6 a bloc Davies, nant LI7). Roedd y gwahaniaeth hwn yn wydn i aflonyddiad y sychder. Cytuna'r canlyniad hwn ag astudiaeth Ormerod a'i gydweithwyr (2004) yn ardal Llyn Brianne; disgrifiwyd dwyseddau infertebratau a oedd yn is yng ngholofn dŵr nentydd asidaidd a bod y nentydd hyn yn derbyn cydran uwch o infertebratau tirol na nentydd am-niwtral. Adroddwyd hefyd fod brithyllod mewn dŵr asidaidd yn cynnal eu cyflwr a'u llawnder drwy addasu cyfansoddiad

tacsonomaidd eu hysglyfaeth. Ystyrir yr arsylwadau hyn o astudiaethau eraill yn atgyfnerthiad o'r dystiolaeth fod y mesocosmau lle cynhaliwyd yr astudiaeth hon yn gynrychiadol o'r nentydd y maent yn eu hefelychu.

O safbwynt y pysgodegydd, prif destun diddordeb yr astudiaeth hon fydd defnydd nodweddion gweithredol i asesu dylanwad sychder ar gyflenwad troffig salmonidau, yn hytrach na dadansoddiad tacsonomaidd traddodiadol. Adeilada'r gwaith hwn ar ddsbarthiadau nodweddion Rader (1997), De Crespin De Billy a Usseglio-Polaterra (2002), a Gutiérrez-Cánovas *et al.* (wrthi'n paratoi) i gynnwys infertebratau tirol er mwyn ennill cynrychiolaeth cyflawnach o batrymau ymatebol ysglyfaeth brithyll (*S. trutta*) ac eog (*S. trutta*). Ni thystiwyd effaith sychder ar gyfran ysglyfaeth hygyrch y golofn ddŵr yn y bennod hon. Seilir dosbarthiadau tacsonomaidd astudiaeth y bennod hon ar gydbertynas nodweddion gweithredol macroinfertebrataidd â biomas *S. trutta* a *S. salar* ifanc mewn nentydd ac afonydd Cymreig. Ystyriwyd hyn yn addas gan fod y dosbarthiadau yn esbonio rhyngweithiadau rhwng biota tebyg (ond fwy amrywiol) i'r rhai a ganfyddir yn ardal Llyn Brienne. Un gwahaniaeth amlwg oedd bod y gronfa nodweddion yn deillio o astudiaeth hir dymor (degawdau), yn hytrach na thros yr un tymor sychder ac un tymor adfer yr arbrawf hwn. Mae'n bosib, wrth gwrs, nad oes gwahaniaeth ystyrion yn hygyrchedd ysglyfaeth dan gyflyrau sychder, neu nad yw'r pedwar grŵp sy'n weithredol ar raddfa fras (degawdau) yn fynegiad digon manwl i'w gymhwyso ar raddfa ganolog (yr astudiaeth hon).

Mae nodweddion gweithredol yn cynnig llwybr at ddealltwriaeth o ecoleg cymunedol ar sail egwyddorion craidd trwy ddistyllu rhyngweithiadau rhwng biota â'u hamgylchedd i gasgliad o nodweddion allweddol (McGill *et al.* 2006); nod hynod apelgar. Dosbartha'r astudiaeth hon infertebratau i grwpiau gweithredol ar sail nodweddion argraffedig, neu barn a dealltwriaeth arbenigwyr. Beth sydd ar goll yw gwybodaeth ar sefydlogrwydd y dosbarthiadau hyn o dan ddylanwadau amgylcheddol, megis sychder. Cam ymarferol ar gyfer datblygiad y gronfa ddata a ddisgrifir yma byddai asesiad o wydnwch dosbarthiadau infertebrataidd yn wyneb sychder, a dilysiad o'r gwydnwch hwnnw drwy asesiad maes o ymborth salmonidau.

Gwelwyd fod brithyllod wedi fforio'u tiriogaethau (arsylwi ar waelod y mesocosmau) yn llai aml yn y sychder na physgod cyffelyb mewn llif llawn. Byddai dilyn trywydd a lleoliad y pysgod â thagiâu trawsatebyddol goddefol cyfannol wedi bod yn ddelfrydol, ond oherwydd priodwedd amharedig strwythur dur y cafnau ar signal y tagiau nid oedd modd casglu'r fath ddata manwl ar symudiad microgynefinol y brithyllod. O ystyried gerwinder sychder efelychol yr astudiaeth hon, cynigir mai ffwythiant o ynysu

cynefinol oedd lleihad yr arsylwadau o frithyllod yn y trapiau, yn hytrach na dewis ymddygiadol. Fel ymateb i ostyngiadau lefel dŵr llai eithafol, ceir adroddiadau o bysgod yn cronni mewn pyllau (Debowski a Beall 1995; Greenberg 1992; 1994; Huntingford *et al.* 1999; Stradmeyer *et al.* 2008) ond noder hefyd arsylwadau cymysg Armstrong *et al.* (1998) a Flodmark *et al.* (2006). Noda Sloman *et al.* (2001) fod dwyseddau uchel o bysgod mewn pyllau o ganlyniad i driniaeth sychder yn gysylltiedig ag ymddatodiad hierarchaeth cymdeithasol. Darganfuwyd yn yr astudiaeth honno fod brithyll (*S. trutta*) trechol yn tyfu'n arafach o dan y fath gyflyrau na'u cyfoedion dan gyflyrau llif llawn. Ategir felly fod gan gyfraniad newidiadau ymddygiadol salmonidau i'w cyllideb bioegniol yn ystod aflonyddiadau hinsoddol nifer o agweddau, gyda phrosesau biotig ac anfiotig yn dylanwadu.

Yn yr astudiaeth gyfredol, chwe physgodyn yn unig adnillwyd o'r 38 a gyflwynwyd i'r mesocosmau. Rhoddwyd rhwydi dros ben ac ar waelod pob cafn i warchod pysgod rhag adar ac ysglyfaethwyr eraill, ac i atal pysgod nofio o'r cafn. Ystyrir felly, dau brif reswm posib am adennill cyn lleied o'r stoc cychwynnol: colledion naturiol, a diffyg effeithlonrwydd y dull ail-gasglu pysgod. Ceir dargludedd isel mewn nentydd ucheldirol, ac felly mae'n bosib fod yr offer heb dreiddio'r dŵr yn ddigonol i gysylltu â'r pysgod (Pope *et al.* 2010). Yn ogystal, mae'n wybyddus bod effeithlonrwydd electrobysgota yn lleihau wrth i'r nifer o dreialon gynyddu (Peterson *et al.*, 2004). Mae'n bosib fod asesu un cafn ar ei hyd cyn dechrau o waelod y cafn nesaf wedi dychryn y pysgod a'u hanfon i'r graen lle byddant yn llai tebygol o gael eu hadennill. Ar y llaw arall, mae colledion pysgod mewn sychderau hinsoddol yn dra gwybyddus (Cowx *et al.* 1984; Danehy *et al.* 1998; Elliott *et al.* 1997; Good *et al.* 2001; Jowett *et al.* 2005; Kiernan a Moyle 2012; Nicola *et al.* 2009; Vehanen *et al.* 2010; Vollestad ac Olsen 2008; Pennod 2). Cafodd pyllau dŵr eu lleoli ym mhob adran o bob mesocosm fel cuddfan i'r pysgod yn ystod yr astudiaeth, ond mae'n bosib fod tymereddau uchel a chrynnodiad ocsigen isel (gweler Pennod 5 am werthoedd penodol) wedi bod yn ormod o straen i'r brithyllod (Jonsson a Jonsson 2011). Y brif ddadl yn erbyn y posibilrwydd hwn yw bod nifer hafal o bysgod wedi eu hadennill o'r cafnau rheoli a sychder; byddai'n ddisgwyliedig i'r pysgod yn y cafnau sychder eu heffeithio yn unig. Datblygiad posib ar gyfer gwella'r astudiaeth gyfredol fyddai defnyddio tagiau adnabod digidol. O wneud hyn byddai modd cynyddu pŵer ystadegol o garfan fechan o frithyllod gan gymharu pysgod unigol â'i gilydd yn hytrach na'u grwpio fel y gwnaethpwyd yma.

Mae microcosmau a mesocosmau cyfnod byr wedi eu defnyddio'n llwyddiannus i ennill gwybodaeth mecanyddol o brosesau ffisiolegol ac ymddygiadol salmonidau

(Pennod 2 am fanylion). Ar ochr arall y sbectrwm, mae astudiaethau arsylwadol wedi cyfoethogi dealltwriaeth o brosesau lefel poblogaethol a chymunedol (Pennod 2). Yn ryngwladol, saif cyfleuster arbrolf Arsyllfa Nantyddol Llyn Brianne heb ei ail. Mae mesocosmau nantyddol a gyflenwir yn gyson â dŵr nant, ac sy'n agored i ddylanwadau ecolegol cymhleth yr awyr agored yn cyflwyno dull a photensial i astudio prosesau ecolegol ar raddfeydd amser a gofod estynedig, ynghyd â manteision arbrawf rheoledig (Stewart *et al.* 2013). Cyflwyno'r cyfraniad cyfredol ddatblygiad angenrheidiol mewn defnydd o'r dull hwn o arbrofi i ennill gwybodaeth empeiraidd dros gyfnod estynedig ar bysgod nantyddol. Credir mai'r arbrawf hwn yw'r ymdrech gyntaf i gadw pysgod mewn mesocosmau rheadrol. Yn gyffredinol, cytuna mesuriadau yr astudiaeth hon ag astudiaethau rheoledig ymddygiadol (Pennod 2) ac hefyd â rhai arsylwadol hir-dymor yn y maes (Elliott 1994).

Un o'r camau nesaf fydd cyfuno canfyddiadau am ddylanwad elfennau amrywiol newid hinsawdd ddisgwyliedig ar gyfnodau bywyd gwahanol rhywogaethau *Salmo*. Er enghraifft, goblygiadau cyffredinol cynnydd yng ngerwinder ac amledd sychderau yn yr haf, yn ogystal â llifogydd yn y gaeaf. Gellir crybwyll llifogydd nerthol, sy'n golchi wyau *Salmo* spp. o feithrinfeydd, a sychderau, all leihau niferoedd a ffitrwydd pariaid, gyfuno i ddylanwadu'n negyddol ar boblogaethau *Salmo* spp. Mae angen profi'r fath ddamcaniaethau er mwyn darparu gwybodaeth i reolwyr pysgodfeydd a llunwyr polisi.

## **6.6. Casgliad**

Yma, tystiwyd dylanwad sychder tymhorol ar y tri prif ffactor amgylcheddol sy'n rheoli cynhyrchiant pysgod salmonid nantyddol: cyflyrau ffisegemegol, cynefin a chyflenwad bwyd (Poff a Huryn 1998). Yn gyffredinol, rhagfynega modelau hinsoddol gynnydd yn amledd a gerwinder aflonyddiadau hinsoddol ar ddyfroedd croyw (Bates *et al.* 2008), gan gynnwys sychderau yn nhiriogaethau salmonidau (Jonsson a Jonsson 2009). Ymddengys fod sychderau yn gysylltiedig â chyflenwad bwyd diffygiol a chyfraddau twf cyfyngedig ar gyfer brithyllod ifanc. Trwy ddylanwadu ar ddarpariaeth bioegniol nentydd ucheldirol, gall sychderau hinsoddol eithafol ddylanwadu ar uwch-brosesau poblogaethau salmonid.

## 7. Pennod 7: Trafodaeth gyffredinol

### 7.1. Synthesis

Prif nod yr astudiaeth hon yw ehangu'r ymdrech o ragfynegi dylanwad newid disgwylidig i hinsawdd y Ddaear ar y bysgodfa *Salmo* wyllt. Yn benodol, trwy gyfres o arbrofion ac arsylwadau, cesglir data rheoledig prin ar ddylanwad llifoedd isel a sychderau ar boblogaethau'r pysgod mewn dyfroedd llifeiriol. Rhoddir pwyslais ar ddatblygu dealltwriaeth o ddylanwad llif ar gynhwysedd bioegniol cynefin i gynnal poblogaethau brithyll brown ac eog yr Iwerydd; hynny drwy fesur cynhaliaeth adnodd maethol y pysgod, eu hysglyfaeth, y macroinfertebratau.

Ym Mhennod 2 adolygwyd y sail lenyddiaeth gyfredol. Nodwyd bod tebygolrwydd uchel y bydd cylchred hydrolegol y Ddaear yn newid wrth i'r blaned gynhesu o ganlyniad crynodiad uchel o nwyon tŷ gwydr yn yr atmosffer. Ledled Ewrop a Gogledd America, sef dalgylchoedd cynefinoedd cynhenid y brithyll (*S. trutta*) a'r eog (*S. salar*), rhagfynega modelau hinsoddol lifoedd is ffrydiau dyfrol sydd o fewn ffiniau ffisiolegol ffafriol (hynny yw, yn ôl paramedrau anfiotig megis tymheredd a chrynodiad ocsigen hydoddedig) y ddwy rywogaeth, yn ogystal â digwyddiadau eithafol megis llifogydd a sychderau (Bates *et al.* 2008; Jonsson a Jonsson 2009). Amlyga adolygiad systematig diweddar (Piniweski *et al.* 2017) ddiffyg data o effeithiau sychderau ar fiota dyfrol. Yn benodol, cofnodwyd yr angen am ddata empeiraidd o'r maes ar ddylanwad llifoedd isel a sychderau ar bysgod.

Un o brif amcanion astudiaethau'r traethawd hwn oedd llenwi'r bwlch rhwng data o amgylcheddau annaturiol (e.e. tanciau gwydr) ac iddynt ddyluniadau arbrofol cadarn, a gwybodaeth empeiraidd wasgarog o wir ecosystemau. Ym Mhennod 2, cyfeirir at gefndir llenyddol cryf o astudiaethau ymddygiadol salmonidau mewn amgylcheddau gwneuthuredig, gan gynnwys arsylwadau o ymddygiadau dan gyflyrau llif isel. Roedd nifer o astudiaethau hefyd wedi mynd ati i fesur ymatebion ymddygiadol yn y maes, gan ganolbwyntio ar ymatebion y pysgod i lifoedd isel chwim, disymwth. Canfyddir y briglifoedd chwim hyn islaw argaeau o ganlyniad rhyddhad dŵr i droelli tyrbinau pwerdai hydro. Roedd llai o ddata wedi eu casglu o astudiaethau yn y maes a oedd yn manteisio ar sychderau o ganlyniad i brosesau hinsoddol, yn hytrach na thriniaethau anthropogenig uniongyrchol. Canfuwyd ambell esiampl o ddefnydd strwythurau rhwydwaith dŵr bwrdeistrefol i efelychu llif isel hinsawdd anwythol - dyluniad tebyg i arbrawf Afon Aled (Pennod 4). Tra bod dyluniad arbrofol o'r fath yn galluogi modd o arallgyfeirio cyfeintiau helaeth o ddŵr (e.e. pwmpwyd ~ 400 miliwn

litr o ddŵr dros gyfnod astudiaeth Pennod 4), un o brif gyfyngiadau'r dyluniad arbrofol yn gyffredinol yw nad oes data ar gael o'r cyfnod hwnnw cyn y driniaeth i reoli am wahaniaethau rhwng y parthau a astudir.

Er mwyn datblygu dealltwriaeth o effeithiau llifoedd isel a sychderau ar rywogaethau salmonid, roedd yn amlwg o'r llenyddiaeth sydd ar gael fod angen arbrofion graddfa eang yn y maes, gyda rheolyddion cadarn i ddilysu canfyddiadau o amgylcheddau rheoledig annaturiol a rhai naturiol heb ddata rheoli pwerus. Ynghyd â chanfod y bylchau yn y gronfa wybodaeth, defnyddir Pennod 2 i osod y sail theori i ymaffael â'r her o ennill y ddealltwriaeth hon. Tynnir sylw at ddiffyg diffiniadau meintiol o dermau amwys megis 'llif isel' a 'sychder' y maes ymchwil. Her amlwg yw bod aflonyddiad i un organeb yn gyfle i organeb arall ffynnu. Os o ddifrif am ennill gwybodaeth fanwl am unrhyw effeithydd, gan gynnwys ffactorau hinsoddol, ar organeb benodol, rhaid ystyried ffactorau dylanwadol yng nghyd-destun hanes bywyd y rhywogaeth a astudir.

Mae organebau'r Ddaear yn rhan o ryngweithiadau ecosystem cymhleth sydd, yn y pen draw, yn darparu casgliad o wasanaethau defnyddiol i ddynoliaeth. Amwys ac anodd yw'r broses o gyfrifo gwerth rhan helaeth o organebau'r Ddaear. Mae'r Salmonidae yn rhan o ddosbarthiad gymharol unigryw o organebau gan fod ganddynt ddefnydd economaidd uniongyrchol amlwg, hynny fel adnodd amaethyddol a gwobr i bysgotwyr hamdden. Anhebygol y byddai unrhyw un yn ymresymu bod y gymuned wyddonol yn berchen ar yr adnoddau, na'r cymhelliant, i gasglu data manwl ar ddylanwad tebygol newid hinsawdd ar holl rywogaethau'r blaned. Yn achos organebau defnyddiol neu bwysig i ddynoliaeth fodd bynnag, gwarantir ennill data manwl ar sail hanesion bywyd rhywogaethau unigol.

Adnabuwyd trothwy rhwng 'llif isel o fewn ffiniau cyflyrau ffafriol' a 'sychder' o safbwynt pysgod salmonid sy'n cynefino nentydd ac afonydd. Yn gyffredinol, gellir ystyried llif isel o fewn ffiniau ffafriol pysgod i reoli poblogaethau yn ôl prosesau rheoli dwysedd-ddibynnol. Ar y llaw arall, pan fydd llif isel yn datblygu symptomau sychder megis tymereddau uwch a chrynodiad ocsigen hydoddedig is, yna bydd rheoliad poblogaeth yn newid o fod yn un dwysedd-ddibynnol i fod yn ddwysedd-annibynnol. Defnyddiwyd y templed damcaniaethol hwn fel cyfeiriant pedair astudiaeth empeiraidd arbrofol yn y maes (Penodau 3 - 6).

Ymaflir â dylanwad llif isel sydd o fewn ffiniau ffafriol salmonidau ym Mhenodau 3 a 4. Dros y byr dymor (82 awr; Pennod 3), gwelwyd fod brithyllod brown a'u hysglyfaeth infertebrataidd yn wrthiannol i leihad arllwysiad cymedrol (19 %). Dros gyfnod mwy estynedig, fodd bynnag (Pennod 4), dangoswyd bod lleihad llif o 28 % wedi crebachu

adnodd maethol eogiaid a brithyllod nantyddol. Nid yn ôl niferoedd macroinfertebratau y mynegwyd y cwtogiad i'r ddarpariaeth faethol. Yn hytrach, gwelwyd fod maint cymedrig (màs corff) yr ysglyfaeth oedd yn y swbstrad yn llai mewn amgylchedd llif isel o'i gymharu â pharth rheoli llif llawn. Hynny yw, bu i faint llai infertebratau o dan gyflyrau llif isel gyfangu'r cyfanswm egni oedd ar gael i bysgod mewn amgylchedd llif isel. Adlewyrchwyd hynny gan gynhaliaeth poblogaeth lai niferus pariaid brithyll (*S. trutta*) ac eog (*S. salar*) Afon Aled, gogledd Cymru.

Wedi ennill dealltwriaeth o ymatebion *Salmo* i lifoedd isel o fewn eu ffiniau ffisiolegol ffafriol, aethpwyd ati i gasglu data arbrol o ddylanwad sychder ar fiota dyfroedd llifeiriol yr ucheldir (Penodau 5 a 6). Dyma'r astudiaethau cyntaf i wneud hyn mewn mesocosmau rhaeadrol sy'n efelychu morffoleg 'pwll-crychdon' nentydd yr ucheldir. Cynnill oedd dylanwad sychder ar strwythur cymunedol yn y benthos, er tuedd amlwg yr infertebratau i ffoi'r aflonyddiad drwy noflithro yn y golofn ddŵr. Defnyddir cronfa ddata blaengar o nodweddion gweithredol infertebratau, i fynegi ymatebion macroinfertebratau i'r sychder arbrol yn ôl eu dylanwad ar gynhaliaeth faethol salmonidau nantyddol (Pennod 6). Ymddengys i 'ansawdd' yr ysglyfaeth barhau'n gyson yn ystod y sychder. Hynny yw, gwelwyd fod cyfran pedwar grŵp o infertebratau a ddosbarthwyd yn ôl eu hygyrchedd i bysgod *Salmo* fel ysglyfaeth yn o debyg mewn cyflyrau sychder a llif llawn. Ni fu i'r sychder chwaith ddylanwadu ar y gyfran o infertebratau'r tir oedd yn disgyn i'r golofn ddŵr. Fodd bynnag, bu lleihad sylweddol yng nghyfanswm yr egni ysglyfaethol oedd ar gael yn ystod sychder; o ganlyniad i gyfradd noflithro is yr infertebratau, o'i gymharu â'r hyn ydyw mewn cyflyrau llif llawn. Cefnogwyd yr arsylw hwn gan gofnod o dwf ataliedig sampl fechan o frithyllod brown blwyddyn gyntaf ( $n = 5$ ); y tro cyntaf i bysgod gael eu hastudio mewn mesocosmau rhaeadrol.

Fel crynhoad cyffredinol, gellir dehongli canfyddiadau'r astudiaeth hon yng nghydestun rheolaeth dwysedd-ddibynnol (lifoedd isel) a dwysedd-annibynnol (sychderau). Gan nad yw'n ymddangos i'r *Salmo* ffoi o aflonyddiadau llif isel (e.e. Riley *et al.* 2009; Pennod 3), byddant dan lawn ddylanwad y fath aflonyddiadau. Dangosodd Baran *et al.* (1995) fod lleihad llif hir dymor â'r gallu i grebachu dwyseddau brithyllod (*S. trutta*) mewn nentydd Pyreneaid. Mewn afon Gymreig (Pennod 4) cafodd darpariaeth faethol ddiffygiol oedd yn gysylltiedig â llif isel ei adlewyrchu gan ddwyseddau isel o frithyllod ac eogiaid ifanc. Pan fydd llif isel yn datblygu'n sychder, gan gynyddu'r tymheredd a lleihau'r crynodiad ocsigen hydoddedig, gwelir lleihad sylweddol yn y gyllideb ysglyfaethol. Nifer ddiffygiol o ysglyfaeth a gofnodwyd yn noflithro yng ngholofn dŵr y triniaethau sychder ym



mesocosmau Arsyllfa Llyn Brianne. Mae'r arsylwad hwn yn cyd-daro â'r disgwyliad i'r nifer o infertebratau sydd ar gael i bysgodyn fod yn gysylltiedig ag arllwysiad nant yn ôl perthynas bositif (Everest a Chapman 1972).

O safbwynt sŵolegwyr infertebratau dyfrol, ceir darlun cymysgld o ymatebion infertebratau i lifoedd isel (Dewson *et al.* 2007). Un ymddygiad amlwg yw'r tuedd i'r anifeiliaid ffoi ar ddechrau aflonyddiad llif. Ceir enghraifft o hynny yn ystod dyddiau cynnar sychder efelychol yr astudiaeth hon (Pennod 5). Tra bod crynodiad uwch o infertebratau yn y golofn ddŵr, o ganlyniad i ymddygiadau ffoi, yn debygol o fynd peth o'r ffordd o gydadfer effaith lleihau'r llif ar gyfanswm yr ysglyfaeth sydd ar gael i bysgodyn, dros gyfnod cymharol fyr y parha ymadawiad y benthos o'r swbstrad. I'r sawl sy'n mentro cyffredinoli, ymddengys fod sychder eithafol, yn enwedig dros gyfnod estynedig, yn crebachu cynhaliaeth faethol salmonidau nantyddol. Prin yw'r data ar ddatblygiad brithyllod dros gyfnod sychder arbrofol yr astudiaeth hon (Pennod 6), ond adlewyrcha eu twf ataliedig y lleihad mewn argaeledd ysglyfaeth. Gwybyddir o astudiaethau sydd wedi manteisio ar sychderau hinsoddol naturiol fod colledion salmonidau yn uchel wrth i gyflyrau amgylcheddol groesi ffiniau ffafriol ffisiolegol y pysgod (rheolaeth dwysedd-annibynnol, Adran 2.6.2). Ynghyd ag achosi colledion, ymddengys i sychder leihau ffitrwydd y pariaid sy'n llwyddo i oroesi mewn pyllau (Pennod 6).

Yn nhermau goblygiadau economaidd byd eang (a Chymru'n arbennig), nid dylanwad hinsoddol ar bariaid *Salmo* fydd o bwys. Yn hytrach, goblygiadau'r gostyngiad i nifer a ffitrwydd pariaid ar gyfer cynhyrchiant y pysgod aeddfed hynny a ddelir llygaid ac arian pysgotwyr hamdden sydd o ddiddordeb. Mae'r cyfnod pâr yn gydran allweddol o gynhaliant y boblogaeth o bysgod aeddfed (manylir ym Mhennod 2). Cyfeiriwyd eisoes yn ogystal (Pennod 1) at enwogrwydd byd-eang un o afonydd Cymru - Afon Tywi - fel pysgodfa sewin. Gellir ystyried cronfa ddŵr Llyn Brianne yn darddle gwneuthuredig i Afon Tywi, hynny ers adeiladu argae'r gronfa yn y 1970au cynnar. Ystyrir nentydd Arsyllfa Llyn Brianne fel rhai cynrychiadol o nentydd ucheldir yr ardal; ecosystemau a chyfansoddiad cymunedol unigryw a thra gwahanol i nentydd ac afonydd yr iseldir. Bydd gan y cynnydd yn amllder a gerwinder y math o sychder a efelychwyd yn yr astudiaethau mesocosm (Penodau 5 a 6) y gallu i effeithio ar ffitrwydd pariaid yn ystod tymor tyfu'r haf. Bydd maint corff llai'r pariaid wrth iddynt symud i dymor yr hydref a'r gaeaf yn debygol o ddylanwadu ar eu gallu i nofio yn erbyn llif dŵr mwy ffyrnig y tymhorau hyn. Mae'n bosib bydd gallu pysgod a brofa sychder eithafol i gyrraedd aeddfedrwydd (o faint daliadwy i bysgotwyr hamdden) ac ansawdd (ffitrwydd) uchel yn is na charfanau na brofa sychder eithafol. Awgrymir

byddai'r fath ffactorau yn debygol o roi pwysau ychwanegol ar hydwythedd poblogaethau *Salmo* i adfer rhwng sychderau.

Bydd cymhwysiad canfyddiadau'r astudiaeth hon gan lunwyr polisi yn ddibynol ar amcanion rhanddeiliaid amrywiol. I'r pysgotwr hamdden, a'r economi lewyrchus sydd o'i gwmpas, ymddengys fod canfod goblygiadau lleihad yn nifer a ffitrwydd pariaid *Salmo* ar gyfer cynhyrchiant pysgod aeddfed yn flaenoriaeth. Wrth gwrs, nid cynhyrchiant pysgod gellid eu dal â gwialen yw unig wasanaeth ecosystemaidd dyfroedd llifeiriol. Bydd rhaid i unrhyw strategaeth reolaethol ystyried y gofynion amrywiol sydd o nentydd ac afonydd, gan gynnwys cynhyrchiant trydan a defnydd bwrdeistrefol.

## 7.2. Cyfyngiadau

Manylir cyfyngiadau penodol i'r arbrofion yn Nhrafodaethau'r penodau perthnasol. Yma, trafodir cyfyngiadau cyffredinol sydd angen eu hystyried. Ar ddechrau'r traethawd hwn, cyfeiriwyd at ddau gwestiwn elfennol a ofynna ecolegwyr wrth iddynt fynd ati i geisio rhagfynegi dylanwad newid hinsawdd byd-eang ar organeb: (1) Oes gan yr organeb y plastigedd ffenotypaidd i aros lle y mae hi?; a (2) Oes modd i'r organeb symud i gyflyrau hinsoddol addas? Daw'r cwestiynau hyn ar gefn tystiolaeth swmpus fod newid hinsawdd ddiweddar yn dylanwadu ar ystod eang o fodau byw; hynny o amgylcheddau tir y pegynau i foroedd y trofannau (Walther *et al.* 2002).

Yn ystod y ganrif nesaf, disgwylir i'r blaned gynhesu ar gyfradd sydd rhyw 20 gwaith yn gynt na digwyddiadau cynhesu eraill yn ystod y ddwy filiwn o flynyddoedd diwethaf (NASA 2017). Ymresymiad sy'n poeni cadwraethwyr yw na fydd gan organebau y gallu i esblygu nodweddion ymaddasol yn ddigon cyflym yn y cyfnod cynhesu hwn (Salamin *et al.* 2010; Bellard *et al.* 2012). Yn nhermau daearegol, mae'r cyfnod cynhesu hwn yn un byr. Yn fiolegol, mae'n gyfnod hirach. Hynny yw, mae cyfle i broses esblygiad ddethol unigolion addas i'r hinsawdd. Bydd pwysau esblygiadol eisoes wedi, ac yn parhau i ddethol unigolion addas i'r cyflyrau sydd ohoni.

Dylid cofio mai dosbarthiad dynol yw "rhywogaeth". Caiff hynny ei enghreifftio yn achos polytypaidd y brithyll brown (Elliott 1994). Rhaid ystyried y posibilrwydd, fodd bynnag, na fydd y pysgod hyn yn berchen â'r plastigedd ffenoteipaidd i ymdopi â'r newid hinsoddol arfaethedig. Ar y llaw arall, mae'n bosib y bydd gallu esblygiadol y grŵp hwn o bysgod yn ddigonol i addasu â'r gyfradd uchel o newid hinsoddol. Mae esiamplau o esblygiad sydyn wrth waith i'w weld eisioes mewn rhywogaethau amrywiol, gan gynnwys pysgod (Aguirre a Bell 2012; Lescak *et al.* 2015).

Problem sy'n rhaid i ecolegwyr ei hwynebu yw bod arbrofion sy'n efelychu newidiadau disgwylidig, gan gynnwys crynodiadau CO<sub>2</sub> uwch, newidiadau hydrolegol a thymereddau uwch, megis yr astudiaeth hon, wedi eu cynnal ar boblogaethau biotig sydd heb eu cynefino i gyflyrau'r triniaethau hyn. Hynny yw, mae casgliadau a rhagfynegiadau o ymatebion biota i newid hinsawdd fodern yn cael eu gwneud ar sail poblogaethau sydd, yn fwy na thebyg, heb fod yn cynrychioli'r poblogaethau fydd yn profi'r cyflyrau hinsoddol yn y dyfodol. Rhaid cofio hynny wrth ystyried goblygiadau a mentro cyffredinol canfyddiadau astudiaethau megis hon.

Un ateb posib yw dyluniad arbrofion lle bydd cenedlaethau olynol poblogaeth yn profi cyflyrau hinsoddol sy'n cynyddu'n raddol mewn gerwinder. Yn ymarferol, mae'r her o feithrin y fath boblogaethau'n cymhlethu wrth symud o organebau sydd â chyfnodau atgenhedlu byr i rai hirach. O'i gymharu ag anifail ac iddo gyfnod atgenhedlu byr, pryfyn *Drosophila* er enghraifft, byddai angen buddsoddiad arian ac amser sylweddol i feithrin brithyll ac eog gwyllt dan gyflyrau hinsoddol y dyfodol. Buddsoddiad a fyddai, o bosib, tu hwnt i werth ariannol y wybodaeth a ellir ei ennill o'r fath astudiaeth. Yn hytrach na dibynnu ar salmonidau i oresgyn newid hinsawdd, mae nifer o gadwraethwyr wedi mynd ati i geisio cynnal a chadw'r amgylcheddau hynny sy'n addas iddynt. Er enghraifft, mae'n wybyddus bod presenoldeb coed ar dorlannau nentydd yn cadw tymheredd y dŵr yn isel heb amharu'n negyddol ar gynhaliant ysglyfaeth nentydd (Thomas *et al.* 2015; 2016).

Plethir y traethawd hwn ynghyd â'r llinyn cyffredinol o ddefnyddio dyluniadau arbrofol safonol (CARD yn enwedig) sy'n ystyrion ar raddfeydd ecosystemau cyfan. Ceir pŵer dilysu uchel gan y fath astudiaethau, gan iddynt roi damcaniaethau ar brawf mewn gwir ecosystemau a'u cymhlethodau niferus. Man amlwg am ddatblygiad o'r astudiaethau a adroddir yn y traethawd hwn yw defnydd o'r fethodoleg hydwyth a throsglwyddadwy a gyflwynir ym Mhennod 3 ar gyfer cynnal arbrofion rheoledig CARD yn y maes. Nid yw'r dull hwn wedi ei gyfyngu i astudiaeth pysgod ac infertebratau. Cynigir y byddai'r fethodoleg yn ddefnyddiol ar gyfer profi dylanwad llifoedd isel ar amrediad o organebau nantyddol, ynghyd â chynhaeafu data gwerthfawr o ddylanwad llifoedd isel ar sail gweoedd bwyd.

Nod yr astudiaethau cyfredol yw cyfrannu at ddealltwriaeth o ddylanwad tebygol newid hinsawdd cyfredol ar boblogaethau *Salmo*. Yn benodol, llenwir bwlch data ar ddylanwad llifoedd isel a sychderau ar y pysgod. Neges gyffredinol y canfyddiadau yw bod arllwysiad is â'r gallu i ddylanwadu ar gyllidebau bioegniol ecosystemau, gan leihau gallu dyfroedd llifeiriol i gynnal niferoedd ac ansawdd pariaid brithyll (*S. trutta*)

ac eog (*S. salar*). I'r economegydd, a lluo o bysgotwyr hamdden, tynged pysgod aeddfed y boblogaeth wyllt fel helwriaeth fydd o bwys, yn hytrach na'r pysgod ifanc. Y cam nesaf, mwyaf amlwg, yw amcan effaith niferoedd a ffitrwydd is pariad ar gynhyrchiant pysgod aeddfed yn hwyrach yn y gylchred fywyd.

### 7.3. Casgliad

Prin yw'r pysgod sydd wedi eu hastudio cystal â brithyllod ac eogiaid y *Salmo* (Jonsson a Jonsson 2011). Maent wedi chwarae rhan yn ffurfiad llên werinol a diwylliannau cymdeithasau. Yn y byd modern, cynrychiolant gyfran annatod o bysgodfa'r Ddaear; pysgodfa fydd angen cynnal 2.5 biliwn o bobl ychwanegol dros y 40 mlynedd nesaf (Worldometers 2017a). I rywogaethau yng nghyfnod arfaethedig yr Anthroposen, mae bod yn berchen ar briodweddau sydd o ddefnydd i bobl yn nodwedd esblygiadol fanteisiol. Er enghraifft, mae bron i 19 biliwn o ieir ar y Ddaear bellach, neu tair i bob person, ar sail eu defnydd i ddynoliaeth (*The Economist* 2011). Yr eog (*S. salar*) sydd ar flaen y gad yn natblygiad anifeiliaid fferm wedi'u haddasu'n enynnol ac mae'r brithyll (*S. trutta*) wedi'i gyflwyno ledled y byd er budd pysgotwyr hamdden. O safbwynt ffitrwydd esblygiadol, ymddengys fod dyfodol cadarn gan y *Salmo* dof.

Caiff dosraniadau 'cynhenid' y brithyll a'r eog eu diffinio fel dyfroedd Ewrop a Gogledd America, sef y nentydd ac afonydd y bu iddynt gytrfegu oddeutu 14,000 o flynyddoedd yn ôl pan giliodd yr Oes Iâ diweddaraf. Prif werth poblogaethau gwyllt, 'cynhenid' y brithyll a'r eog yw fel helwriaeth i bysgotwyr hamdden. Wrth i boblogaeth *Homo sapiens* ehangu a datblygu'n gymdeithasol ac yn economaidd, mae hinsawdd y Ddaear yn brysur newid. Nid yw'n annisgwyl i system (ecosystemau'r blaned yn yr achos hwn) ymateb i effeithydd (cyflyrau hinsoddol). Fel pob newid sylweddol yn hanes y blaned, mae ffurfiad y Pangaea Newydd a dechreuad yr Anthroposen yn golygu newid i strwythur ei biota (Barnosky *et al.* 2011). Yn ystod difodiant torfol rhywogaethau, y mae cilfachau ecolegol yn agor i'w llenwi gan organebau eraill. Bydd unrhyw nod cadwraethol yn ganlyniad i flaenoriaethau pobl. O ymuno â rhestr anifeiliaid fferm a helwriaeth dynoliaeth, mae lle eog yr Iwerydd a'r brithyll brown fel aelodau o bysgodfa fyd-eang y dyfodol yn ymddangos yn gadarn. Llai amlwg yw tynged y boblogaeth wyllt gynhenid. Ceir nifer o sefydliadau cadwraethol penodol ar gyfer y pysgod hyn (e.e. North Atlantic Salmon Conservation Organization, Salmon & Trout Conservation, The Wild Trout Trust), sy'n ymddangos i adlewyrchu awydd cryf i gynnal poblogaeth wyllt pysgod *Salmo* ar sail gwerth economaidd a diwylliannol,

cenedlaethol a rhyngwladol. Bydd darpariaeth gwybodaeth empeiraidd ddibynadwy yn hanfodol ar gyfer y nod hwnnw.

## 8. Cyfeiriadaeth

Aguirre, W.E. a Bell, M.A. (2012). Twenty years of body shape evolution in a threespine stickleback population adapting to a lake environment. *Biological Journal of the Linnean Society* **105**:817-831.

Altinbilek, D. (2002). The role of dams in development. *International Journal of Water Resources Development* **18**:9-24.

Allan, I.R.H. a Ritter, J.A. (1977). Salmonid terminology. *ICES Journal of Marine Science* **37**:293-299.

Allan, J.D. (1981). Determinants of diet of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in a mountain stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **38**:184-192.

Allan, J.D. (1987). Macroinvertebrate drift in a Rocky Mountain stream. *Hydrobiologia* **144**:261-268.

Andrews, A.C. (1955). Greek and Latin terms for salmon and trout. *Transactions and Proceedings of the American Philological Association* **86**:308-318

Armstrong, J.D., Braithwaite, V.A. a Fox, M. (1998). The response of wild Atlantic salmon parr to acute reductions in water flow. *Journal of Animal Ecology* **67**:292-297.

Arnekleiv, J.V., Urke, H.A., Kristensen, T., Halleraker, J.H. a Flodmark, L.E.W. (2004). Recovery of wild, juvenile brown trout from stress of flow reduction, electrofishing, handling and transfer from river to an indoor simulated stream channel. *Journal of Fish Biology* **64**:541-552.

Austreng, E., Storebakken, T. ac Åsgård, T. (1987). Growth rate estimates for cultured atlantic salmon and brown trout. *Aquaculture* **60**:157-160.

Awdurdod Afonydd Cenedlaethol (1993). Resident Brown Trout: A Management and Implementation and Progress Report – Welsh Region. St Mellons: Fisheries Department, AAC – Welsh Region.

Bachman, R.A. (1984). Foraging behavior of free-ranging wild and hatchery brown trout in a stream. *Transactions of the American Fisheries Society* **113**:1-32.

Baglinière, J.L. a Maisse, G. (1999). Biology and Ecology of the Brown and Sea Trout. Llundain: Springer.

Bakke, T.A. a Harris, P.D. (1998). Diseases and parasites in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**:247-266.

Baran, P., Delacoste, M., Dauba, F., Lascaux, J., Belaud, A. a Lek, S. (1995). Effects of reduced flow on brown trout (*Salmo trutta* L.) populations downstream dams in French Pyrenees. *River Research and Applications* **10**:347-361.

Barnosky, A.D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G.O., Swartz, B., Quental, T.B., Marshall, C. *et al.* (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* **471**:51-57.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. a Palutikof, J. (2008). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. a Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* **67**:1–48.

Baumgärtner, D. a Rothhaupt, K.O. (2003). Predictive length–dry mass regressions for freshwater invertebrates in a pre-alpine lake littoral. *International Review of Hydrobiology* **88**:453-463.

Beaumont, W.R.C. (2011). *Electric Fishing: a Complete Guide to Theory and Practice*. Dorset: Game & Wildlife Conservation Trust.

Bednarek, A.T. (2001). Undamming rivers: a review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management* **27**:803-814.

Begon, M., Townsend, C.R. a Harper, J.L. (2006). *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4<sup>ydd</sup> arg. Malden: Blackwell Publishing.

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. a Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters* **15(4)**:365-377.

Bembo, D.G., Beverton, R.J.H., Weightman, A.J. a Cresswell, R.C. (1993). Distribution, growth and movement of River Usk brown trout (*Salmo trutta*). *Journal of Fish Biology* **43**:45-52.

Benke, A.C., Hury, A.D., Smock, L.A. a Wallace, J.B. (1999). Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular

reference to the southeastern United States. *Journal of the North American Benthological Society*, **18**:308-343.

Benton, T.G., Solan, M., Travis, J.M. a Sait, S.M. (2007). Microcosm experiments can inform global ecological problems. *Trends in Ecology & Evolution* **22**:516-521.

Berland, G., Nickelsen, T., Heggenes, J., Økland, F., Thorstad, E.B. a Halleraker, J. (2004). Movements of wild Atlantic salmon parr in relation to peaking flows below a hydropower station. *River Research and Applications* **20**:957-966.

Beverton, R.J.H. a Holt, S.J. (1957). On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Llundain: UK Ministry of Agriculture.

Boavida, I., Harby, A., Clarke, K.D. a Heggenes, J. (2017). Move or stay: habitat use and movements by Atlantic salmon parr (*Salmo salar*) during induced rapid flow variations. *Hydrobiologia* **785**:261-275.

Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H. a White, J.S.S. (2009). Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* **24**:127-135.

Bollache, L., Kaldonski, N., Troussard, J.P., Lagrue, C. a Rigaud, T. (2006). Spines and behaviour as defences against fish predators in an invasive freshwater amphipod. *Animal Behaviour* **72**:627-633.

Boulton, A. J. (2003). Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology* **48**:1173-1185.

Bovee, K.D. a Milhous, R. (1978). *Hydraulic Simulation in Instream Flow Studies: Theory and Techniques*. Instream Flow and Information Paper 5. Washington: United States Fish and Wildlife Service, Office of Biological Service.

Bradford, M.J. (1997). An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases. *River Research and Applications* **13**:395-401.

Bradford, M.J., Taylor, G.C., Allan, J.A. a Higgins, P.S. (1995). An experimental study of the stranding of juvenile coho salmon and rainbow trout during rapid flow decreases under winter conditions. *North American Journal of Fisheries Management*, **15**:473-479.

Brahic, C. (2017). It's not the end of the world. *New Scientist* 10 Mehefin 2017, tud. 22.



Brännäs, E. (1995). First access to territorial space and exposure to strong predation pressure: a conflict in early emerging Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fry. *Evolutionary Ecology* **9**:411-420.

Braun, D.R., Harris, J.W., Levin, N.E., McCoy, J.T., Herries, A.I., Bamford, M.K., Bishop, L.C. *et al.* (2010). Early hominin diet included diverse terrestrial and aquatic animals 1.95 Ma in East Turkana, Kenya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**:10002-10007.

Bray, J.R. a Curtis, J.T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* **27**:325-349.

Brett, J.R. (1952). Temperature tolerance in young Pacific salmon, genus *Oncorhynchus*. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **9**:265-323.

Brett, J.R. (1964). The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **21**:183-1226.

Brewer, P.A., Maas, G.S. a Macklin, M.G. (2000). A fifty-year history of exposed riverine sediment Dynamics on Welsh rivers. *BHS Occasional Paper* **11**:245-252.

British Geological Survey. (1999). Regional Geochemistry of Wales and Part of West-Central England: Stream Water. Nottingham: British Geological Survey.

British Geological Survey. (2017). *Wales* [Ar-lein]. Ar gael yn: <http://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=2928> [Cyrchwyd: 8 Awst 2017].

Brooker, M.P., Morris, D.L. a Hemsworth, R.J. (1977). Mass mortalities of adult salmon, *Salmo salar*, in the R. Wye, 1976. *Journal of Applied Ecology* **14**:409-417.

Brown, J.H., Allen, A.P. a Gillooly, J.F. (2007). The Metabolic Theory of Ecology and the Role of Body Size in Marine and Freshwater Ecosystems. Yn: Hildrew, A.G., Raffaelli, D.G. a Edmunds-Brown, R. (golyg.) *Body Size: The Structure and Function of Aquatic Ecosystems*. Caergrawnt: Cambridge University Press, tud. 1-15.

Burgherr, P. a Meyer, E.I. (1997). Regression analysis of linear body dimensions vs. dry mass in stream macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* **139**:101-112.

Burgherr, P. a Meyer, E.I. (1997). Regression analysis of linear body dimensions vs. dry mass in stream macroinvertebrates. *Archiv Fur Hydrobiologie* **139**:101-112.

Burkett, V.R., Suarez, A.G., Bindi, M., Conde, C., Mukerji, R., Prather, M.J., St Clair, A.L. *et al.* (2014). Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Yn:

Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M et al. (golyg) *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation Vulnerability*. Caergrawnt: Cambridge University Press, 1132 tud.

Burt, T. (1994). Long-term study of the natural environment-perceptive science or mindless monitoring? *Progress in Physical Geography* **18**:475-496.

Calder, W.A. (1984). *Size, Function and Life History*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Cazaubon, A. a Giudicelli, J. (1999). Impact of residual flow on the physical characteristics and benthic community (algae, invertebrates) of a regulated Mediterranean river: the Durance, France. *Regulated Rivers: Research and Management* **15**:441-461.

CEH Centre for Ecology & Hydrology (2017). *National River Flow Archive* [Ar-lein]. Ar gael yn: <http://nrfa.ceh.ac.uk/data/station/spatial/66006> [Cyrchwyd: 29 Medi 2017].

Clarke, G.L. (1946). Dynamics of production in a marine area. *Ecological Monographs* **16**:321-335.

Clarke, K.R. a Warwick, R.M. (2001). *Change in Marine Ccommunities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2<sup>il</sup> arg. Plymouth: PRIMER-E.

Cocherell, S.A., Chun, S.N., Cocherell, D.E., Thompson, L.C., Klimley, A.P. a Cech, J.J. (2012). A lateral-displacement flume for fish behavior and stranding studies during simulated pulsed flows. *Environmental Biology of Fishes* **93**:143-150.

Comix, B. (2017). *Mayfly vector silhouettes and outline* [Delwedd o dan drwydded Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0] Ar gael yn: <http://www.supercoloring.com/silhouettes/mayfly> [Cyrchwyd: 20 Medi 2017].

Cook, T. (2017). Damned if you do... *New Scientist* 1 Gorffennaf 2017, tud. 36.

Cowx, I.G., Young, W.O. a Hellowell, J.M. (1984). The influence of drought on the fish and invertebrate populations of an upland stream in Wales. *Freshwater Biology* **14**:165-177.

Crozier, W.W. a Kennedy, G.J.A. (1995). The relationship between a summer fry (0+) abundance index, derived from semi-quantitative electrofishing, and egg deposition of Atlantic salmon, in the River Bush, Northern Ireland. *Journal of Fish Biology* **47**:1055-1062.

Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M.C., Frame, D. Mahowald, N. a Winther, J.-G. (2013). Introduction. Yn: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J. Nauels, A. *et al.* (golyg.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Caergrawnt: Cambridge University Press.

Cushing, D.H. (1973). Dependence of recruitment on parent stock. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **30**:1965-1976.

Chevenet, F., Dolédec, S. a Chessel, D. (1994). A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology* **31**:295-309.

DaftLogic. (2015) *Google Maps Area Calculator Tool* [Ar-lein] Ar gael yn: <https://www.daftlogic.com/projects-google-maps-area-calculator-tool.htm> [Cyrchwyd: 2015]

DaftLogic. (2018) *Google Maps Find Altitude* [Ar-lein] Ar gael yn: <https://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm> [Cyrchwyd: 2018]

Dahl, J. a Greenberg, L. (1997). Foraging rates of a vertebrate and an invertebrate predator in stream enclosures. *Oikos* **78**:459-466.

Dalrymple, G.B. (2001). The age of the Earth in the twentieth century: a problem (mostly) solved. Geological Society, London, Special Publications, **190**:205-221.

Danehy, R.J., Ringler, N.H., Stehman, S.V. a Hassett, J.M. (1998). Variability of fish densities in a small catchment. *Ecology of Freshwater Fish* **7**:36-48.

Dare, M.R., Hubert, W.A. a Gerow, K.G. (2002). Changes in habitat availability and habitat use and movements by two trout species in response to declining discharge in a regulated river during winter. *North American Journal of Fisheries Management* **22**:917-928.

Davidson, R.S., Letcher, B.H. a Nislow, K.H. (2010). Drivers of growth variation in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*): an elasticity analysis approach. *Journal of Animal Ecology* **79**:1113-1121.

Davies, A. a Whittaker, D. (2010). *Walking on the Brecon Beacons: A Walker's Guide to the National Park*. Tsieina: Latitude Press.

- De Crespin De Billy, V. a Usseglio-Polatera, P. (2002). Traits of brown trout prey in relation to habitat characteristics and benthic invertebrate communities. *Journal of Fish Biology* **60**:687-714.
- De Crespin De Billy, V., Dumont, B., Lagarrigue, T., Baran, P. a Statzner, B. (2002). Invertebrate accessibility and vulnerability in the analysis of brown trout (*Salmo trutta* L.) summer habitat suitability. *River research and applications* **18**:533-553.
- Debowski, P. a Beall, E. (1995). Influence of dewatering on movements and distribution of salmon parr (*Salmo salar* L.) in relation to habitat characteristics in an experimental stream. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture* **337/338/339**: 267–275.
- Dewson, Z.S., James, A.B.W. a Death, R.G. (2007). A review of the consequences of decreased flow for instream habitat and macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* **26**:401-415.
- Dolbeth, M., Cusson, M., Sousa, R. a Pardal, M.A. (2012). Secondary production as a tool for better understanding of aquatic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **69**:1230-1253.
- Durance, I. a Ormerod, S. (2007). Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology* **13**:942-957.
- Englund, G. a Malmqvist, B. (1996). Effects of flow regulation, habitat area and isolation on the macroinvertebrate fauna of rapids in north Swedish rivers. *Regulated Rivers: Research and Management* **12**:433-445.
- Elliott, J. M. (1981). Some Aspects of Thermal Stress on Freshwater Teleosts. Yn: Pickering, A. D. (golyg.) *Stress and Fish*. Llundain: Academic Press, tud. 209-45.
- Elliott, J.M. (1973). The food of brown and rainbow trout (*Salmo trutta* and *S. gairdneri*) in relation to the abundance of drifting invertebrates in a mountain stream. *Oecologia* **12**:329-347.
- Elliott, J.M. (1975a). Number of meals in a day, maximum weight of food consumed in a day and maximum rate of feeding for brown trout, *Salmo trutta* L. *Freshwater Biology* **5**:287-303.
- Elliott, J.M. (1975b). Weight of food and time required to satiate brown trout (*Salmo trutta* and *S. gairdneri*) in relation to the abundance of drifting invertebrates in a mountain stream. *Freshwater Biology* **12**:329-347.

Elliott, J.M. (1975c). The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on maximum rations. *Journal of Animal Ecology* **44**:805-21.

Elliott, J.M. (1975ch). The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on reduced rations. *Journal of Animal Ecology* **44**:823-42.

Elliott, J.M. (1982). The effects of temperature and ration size on the growth and energetics of salmonids in captivity. *Comparative Biochemistry and Physiology* **73**:81-91.

Elliott, J.M. (1985). Population regulation for different life-stages of migratory trout *Salmo trutta* in a Lake District stream, 1966-83. *The Journal of Animal Ecology* **54**:617-638.

Elliott, J.M. (1987). Population regulation in contrasting populations of trout *Salmo trutta* in two Lake District streams. *The Journal of Animal Ecology* **56**:83-98.

Elliott, J.M. (1991). Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology* **25**:61-70.

Elliott, J.M. (1993). The self-thinning rule applied to juvenile sea-trout, *Salmo trutta*. *Journal of Animal Ecology* **62**:371-379.

Elliott, J.M. (1994). *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. Rhydychen: Oxford University Press.

Elliott, J.M. (2006). Periodic habitat loss alters the competitive coexistence between brown trout and bullheads in a small stream over 34 years. *Journal of Animal Ecology* **75**:54-63.

Elliott, J.M. a Elliott, J.A. (2006). A 35-year study of stock–recruitment relationships in a small population of sea trout: assumptions, implications and limitations for predicting targets. Yn: Harris, G. a Milner, N. (golyg.) *Sea Trout: Biology, Conservation and Management*. Rhydychen: Blackwell Publishing, tud. 257-278.

Elliott, J.M., Hurley, M.A. a Elliott, J.A. (1997). Variable effects of droughts on the density of a sea-trout *Salmo trutta* population over 30 years. *Journal of Applied Ecology* **34**:1229-1238.

Elliott, J.M., Hurley, M.A. a Fryer, R.J. (1995). A new, improved growth model for brown trout, *Salmo trutta*. *Functional Ecology* **9**:290-298.

Everest, F.H. a Chapman, D.W. (1972). Habitat selection and spatial interaction by juvenile chinook salmon and steelhead trout in two Idaho streams. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **29**:91-100.

Ganihar, S.R. (1997). Biomass estimates of terrestrial arthropods based on body length. *Journal of Biosciences* **22**:219-224.

FAO Food and Agriculture Organisation of the United Nations (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all*. Rhufain: Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

Gardiner, R. a Shackley, P. (1991). Stock and recruitment and inversely density-dependent growth of salmon, *Salmo salar* L., in a Scottish stream. *Journal of Fish Biology* **38**:691-696.

Fausch, K.D. (1984). Profitable stream positions for salmonids: relating specific growth rate to net energy gain. *Canadian Journal of Zoology* **62**:441-452.

Fausch, K.D. a White, R.J. (1981). Competition between brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*) for positions in a Michigan stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **38**: 1220-1227.

Ferguson, A. (2006). Genetics of Sea Trout, with Particular Reference to Britain and Ireland. Yn: Harris, G.S. a Milner, N.J. (golyg.) *Sea Trout: Biology, Conservation & Management*. Rhydychen: Blackwell, tud. 157-182.

Flodmark, L.E.W., Forseth, T., L'Abée-Lund, J.H. a Vøllestad, L.A. (2006). Behaviour and growth of juvenile brown trout exposed to fluctuating flow. *Ecology of Freshwater Fish* **15**:57-65.

Good, S.P., Dodson, J.J., Meekan, M.G. a Ryan, D.A. (2001). Annual variation in size-selective mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **58**:1187-1195.

Gordon, N.D., McMahon, T.A. a Finlayson, B.L. (1992). *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. Chichester: John Wiley & Sons.

Gore, J.A. (1977). Reservoir manipulations and benthic macroinvertebrates in a prairie river. *Hydrobiologia* **55**:113-123.

Gore, J.A. (2007). *Discharge Measurements and Streamflow Analysis*. Yn: Hauer, F.R. a Lamberti, G.A. (golyg.) *Methods in Stream Ecology*. Llundain: Academic Press, tud. 51-77.

Foulds, S.A., Griffiths, H.M., Macklin, M.G. a Brewer, P.A. (2014). Geomorphological records of extreme floods and their relationship to decadal-scale climate change. *Geomorphology* **216**:193-207.

Graham, C.T. a Harrod, C. (2009). Implications of climate change fro the fishes of the British Isles. *Journal of Fish Biology* **74**:1143-1205.

Gray, C., Figueroa, D.H., Hudson, L.N., Ma, A., Perkins, D. a Woodward, G. (2015). Joining the dots: An automated method for constructing food webs from compendia of published interactions. *Food Webs* **5**:11-20.

Gray, M. (1985) UPDATE: The Quaternay Ice Age. Caergrawnt: Cambridge University Press.

Greenberg, L.A. (1992). The effect of discharge and predation on habitat use by wild and hatchery brown trout (*Salmo trutta*). *Regulated Rivers: Research & Management* **7**:205-212.

Greenberg, L.A. (1994) Effects of predation, trout density and discharge on habitat use by brown trout, *Salmo trutta*, in artificial streams. *Freshwater Biology* **32**:1-11.

Griffiths, H.M. (2008). Geomorffoleg afonol Cymru: heddiw, ddoe ac yfory. *Gwerddon* **1**:36-70.

Gruner, D.S. (2003). Regressions of length and width to predict arthropod biomass in the Hawaiian Islands. *Pacific Science* **57**:325-336.

Gustafsson, P., Bergman, E. a Greenberg, L. A. (2010). Functional response and size-dependent foraging on aquatic and terrestrial prey by brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecology of Freshwater Fish* **19**:170-177.

Gutiérrez-Cánovas, C., Worthington, T.A., Noble, D.G., Perkins, D.M., Vaughan, I.P., Woodward, G., Ormerod, S. J. *et al.* (wrthi'n paratoi). Functional identity outweighs diversity in sustaining multiple ecosystem services.

Haldane, J.B.S. (1953). Animal populations and their regulation. *New Biology* **15**:9-24.

Haldane, J.B.S. (1956). The relation between density regulation and natural selection. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* **145**:306-308.

Halleraker, J.H., Saltveit, S.J., Harby, A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad, H.P. a Kohler, B. (2003). Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during

rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications* **19**:589-603.

Handeland, S.O., Imsland, A.K. a Stefansson, S.O. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture* **283**:36-42.

Hansen, J., Nazarenko, L., Ruedy, R., Sato, M., Willis, J., Del Genio, A., Koch, D. et al. (2005). Earth's energy imbalance: Confirmation and implications. *Science* **308**:1431-1435.

Harris, R.M.L. (2006). *The Effect of Experimental Drought Disturbance on Macroinvertebrate Assemblages in Stream Mesocosms*. Traethawd PhD, University of Birmingham.

Hauer, F.R. a Lamberti, G.A. (golyg.) (2007). *Methods in Stream Ecology*. 2<sup>il</sup> arg. Amsterdam: Academic Press.

Hayes, D.B., Bence, J.R., Kwak, T.J. a Thompson, B.E. (2007). Abundance, Biomass and Production. Yn: Guy, C.S. a Brown, M.L. (golyg.) *Analysis and Interpretation of Freshwater Fisheries Data*. Bethesda: American Fisheries Society, tud. 327-374.

Hayes, J.W. a Young R.G. (2001). *Effects of low flow on trout and salmon in relation to the regional water plan: Otago*. Seland Newydd: Cawthron Institute.

Heggenes, J., Omholt, P.K., Kristiansen, J.R., Sageie, J., Økland, F., Dokk, J.G. a Beere, M.C. (2007). Movements by wild brown trout in a boreal river: response to habitat and flow contrasts. *Fisheries Management and Ecology* **14**:333-342.

Hess, A.D. (1941). New limnological sampling equipment. *Limnological Society of America* **6**:1-5.

Huntingford, F.A., Aird, D., Joiner, P., Thorpe, J.E., Braithwaite, V.A. a Armstrong, J. D. (1999). How juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., respond to falling water levels: experiments in an artificial stream. *Fish Management and Ecology* **6**:357-364.

Huntingford, F.A., Braithwaite, V.A., Armstrong, J.D., Aird, D. a Joiner, P. (1998). Homing in juvenile salmon in response to imposed and spontaneous displacement: experiments in an artificial stream. *Journal of Fish Biology* **53**:847-852.

Hurlbert, S.H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* **54**:187-211.



Huryñ, A.D. (1998). Ecosystem-level evidence for top-down and bottom-up control of production in a grassland stream system. *Oecologia* **115**:173-183.

Hutchinson, G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* **22**:415-427.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D. *et al.* (golyg.)]. Caergrawnt: Cambridge University Press.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Summary for Policymakers. Yn: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A. *et al.* (golyg.) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Caergrawnt: Cambridge University Press, tud. 1-30.

Isely, J.J. a Grabowski, T.B. (2007). Age and Growth. Yn: Guy, C.S. a Brown, M.L. (golyg.) *Analysis and Interpretation of Freshwater Fisheries Data*. Bethesda: American Fisheries Society, tud. 187-228.

Ivlev, V.S. (1945). The biological productivity of waters. (Fersiwn Saesneg, 1966, *Journal Fisheries Research Board of Canada* **23**: 1727-1759).

Ivlev, V.S. (1966). The biological productivity of waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **23**:1727-1759.

James, A.B.W., Dewson, Z.S. a Death, R.G. (2007). The effect of experimental flow reductions on macroinvertebrate drift in natural and streamside channels. *River Research and Applications* **24**: 22-35.

Jenkins, T.M. (1969). Social structure, position choice and micro-distribution of two trout species (*Salmo trutta* and *Salmo gairdneri*) resident in mountain streams. *Animal Behaviour Monographs* **2**: 55-123.

Jentsch, A., Kreyling, J. a Beierkuhnlein, C. (2007). A new generation of climate-change experiments: events, not trends. *Frontiers in Ecology and the Environment* **5**:365-374.

Johnsson, J.I. a Forser, A. (2002). Residence duration influences the outcome of territorial conflicts in brown trout (*Salmo trutta*). *Behavioral Ecology Sociobiology* **51**:282–286.

Jones, A.L. (2017). Hanes Cychod Salmon Caernarfon. Caernarfon: Gwasg y Bwthyn.

Jones, J. W. (1959). The Salmon. Llundain: Collins.

Jonsson, B. a Jonsson, N. (2009). A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology* **75**:2381-2447.

Jonsson, B. a Jonsson, N. (2011). Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout: Habitat as a Template for Life Histories. Dordrecht: Springer.

Jonsson, B., Forseth, T., Jensen, A.J. a Næsje, T.F. (2001). Thermal performance of juvenile Atlantic Salmon, *Salmo salar* L. *Functional Ecology* **15**:701-711.

Jowett, I.G., Richardson, J. a Bonnett, M.L. (2005). Relationship between flow regime and fish abundances in a gravel-bed river, New Zealand. *Journal of Fish Biology* **66**:1419-1436.

Kalleberg, H. (1958). Observation in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar* L. and *Salmo trutta* L.). *Institute of Freshwater Research* **39**: 55-98.

Katopodis, C. a Williams, J.G. (2012). The development of fish passage research in a historical context. *Ecological Engineering* **48**:8-18.

Kemp, P.S., Gilvear, D.J. a Armstrong, J.D. (2003). Do juvenile Atlantic salmon parr track local changes in water velocity? *River Research and Applications* **19**:569-575.

Kennedy, B.P., Nislow, K.H. a Folt, C.L. (2008). Habitat-mediated foraging limitations drive survival bottlenecks for juvenile salmon. *Ecology* **89**:2529-2541.

Kiernan, J.D. a Moyle, P.B. (2012). Flows, droughts, and aliens: Factors affecting the fish assemblage in a Sierra Nevada, California, stream. *Ecological Applications* **22**:1146-1161.

Koehl, M.A.R. (1989). Discussion: From Individuals to Populations. Yn: Roughgarden, J., May, R.M. a Levin, S.A. (golyg.) *Perspectives in Ecological Theory*. Princeton: Princeton University Press, tud. 39-53

Konrad, C.P., Olden, J.D., Lytle, D.A., Melis, T.S., Schmidt, J.C., Bray, E.N., Freeman, M.C. *et al.* (2011). Large-scale flow experiments for managing river systems. *American Institute of Biological Sciences* **61**:948-959.

Kovats, R.S., Valentini, R., Bouwer, L.M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M. *et al.* (2014). Europe. Yn: Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, M. *et al.* (golyg.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Caergrawnt: Cambridge University Press, tud. 1267-1326.

Kruskal, J.B. (1964). Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. *Psychometrika* **29**:1-27.

Kwak, T.J. a Waters T.F. (1997). Trout production dynamics and water quality in Minnesota streams. *Transactions of the American Fisheries Society* **126**:35-48.

Lake, P.S. (2003). Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology* **48**:1161-1172.

Lake, P.S. (2011). *Drought and Aquatic Ecosystems: Effects and Responses*. Chichester: Wiley-Blackwell.

Landergren, P. (2004). Factors affecting early migration of sea trout *Salmo trutta* parr to brackish water. *Fisheries Research* **67**:283-294.

Lawton, J.H. (1996). The Ecotron facility at Silwood Park: the value of "big bottle" experiments. *Ecology* **77**:665-669.

Le Cren, E.D. (1969). Estimates of fish populations and production in small streams in England. Yn: Northcote, T.G. (golyg.) *Symposium on Salmon and Trout in Streams*. Vancouver: H. R. MacMillan Lectures in Fisheries, University of British Columbia.

Ledger, M.E. a Hildrew, A.G. (2001). Recolonization by the benthos of an acid stream following a drought. *Archiv für Hydrobiologie* **152**:1-17.

Ledger, M.E. a Milner, A.M. (2015). Extreme events in running waters. *Freshwater Biology* **60**:2455-2460.

Ledger, M.E., Brown, L.E., Edwards, F.K., Hudson, L.N., Milner, A.M. a Woodward, G. (2013b). Extreme climatic events alter aquatic food webs: a synthesis of evidence

from a mesocosm drought experiment. *Advances in Ecological Research* **48**:343-395.

Ledger, M.E., Brown, L.E., Edwards, F.K., Milner, A.M. a Woodward, G. (2013a). Drought alters the structure and functioning of complex food webs. *Nature Climate Change* **3**:223-227.

Ledger, M.E., Edwards, F.K., Brown, L.E., Milner, A.M. a Woodward, G. (2011). Impact of simulated drought on ecosystem biomass production: an experimental test in stream mesocosms. *Global Change Biology* **17**:2288-2297.

Ledger, M.E., Harris, R.M., Armitage, P.D. a Milner, A.M. (2012). Climate Change Impacts on Community Resilience: Evidence from a Drought Disturbance Experiment. *Advances in Ecological Research* **462**:211-258.

Lescak, E.A., Bassham, S.L., Catchen, J., Gelmond, O., Sherbick, M.L., von Hippel, F.A. a Cresko, W.A. (2015). Evolution of stickleback in 50 years on earthquake-uplifted islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **112**:e7204-e7212.

Li, H.W. a Li, J.L. (2007). Role of Fish Assemblages in Stream Communities. Yn: Hauer, F. R. a Lamberti, G. A. (golyg.) *Methods in Stream Ecology*. Llundain: Academic Press, .489-533.

Likens, G.E. (1989). *Long-term Studies in Ecology*. Efrog Newydd: Springer.

Lobón-Cerviá, J. (2007). Numerical changes in stream-resident brown trout (*Salmo trutta*): uncovering the roles of density-dependent and density-independent factors across space and time. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **64**:1429-1447.

Lu, X., Gray, C., Brown, L.E., Ledger, M.E., Milner, A.M., Mondragón, R.J., Woodward, G. *et al.* (2016). Drought rewires the cores of food webs. *Nature Climate Change* **6**:875-878.

Lugthart, G.J. a Wallace, J.B. (1992). Effects of disturbance on benthic functional structure and production in mountain streams. *Journal of the North American Benthological Society* **11**:138-164.

Llywodraeth Cymru (2017). [Ar-lein] Ar gael yn: <https://statswales.gov.wales/Catalogue/Population-and-Migration/Population/Estimates/Local-Authority/populationestimates-by-localauthority-year> [Cyrchwyd: 15 Medi 2017]

Macdonald, N. (2013). Reassessing flood frequency for the River Trent through the inclusion of historical flood information since AD 1320. *Hydrology Research* **44**:215-233.

Macdonald, P. a Du, J. (2012). mixdist: Finite Mixture Distribution Models. Fersiwn pecyn R: 0.5-4. URL <https://cran.r-project.org/web/packages/mixdist/index.html>

MacKillop, J. (2004). A Dictionary of Celtic Mythology. Rhydychen: Oxford University Press.

MacNeil, C., Elwood, R.W. a Dick, J.T. (1999). Predator–prey interactions between brown trout *Salmo trutta* and native and introduced amphipods; their implications for fish diets. *Ecography* **22**:686-696.

Magnuson, J.J. (1990). Long-term ecological research and the invisible present. *BioScience* **40**:495-501.

Mann, R.H.K. a Blackburn, J.H. (1991). The biology of the eel *Anguilla anguilla* (L.) in an English chalk stream and interactions with juvenile trout *Salmo trutta* L. and salmon *Salmo salar* L. *Hydrobiologia* **218**:65-76.

Mann, R.H.K. a Penczak, T. (1986). Fish production in rivers: a review. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **33**:233-247.

Marsh, T.J. a Lees, M.L. (2003). Hydrological Data UK: Hydrometric Register and Statistics 1996-2000. Wallingford: Centre for Ecology and Hydrology.

Marshall, M. (2013). Farmed fish overtakes farmed beef for the first time. *New Scientist* 18 Mehefin 2013, [Ar-lein].

McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E. a Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology & Evolution* **21**:178-185.

McIntosh, M.D., Benbow, M.E. a Burky, A.J. (2002). Effects of stream diversion on riffle macroinvertebrate communities in a Maui, Hawaii, stream. *River Research and Applications* **18**:569-581.

McMahon, T.A. a Bonner, J.T. (1983). On Size and Life. Efrog Newydd: Scientific American Books.

Méhot, G., Hudon, C., Gagnon, P., Pinel-Alloul, B., Armellin, A. a Poirier, A.M.T. (2012). Macroinvertebrate size–mass relationships: how specific should they be? *Freshwater Science* **31**:750-764.

Meyer, E. (1989). The relationship between body length parameters and dry mass in running water invertebrates. *Archiv Fur Hydrobiologie* **117**:191-203.

Microsoft (2013). Excel. Microsoft Corporation.

Microsoft (2016). Excel. Microsoft Corporation.

Milner, N.J., Cowx, I.G. a Whelan, K.F. (2012). Salmonids and flows: a perspective on the state of the science and its application. *Fisheries Management and Ecology* **19**:445-450.

Milner, N.J., Gee, A.S. a Hemsworth, R.J. (1978). The production of brown trout, *Salmo trutta* in tributaries of the Upper Wye, Wales. *Journal of Fish Biology* **13**:599-612.

Mills, C.A. a Mann, R.H.K. (1983). The bullhead *Cottus gobio*, a versatile and successful fish. *Annual Report of the Freshwater Biology Association* **51**:76-88.

Minshall, G.W. a Winger, P.V. (1968). The effect of reduction in stream flow on invertebrate drift. *Ecology* **49**:580-582.

Miserendino, M.L. (2001). Length-mass relationships for macroinvertebrates in freshwater environments of Patagonia (Argentina). *Ecología Austral* **11**:3-8.

Mosley, L.M. (2015). Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews* **140**:203-214.

Mougin, C., Azam, D., Caquet, T., Cheviron, N., Dequiedt, S., Le Galliard, J.F., Guillaume, O. *et al.* (2015). A coordinated set of ecosystem research platforms open to international research in ecotoxicology, AnaEE-France. *Environmental Science and Pollution Research* **22**:16215-16228.

NASA The National Aeronautics and Space Administration (2017). *Earth Observatory* [Ar-lein]. Ar gael yn: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/page3.php> [Cyrchwyd: 19 Medi 2017].

Nelson, J.S. (2006). *Fishes of the World*. 4<sup>yd</sup> arg. Hoboken: John Wiley & Sons.

NERC-DURESS (2017). *Diversity in Upland Rivers for Ecosystem Service Sustainability* [Ar-lein]. Ar gael yn: <http://nerc-duress.org/> [Cyrchwyd: 8 Medi 2017].

Nicola, G.G., Almodóvar, A. a Elvira, B. (2009). Influence of hydrologic attributes on brown trout recruitment in low-latitude range margins. *Oecologia* **160**:515-524.

Nislow, K. H. a Armstrong, J. D. (2012). Towards a life-history-based management framework for the effects of flow on juvenile salmonids in streams and rivers. *Fisheries Management and Ecology* **19**:451-463.

Nislow, K.H., Folt, C. a Seandel, M. (1998). Food and foraging behavior in relation to microhabitat use and survival of age-0 Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**:116-127.

Nislow, K.H., Magilligan, F.J., Folt, C.L. a Kennedy, B.P. (2002). Within-basin variation in the short-term effects of a major flood on stream fishes and invertebrates. *Journal of Freshwater Ecology* **17**:305-318.

Nislow, K.H., Sepulveda, A.J. a Folt, C.L. (2004). Mechanistic linkage of hydrologic regime to summer growth of age-0 Atlantic salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* **133**:79-88.

O'Callaghan, T. Biosphere 2: Saving the world within a world. *New Scientist* 24 Mehefin 2013, [Ar-lein].

O'Connor, J. F. a Power, G. (1976) Production by brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in four streams in the Matamek watershed, Quebec. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **33**:6-18.

Oksanen, J.F., Blanchet, G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P.R. (2017). vegan: Community Ecology Package. Fersiwn pecyn R: 2.4-1. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Ormerod, S.J. (2009). Climate change, river conservation and the adaption challenge. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **19**:609-613.

Ormerod, S.J. a Durance, I.D. (2009). Restoration and recovery from acidification in upland Welsh streams over 25 years. *Journal of Applied Ecology* **46**:164-174.

Ormerod, S.J., Jones, M.E., Jones, M.C. a Phillips, D.R. (2004). The effects of riparian forestry on invertebrate drift and brown trout in upland streams of contrasting acidity. *Hydrology and Earth System Sciences* **8**:578-588.

Parker, G.A. a Smith, J.M. (1990). Optimality theory in evolutionary biology. *Nature* **348**:27-33.

Pauly, D., Christensen, V., Gu nette, S. a Pitcher, T.J. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature* **418**: 689-695.

Pearce, F. (2017). Is our future better than we thought? *New Scientist* 2 Awst 2017, [Ar-lein].

Pedersen, C.U.A. (2016). *The Economic Potential for Closed Cage Fish Farming and the Total Economic Value of the Wild Salmon Stock: A Literature Review*. Traethawd MSc, The Arctic University of Norway.

Perkins, D.M., Yvon-Durocher, G., Demars, B.O., Reiss, J., Pichler, D.E., Friberg, N., Trimmer, M. *et al.* (2012). Consistent temperature dependence of respiration across ecosystems contrasting in thermal history. *Global Change Biology* **18**:1300-1311.

Peters, R.H. (1983). *The Ecological Implications of Body Size*. Efrog Newydd: Cambridge University Press.

Peterson, J.T., Thurow, R.F. a Guzevich, J.W. (2004). An evaluation of multipass electrofishing for estimating the abundance of stream-dwelling salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* **133**:462-475.

Pianka, E.R. (1970). On r-and K-selection. *The American Naturalist* **104**: 592-597.

Piccolo, J.J., Frank, B.M. a Hayes, J.W. (2014). Food and space revisited: The role of drift-feeding theory in predicting the distribution, growth, and abundance of stream salmonids. *Environmental Biology of Fishes* **97**:475-488.

Piniewski, M., Prudhomme, C., Acreman, M.C., Tylec, L., Oglęcki, P. a Okruszko, T. (2017). Responses of fish and invertebrates to floods and droughts in Europe. *Ecohydrology* **10**:e1793.

Poff, N.L. a Huryn, A.D. (1998). Multi-scale determinants of secondary production in Atlantic salmon (*Salmo salar*) streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**:201-217.

Poff, N.L. a Ward, J.V. (1991). Drift responses of benthic invertebrates to experimental streamflow variation in a hydrologically stable stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48**:1926-1936.

Poff, N.L. a Zimmerman, J.K. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* **55**:194-205.

Pope, K.L., Lochmann, S.E. a Young, M.K. (2010). Methods for Assessing Fish Populations. Yn: Quist, M.C. a Hubert, W.A. (golyg.) *Inland Fisheries Management in North America*. Bethesda: American Fisheries Society, 325-351.



Pulliam, H.R. (1989). Individual Behaviour and the Procurement of Essential Resources. In: Roughgarden, J., May, R.M. and Levin, S.A. (ed.) *Perspectives in Ecological Theory*. Princeton: Princeton University Press, pp. 25-38.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rader, R.B. (1997). A functional classification of the drift: traits that influence invertebrate availability to salmonids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **54**:1211-1234.

Raffaelli, D. and White, P.C. (2013). Ecosystems and their services in a changing world: an ecological perspective. *Advances in Ecological Research* **48**:1-70.

Reiriz, L., Nicieza, A.G. and Braña, F. (1998). Prey selection by experienced and naive juvenile Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* **53**:100-114.

Ricker, W.E. (1946). Production and utilisation of fish populations. *Ecological Monographs* **16**:373-391.

Ricker, W.E. (1954). Stock and recruitment. *Journal of the Fisheries Board of Canada* **11**:559-623.

Ringler, N.H. (1985). Individual and temporal variation in prey switching by brown trout, *Salmo trutta*. *Copeia* **4**:918-926.

Riley W.D., Maxwell, D.L., Pawson, M.G. and Ives, M.J. (2009). The effects of low summer flow on wild salmon (*Salmo salar*), trout (*Salmo trutta*) and grayling (*Thymallus thymallus*) in a small stream. *Freshwater Biology* **54**:2581-2599.

Rincón, P. A. and Lobón-Cerviá, J. (1999). Prey-size selection by brown trout (*Salmo trutta* L.) in a stream in northern Spain. *Canadian Journal of Zoology* **77**:755-765.

Roy, M.L., Roy, A.G., Grant, J.W. and Bergeron, N.E. (2012). Individual variability in the movement behaviour of juvenile Atlantic salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **70**:339-347.

RStudio Team (2016). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, Massachusetts. URL <http://www.rstudio.com/>.

Sabo, J.L., Bastow, J.L. and Power, M.E. (2002). Length-mass relationships for adult aquatic and terrestrial invertebrates in a California watershed. *Journal of the North American Benthological Society* **21**:336-343.

Sakuramoto, K. (2016). Density-dependent effect occurs regardless of density. *Open Access Library Journal* **3**:3112.

Salamin, N., Wüest, R.O., Lavergne, S., Thuiller, W. a Pearman, P.B. (2010). Assessing rapid evolution in a changing environment. *Trends in Ecology & Evolution* **25(12)**:692-698.

Salinger, D.H. a Anderson, J.J. (2006). Effects of water temperature and flow on adult salmon migration swim speed and delay. *Transactions of the American Fisheries Society* **135**:188-199.

Scruton, D.A., Pennell, C.J., Robertson, M.J., Ollerhead, L.M.N., Clarke, K.D., Alfredsen, K., Harby, A. *et al.* (2005). Seasonal response of juvenile Atlantic salmon to experimental hydropeaking power generation in Newfoundland, Canada. *North American Journal of Fisheries Management* **25**:964-974.

Schmidt-Nielsen, K. (1984). *Scaling: Why is animal size so important?* Efrog Newydd: Cambridge University Press.

Seber, G.A.F. a Le Cren, E.D. (1967). Estimating population parameters from catches large relative to the population. *The Journal of Animal Ecology* **36**:631-643.

Shepard, R.N. (1962). The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function. *Psychometrika* **27**:125-140.

Shepherd, J.G. (1982). A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries, and the construction of sustainable yield curves. *ICES Journal of Marine Science* **40**:67-75.

Siegert, M.J. (2001). *Ice Sheets and Late Quaternary Environmental Change*. Chichester: John Wiley & Sons.

Sloman, K.A., Taylor, A.C., Metcalfe, N.B., Gilmour, K.M. (2001). Effects of an environmental perturbation on the social behaviour and physiological function of brown trout. *Animal Behaviour* **61**:325-333.

Smith, J.M. (1978). Optimization theory in evolution. *Annual Review of Ecology and Systematics* **9**:31-56.

Solomon, D.J. a Paterson, D. (1980). Influence of natural and regulated streamflow on survival of brown trout (*Salmo trutta* L.) in a chalkstream. *Environmental Biology of Fishes* **5**:379-382.

Srivastava, D.S., Kolasa, J., Bengtsson, J., Gonzalez, A., Lawler, S.P., Miller, T.E. a Munguia, P. *et al.* (2004). Are natural microcosms useful model systems for ecology? *Trends in Ecology & Evolution* **19**:379-384.

Stearns, S.C. a Hendry, A.P. (2004). Introduction: The Salmonid Contribution to Key Issues in Evolution. Yn: Hendry, A.P. a Stearns, S.C. (golyg.) *Evolution Illuminated: Salmon and Their Relatives*. Rhydychen: Oxford University Press, tud. 3-19.

Stewart, R.I., Dossena, M., Bohan, D.A., Jeppesen, E., Kordas, R.L., Ledger, M.E. a Meerhoff, M. (2013). Mesocosm experiments as a tool for ecological climate-change research. *Advances in Ecological Research* **48**:71-181.

Storebakken, T. ac Austreng, E. (1987). Ration level for salmonids: 1. Growth, survival, body composition, and feed conversion in Atlantic salmon fry and fingerlings. *Aquaculture* **60**:189-206.

Stradmeyer, L., Höjesjö, J., Griffiths, S.W., Gilvear, D.J. ac Armstrong, J.D. (2008). Competition between brown trout and Atlantic salmon parr over pool refuges during rapid dewatering. *Journal of Fish Biology* **72**:848-860.

Svendsen, J.C., Koed, A. ac Aarestrup, K. (2004). Factors influencing the spawning migration of female anadromous brown trout. *Journal of Fish Biology* **64**:528-540.

Tallaksen, L.M. a Van Lanen, H.A. (2004). Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Rhydychen: Elsevier.

Titus, R.G. a Mosegaard, H. (1991). Selection for growth potential among migratory brown trout (*Salmo trutta*) fry competing for territories: evidence from otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **48**:19-27.

Tomlinson, M.L. a Perrow, M.R. (2003). *Ecology of the Bullhead. Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No.4*. Peterborough: English Nature.

Towers, D.J., Henderson, I.M., Veltman, C.J. (1994). Predicting dry weight of New Zealand aquatic macroinvertebrates from linear dimensions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **28**:159-166.

*The Economist*. (2011). *Global livestock counts* [Ar-lein]. Ar gael yn: <http://www.economist.com/node/21524660/all-comments> [Cyrchwyd: 17 Medi 2017].

The Fishing Museum (2017). *Game and Coarse Fishing* [Ar-lein] Ar gael yn: [http://www.fishingmuseum.org.uk/game\\_and\\_coarse.html](http://www.fishingmuseum.org.uk/game_and_coarse.html) [Cyrchwyd: 15 Medi 2017]

Thomas, S.M. (2014). *Consequences of Riparian Land Use for Macroinvertebrate Communities and Brown Trout in Upland Streams*. Traethawd PhD, Prifysgol Caerdydd.

Thomas, S.M., Griffiths, S.W. a Ormerod, S.J. (2015). Adapting streams for climate change using riparian broadleaf trees and its consequences for stream salmonids. *Freshwater Biology* **60(1)**:64-77.

Thomas, S.M., Griffiths, S.W. a Ormerod, S.J. (2016). Beyond cool: adapting upland streams for climate change using riparian woodlands. *Global Change Biology* **22(1)**: 310-324.

Thompson, R.M., Beardall, J., Beringer, J., Grace, M. a Sardina, P. (2013). Means and extremes: building variability into community-level climate change experiments. *Ecology Letters* **16**:799-806.

Vehanen, T., Huusko, A., Mäki-petäys, A., Louhi, P., Mykrä, H. a Muotka, T. (2010). Applied issues: Effects of habitat rehabilitation on brown trout (*Salmo trutta*) in boreal forest streams. *Freshwater Biology* **55**:2200-2214.

Venables, W.N. a Ripley, B.D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Efrog Newydd: Springer.

Vøllestad, L.A. a Olsen, E. M. (2008). Non-additive effects of density-dependent and density-independent factors on brown trout vital rates. *Oikos* **117**:1752-1760.

Wang, Y., Naumann, U., Wright, S.T. a Warton, D.I. (2012). mvabund– an R package for model-based analysis of multivariate abundance data. *Methods in Ecology and Evolution* **3**:471–474.

Wales, H.R.H. The Prince of, Juniper, T. a Shuckburgh, E. (2017). *Climate Change*. Llundain: Ladybird Books.

Waltz, E. (2017). First genetically engineered salmon sold in Canada. *Nature*, 548:10-11.

Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J., Fromentin, J.M. *et al.* (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature* **416**:389-395.

Ware, D.M. (1973). Risk of epibenthic prey to predation by rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Board of Canada* **30**:787-797.

- Warton, D.I., Wright, S.T. a Wang, Y. (2012). Distance-based multivariate analyses confound location and dispersion effects. *Methods in Ecology and Evolution* **3**:89–101.
- Waters, T.F. (1964). Recolonization of denuded stream bottom areas by drift. *Transactions of the American Fisheries Society* **93**:311-315.
- Waters, T.F. (1972). The drift of stream insects. *Annual Review of Entomology* **17**:253-272.
- Waters, T.F. (1977). Secondary production in inland waters. *Advances in Ecological Research* **10**:91-177.
- Waters, T.F. (1988). Fish production - benthos production relationships in trout streams. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **35**:545-561.
- Weatherly, N.S. ac Ormerod, S.J. (1987). The impact of acidification on macroinvertebrate assemblages in Welsh streams – towards an empirical model. *Environmental Pollution* **46**:223-240.
- Weatherly, N.S. ac Ormerod, S.J. (1990). Forests and the temperature of upland streams in Wales: a modelling exploration of the biological effects. *Freshwater Biology* **24**:109-122.
- Wilzbach, M.A., Cummins, K.W. a Hall, J.D. (1986). Influence of habitat manipulations on interactions between cutthroat trout and invertebrate drift. *Ecology* **67**:898-911.
- Williams, D.D. a Hynes, H.B.N. (1976). The recolonization mechanisms of stream benthos. *Oikos* **27**:265-272.
- Windsor, F.M., Ormerod, S.J., Brideson-Oates, E.S., Treneman, L.R., Sadler, J. Gibson, A.L., Panfili, D.J. *et al.* (wrthi'n paratoi). Short-term effect of sediments on benthic macroinvertebrate communities in upland stream systems.
- Woodward, G. (1999). *Invasion of a stream food web by a new top predator*. Traethawd PhD, Queen Mary & Westfield College, University of London.
- Woodward, G. a Hildrew, A.G. (2002). Body-size determinants of niche overlap and intraguild predation within a complex food web. *Journal of Animal Ecology* **71**:1063-1074.
- Woodward, G., Bonada, N., Brown, L.E., Death, R.G., Durance, I., Gray, C. a Hladyz, S. (2016). The effects of climatic fluctuations and extreme events on running water ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **371**:20150274.

Woodward, G., Brown, L.E., Edwards, F.K., Hudson, L.N., Milner, A.M., Reuman, D.C. *et al.* (2012). Climate change impacts in multispecies systems: drought alters food web size structure in a field experiment. *Philosophical Transactions of the Royal Society* **367**:2990-2997.

Wootton, J.T., Parker, M.S. a Power, M.E. (1996). Effects of disturbance on river food webs. *Science* **273**, 1558–1560.

Wootton, R.J. (1998). *Ecology of Teleost Fishes*. Dordrecht: Kuwer Academic Publishers.

Worldometers (2017a). *Worldometers* [Ar-lein]. Ar gael yn: <http://www.worldometers.info/> [Cyrchwyd: 25 Awst 2017].

Worldometers (2017b). *Europe Population (Live)* [Ar-lein] Ar gael yn: <http://www.worldometers.info/world-population/europe-population/> [Cyrchwyd: 7 Medi 2017].

WTT Wild Trout Trust (2008). *Chalkstream Habitat Manual*. Sheffield: Wild Trout Trust.

WTT Wild Trout Trust (2017). *The Upland Rivers Habitat Manual: 2.0 Upland River Systems* [Ar-lein]. Ar gael yn: [http://www.wildtrout.org/sites/default/files/library/uplands\\_section2.pdf](http://www.wildtrout.org/sites/default/files/library/uplands_section2.pdf) [Cyrchwyd: 28 Medi 2017].

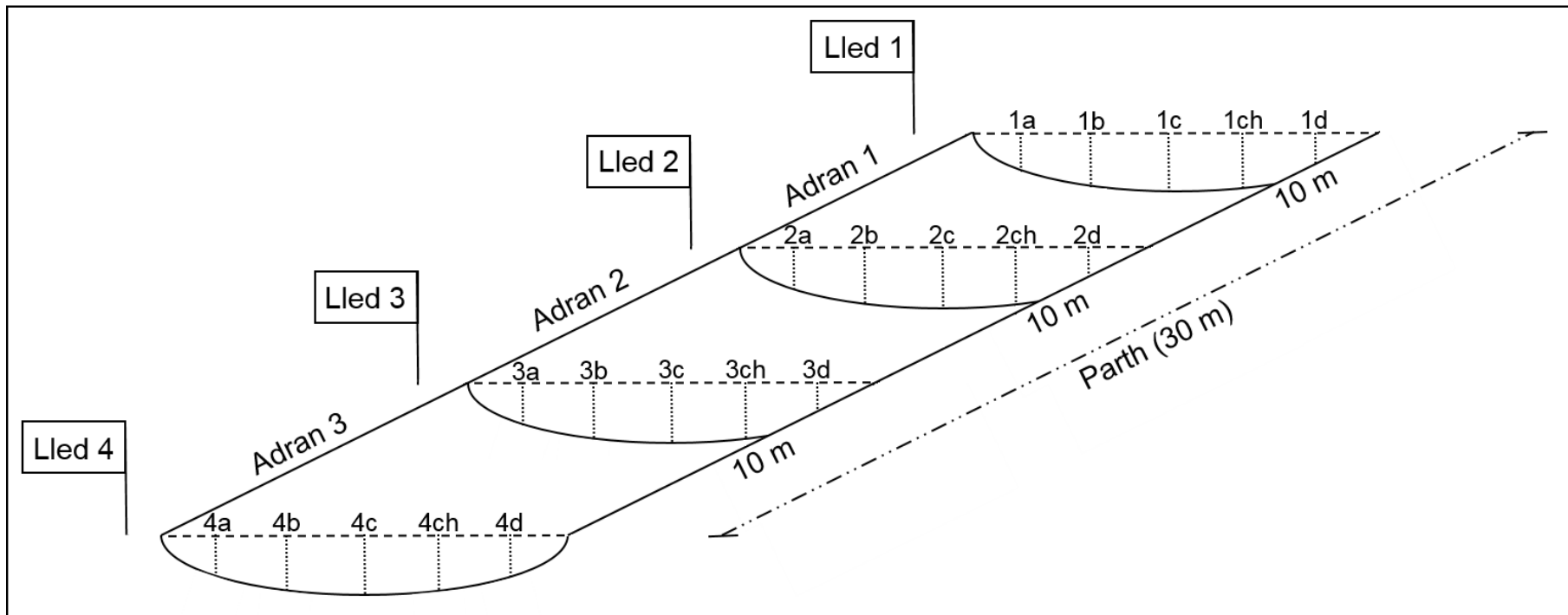
Y Swyddfa Dywydd. (2017a). *Wales: Climate* [Ar-lein] Ar gael yn: <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/regional-climates/wl#rainfall> [Cyrchwyd: 8 Awst 2017].

Y Swyddfa Dywydd. (2017b). *Averages Table, Region:Wales* [Ar-lein] Ar gael yn: <http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/climate/gcjww0udy> [Cyrchwyd: 8 Awst 2017].

## 9. Talfyriadau

| <b>Talfyriad</b> | <b>Term llawn</b>                          |
|------------------|--|
| DOGB             | Deunydd organig gronynnol bras             |
| DOGM             | Deunydd organig gronynnol mân              |
| MLIC             | Model llinol cyffredinol                   |
| MLIC.BN          | Model llinol cyffredinol binomial negyddol |
| MLICC            | Model llinol cyffredinol cymysg            |
| PCT              | Prawf cymhareb tebygolrwydd                |

## 10. Atodiadau



### Atodiad 1: Mesur lled, dyfnder ac arwynebedd gwlyb Nant Sere ac Afon Aled.

Mesurwyd parthau rheoli ac arbrofol Nant Sere (Pennod 3) ac Afon Aled (Pennod 4) yn ôl y dull uchod. Mesurwyd lled y sianel ddŵr o bwyntiau wedi eu marcio pob 10 m ar lan y sianel ('Lled 1 - 4'). Cyfrifwyd arwynebedd gwlyb parth fel swm arwynebedd gwlyb 'Adran 1', 'Adran 2' ac 'Adran 3'. Cyfrifwyd arwynebedd gwlyb adran fel cymedr mesuriadau lled (e.e. cymedr 'Lled 1' a 'Lled 2' ar gyfer 'Adran 1') wedi eu llusoi â hyd adran (10 m). Mesurwyd dyfnder y sianel ddŵr lle mesurwyd ei lled, ar bum pwynt wedi eu dosbarthu'n fras i fod â phellterau hafal rhyngddynt ('a-d').



**Atodiad 2: Hafaliadau atchweliadol hyd-màs ar gyfer amcan màs sych (MS) tacsonau Pennod 3.**  
 LIP: Lled y capsawl pen (mm); HC: cyfanswm hyd corff (mm). Dynodir ffynhonnell pob hafaliad gan lythyren ar ddiwedd pob rhes: (a) Baumgaertner a Rothhaupt (2003); (b) Towers *et al.* (1994); (c) Woodward (1999); (d) Methot *et al.* (2012) yn ôl Layer-Dobra, K. (cyfathrebiad personol).

| Tacsa                | y                      | x                       | Hafaliad Atchweliad  | r <sup>2</sup> | Cyfeirnod |
|----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-----------|
| <b>Amphipoda</b>     | ln(mg)                 | lnHC                    | $y = -4.95 + 2.83 x$ | 0.9            | a         |
| <b>Coleoptera</b>    |                        |                         |                      |                |           |
| <b>Aeddfed</b>       | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = 3.11 + 2.54 x$  | 0.91           | b         |
| <b>Larfa</b>         | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = 2.26 + 3.57 x$  | 0.86           | b         |
| <b>Diptera</b>       |                        |                         |                      |                |           |
| <b>Chironomidae</b>  | log <sub>10</sub> (µg) | log <sub>10</sub> (LIP) | $y = 3.17 + 2.3 x$   | /              | c         |
| <b>Pediciidae</b>    | mg                     | ln(LIP)                 | $y = -5.53 + 1.91 x$ | /              | c         |
| <b>Simuliidae</b>    | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = 0.20 + 3.32 x$  | /              | c         |
| <b>Tipulidae</b>     | mg                     | ln(HC)                  | $y = -5.50 + 2.36 x$ | /              | c         |
| <b>Ephemeroptera</b> | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = -0.5 + 1.79 x$  | 0.64           | a         |
| <b>Oligochaeta</b>   | g                      | log <sub>10</sub> (HC)  | $y = -2.23 + 1.54 x$ | /              | d         |
| <b>Plecoptera</b>    | ln(mg)                 | ln(LIP)                 | $y = -0.10 + 2.85 x$ | 0.89           | b         |
| <b>Trichoptera</b>   |                        |                         |                      |                |           |
| <b>Di-loches</b>     | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = -0.25 + 2.91$   | 0.67           | a         |
| <b>Llochesog</b>     | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = 1.30 + 3.62 x$  | 0.82           | a         |

**Atodiad 3: Hafaliadau atchwel hyd-màs ar gyfer amcan màs sych (MS) tacsonau ym Mhennod 4.**  
 LIP: Lled y capsawl pen (mm); HC: cyfanswm hyd corff (mm). Dynodir ffynhonnell pob hafaliad gan lythyren ar ddiwedd pob rhes: (a) Baumgaertner a Rothhaupt 2003; (b) Towers *et al.* 1994; (c) Woodward 1999 ar ôl Layer-Dobra, K. (cyfathrebiad personol); (ch) Methot *et al.* 2012; (d) Woodward and Hildrew 2002.

| Tacsa                         | y                      | x                       | Hafaliad atchwel     | r <sup>2</sup> | Cyfeirnod |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-----------|
| <b>Amphipoda</b>              | ln(mg)                 | lnHC                    | $y = -4.95 + 2.83 x$ | 0.9            | d         |
| <b>Coleoptera</b>             |                        |                         |                      |                |           |
| <b>Aeddfed</b>                | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = 3.11 + 2.54 x$  | 0.91           | b         |
| <b>Larfa</b>                  | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = 2.26 + 3.57 x$  | 0.86           | b         |
| <b>Diptera</b>                |                        |                         |                      |                |           |
| <b>Chironomidae a'u tebyg</b> | log <sub>10</sub> (µg) | log <sub>10</sub> (LIP) | $y = 3.17 + 2.3 x$   | -              | c         |
| <b>Simuliidae</b>             | ln(mg)                 | ln(LIP)                 | $y = 0.2 + 3.32 x$   | 0.93           | c         |
| <b>Tipulidae a'u tebyg</b>    | ln(mg)                 | ln(HC)                  | $y = -5.3 + 2.36 x$  | 0.93           | c         |
| <b>Ephemeroptera</b>          | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = -0.5 + 1.79 x$  | 0.64           | a         |
| <b>Oligochaeta</b>            | g                      | log <sub>10</sub> (HC)  | $y = -2.23 + 1.54 x$ | -              | ch        |
| <b>Plecoptera</b>             | ln(mg)                 | ln(LIP)                 | $y = -0.10 + 2.85 x$ | 0.89           | b         |
| <b>Trichoptera</b>            |                        |                         |                      |                |           |
| <b>Di-loches</b>              | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = -0.25 + 2.91$   | 0.67           | a         |
| <b>Llochesog</b>              | ln(mg)                 | lnLIP                   | $y = 1.30 + 3.62 x$  | 0.82           | a         |

**Atodiad 4: Hafaliadau atchweliadol hyd-màs ar gyfer amcan màs sych infertebratau Pennod 5.** Cyflwynir yr hafaliadau fel modelau pwer lle bu DM = màs sych, L = mesuriad llinol o unai hyd corff (HC), lled pen (LIP), lled pronotwm (LIPron) neu hyd cragen (HCrag) yr anifail; e = ffwythiant esbonyddol a chysonion a & b wedi eu casglu o'r erthyglau perthnasol. Dynodir haen dacsonomaidd hafaliad parthed i'r tacson perthnasol.

| Tacson            | Ffurf   | Mesuriad | Hafaliad                                | a       | b      | Haen yr hafaliad | Cyfeirnod                      |
|-------------------|---------|----------|---|---------|--------|------------------|--------------------------------|
| Arachnida         |         | HC       | DM = aL <sup>b</sup>                    | 0.05    | 2.74   | Dosbarth         | Sabo et al. (2002)             |
| Acari             |         | HC       | DM = 0.001e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | 3.682   | 2.761  | Urdd             | Rogers et al. (1977)           |
| Araneae           |         | HC       | DM = aL <sup>b</sup>                    | 0.05    | 2.74   | Urdd             | Sabo et al. (2002)             |
| Hydracarina       |         | HC       | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | -2.202  | 1.66   | Cytras           | Baumgärtner a Rothhaupt (2003) |
| Collembola        |         | HC       | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | -1.8749 | 2.3002 | Dosbarth         | Ganihar (1997)                 |
| Coleoptera        |         |          |   |         |        |                  |                                |
| Dytiscidae        | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | 2.2581  | 3.5741 | Urdd             | Towers et al. (1994)           |
| <i>Elmis</i>      | Aeddfed | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | 0.98    | 3.24   | Genws            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Elmis</i>      | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | 2.2581  | 3.5741 | Teulu            | Towers et al. (1994)           |
| <i>Esolus</i>     | Aeddfed | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | 0.98    | 3.24   | Teulu            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Esolus</i>     | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | 2.2581  | 3.5741 | Teulu            | Towers et al. (1994)           |
| <i>Oulimnius</i>  | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | 2.2581  | 3.5741 | Teulu            | Towers et al. (1994)           |
| Diptera           | Aeddfed | HC       | DM = aL <sup>b</sup>                    | 0.04    | 2.26   | Urdd             | Sabo et al. (2002)             |
| Diptera           | Larfa   | HC       | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | -6.21   | 2.52   | Urdd             | Burgherr a Meyer (1997)        |
| Ceratopogonidae   | Larfa   | HC       | DM = aL <sup>b</sup>                    | 0.00022 | 2.871  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| Chironomidae      | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>                    | 2.7842  | 2.835  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| Dixidae           | Larfa   | HC       | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | -6.21   | 2.52   | Urdd             | Burgherr a Meyer (1997)        |
| Simuliidae        | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | 0.2     | 3.32   | Teulu            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| Tipulidae         | Larfa   | HC       | DM = aL <sup>b</sup>                    | 0.0027  | 2.637  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| Ephemeroptera     | Aeddfed | HC       | DM = aL <sup>b</sup>                    | 0.014   | 2.49   | Urdd             | Sabo et al. (2002)             |
| Ephemeroptera     | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | -0.88   | 2.18   | Teulu            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| Heptageniidae     | Larfa   | LIP      | DM = a L <sup>b</sup>                   | 0.161   | 3.134  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Baetis</i>     | Larfa   | LIP      | DM = a L <sup>b</sup>                   | 1.2688  | 3.326  | Genws            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Ecdyonurus</i> | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup>      | -1.85   | 2.85   | Genws            | Baumgärtner a Rothhaupt (2003) |
| <i>Heptagenia</i> | Larfa   | LIP      | DM = a L <sup>b</sup>                   | 0.161   | 3.134  | Genws            | Benke et al. (1999)            |

(Parhad o Atodiad 4)

| Tacson                  | Ffurf   | Mesuriad | Hafaliad                           | a      | b      | Haen yr hafaliad | Cyfeirnod                      |
|-------------------------|---------|----------|------------------------------------|--------|--------|------------------|--------------------------------|
| <i>Paraleptophlebia</i> | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -0.83  | 4.25   | Teulu            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Rhithrogena</i>      | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -2.29  | 3.52   | Genws            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Serratella</i>       | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.7255 | 3.325  | Genws            | Benke et al. (1999)            |
| Hemiptera               | Aeddfed | HC       | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.005  | 3.33   | Is-urdd          | Sabo et al. (2002)             |
| <i>Velia</i>            | Aeddfed | HC       | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.005  | 3.33   | Is-urdd          | Sabo et al. (2002)             |
| Hymenoptera             | Aeddfed | HC       | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.56   | 1.56   | Urdd             | Sabo et al. (2002)             |
| Formicidae              | Aeddfed | HC       | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.027  | 2.666  | Teulu            | Sabo et al. (2002)             |
| Plecoptera              | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -0.75  | 2.95   | Urdd             | Burgherr a Meyer (1997)        |
| Nemouridae              | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -1.86  | 1.6    | Teulu            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| Perlodidae              | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.5462 | 2.826  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Chloroperla</i>      | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -0.27  | 2.7    | Genws            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Diura</i>            | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.5462 | 2.826  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Isoperla</i>         | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.5462 | 2.826  | Genws            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Leuctra</i>          | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.8496 | 3.201  | Genws            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Nemoura</i>          | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -1.86  | 1.6    | Genws            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Nemurella</i>        | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -1.86  | 1.6    | Teulu            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Perlodes</i>         | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 0.5462 | 2.826  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Protonemura</i>      | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -1.86  | 1.6    | Teulu            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| Trichoptera             | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 1.265  | 2.747  | Urdd             | Benke et al. (1999)            |
| Polycentropodidae       | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | -0.51  | 3.303  | Teulu            | Baumgärtner a Rothhaupt (2003) |
| <i>Diplectrona</i>      | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 1.265  | 2.747  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Glossosoma</i>       | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | 0.959  | 2.9789 | Genws            | Meyer (1989)                   |
| <i>Plectrocnemia</i>    | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 1.568  | 3.302  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| <i>Polycentropus</i>    | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -0.51  | 3.303  | Genws            | Baumgärtner a Rothhaupt (2003) |
| <i>Rhyacophila</i>      | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | 0.69   | 3.53   | Genws            | Burgherr a Meyer (1997)        |
| <i>Sericostoma</i>      | Larfa   | LIP      | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | 0.1692 | 2.9153 | Genws            | Meyer (1989)                   |
| <i>Wormaldia</i>        | Larfa   | LIP      | DM = aL <sup>b</sup>               | 1.465  | 3.087  | Teulu            | Benke et al. (1999)            |
| Oligochaeta             |         | HC       | DM = e <sup>a</sup> L <sup>b</sup> | -9.19  | 3.25   | Dosbarth         | Miserendino (2001)             |

**Atodiad 5: Gwerthoedd màs sych o'r lenyddiaeth a ddefnyddiwyd ar gyfer amcan màs tacsu prin ym Mhennod 5 a 6.** Troswyd gwerthoedd hyd i fàs pan fod data màs ddim ar gael gan ddefnyddio modelau pwer lle bu  $DM = \text{màs sych}$ ,  $L = \text{mesuriad llinol o gorff yr anifail}$ ;  $e = \text{ffwythiant esbonyddol a chysonion a \& b wedi eu casglu o'r erthyglau perthnasol}$ . Cyfrifir 'Cymedr (mg)' fel cymedr y lleiafswm ac uchafswm màs a adroddwyd gan yr awduron isod.

| Tacson               | Lleiafswm (mg) | Cymedr (mg) | Uchafswm (mg) | Cyfeirnod Hyd/Mas                             | Hafaliad            | a        | b      | Cyfeirnod Hafaliad      |
|----------------------|----------------|-------------|---------------|---|---------------------|----------|--------|-------------------------|
| Aphididae            | 0.060          | 0.161       | 0.328         | Gruner (2003)                                 | $DM = aL^b$         | 0.0175   | 2.6290 | Gruner 2003             |
| Aranea               | 0.050          | 9.745       | 52.892        | Ganihar (1997)                                | $DM = aL^b$         | 0.0500   | 2.7400 | Sabo et al. (2002)      |
| Formicidae           | 0.269          | 6.754       | 27.851        | Ganihar (1997)                                | $DM = aL^b$         | 0.0270   | 2.6660 | Sabo et al. (2002)      |
| Hydraenidae          | 0.550          | 0.653       | 0.763         | Burgherr and Meyer (1997)                     | $DM=e^aL^b$         | -1.8600  | 1.6000 | Burgherr and Meyer 1997 |
| Hydroptilidae        | 0.016          | 1.138       | 5.662         | Lleiaf: Odontoceridae;<br>Uchaf: Croft (1986) | $DM=e^aL^b$         | -4.6394  | 2.7678 | Meyer 1989              |
| Isopoda              | 0.045          | 1.607       | 3.169         | Ganihar (1997)                                | $DM = a + b L$      | -1.1167  | 0.4762 | Ganihar (1997)          |
| Odontoceridae        | 0.016          | 2.460       | 13.260        | Meyer (1989)                                  | $DM=e^aL^b$         | -4.6394  | 2.7678 | Meyer 1989              |
| Opiliones            | 3.630          | 6.585       | 8.819         | Ganihar (1997)                                | $DM = a + b \ln(L)$ | -11.0291 | 9.2243 | Ganihar (1997)          |
| Psychomyiidae        | 0.063          | 1.399       | 6.440         | Meyer (1989)                                  | $DM=e^aL^b$         | -6.3065  | 3.1298 | Meyer 1989              |
| Siphonuridae         | 0.328          | 1.681       | 4.963         | Miserendino (2001)                            | $DM=e^aL^b$         | -6.3600  | 3.2600 | Miserendino 2001        |
| Carabidae            | 1.500          | 26.800      | 52.100        | Sample et al. (1993)                          |                     |          |        |                         |
| Corixidae            | 0.060          | 0.985       | 1.910         | Barahona et al. (2005)                        |                     |          |        |                         |
| Dixidae              | 0.010          | 0.116       | 0.221         | Lleiaf: Meyer (1989);<br>Uchaf: Pennod 5      |                     |          |        |                         |
| Dytiscidae (Aeddfed) | 0.010          | 0.640       | 1.270         | Meyer 1989                                    |                     |          |        |                         |
| Dytiscidae (Larfa)   | 0.007          | 0.334       | 0.660         | Meyer 1989                                    |                     |          |        |                         |
| Hydrochidae          | 0.100          | 1.350       | 15.260        | Miyasaka 2008                                 |                     |          |        |                         |
| Hydrophilidae        | 0.100          | 1.350       | 15.260        | Miyasaka 2008                                 |                     |          |        |                         |
| Scirtidae            | 0.010          | 1.645       | 3.280         | Nakagawa and Takemon 2014                     |                     |          |        |                         |