View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Stellenbosch University SUNScholar Repository

Kadmium in Valsbaai: Moniteringspotensiaal van die mariene slak, *Oxystele tigrina* (Mollusca)

***Cadmium in False Bay: Monitoring potential of the marine snail,* Oxystele tigrina (Mollusca)**

A J Reinecke, N P Mdzeke en S A Reinecke
Departement Plant- en Dierkunde
Universiteit van Stellenbosch
ajr@sun.ac.za

Koot Reinecke

Naomi Mdzeke

Sophié Reinecke

AJ (Koot) Reinecke is sedert 1992 professor in die Departement Plant- en Dierkunde aan die Universiteit van Stellenbosch waar hy ook verskeie jare as voorsitter gedien het en ook as dekaan van die Fakulteit Natuurwetenskappe waargeneem het. Hy het aan die Roodepoortse Hoërskool gematrikuleer. Hy het sy doktorsgraad aan die destydse Potchefstroomse Universiteit vir CHO behaal waar hy vanaf 1969 dosent was en ook vanaf 1986 tot 1991 professor en hoof van die Departement Dierkunde. Hy het ook reeds as president van die Dierkundige Vereniging van Suidelike Afrika, die Gesamentlike Raad van Natuurwetenskaplike Verenigings en die Internasionale Gronddierkundige Vereniging gedien. Hy dien ook op die redaksierade van verskeie vaktydskrifte en is tans lid van die Onderwysadvieskomitee van die Suid-Afrikaanse Raad van Natuurwetenskaplike Professies waar hy ook reeds vir 'n termyn as vise-president opgetree het. Hy het uitgebreide studieperiodes in die VSA, Duitsland en Nederland deurgebring waar hy navorsing gedoen het oor die invloed van chemiese besoedelstowwe op diere. Hy is outeur en mede-outeur van sowat 200 navorsingspublikasies waarvan die meerderheid in internasionale, geakrediteerde vaktydskifte verskyn het. Hy is in 2007 met die Havengaprys vir die biologiese wetenskappe van die SA Akademie vir Wetenskap en Kuns bekroon. Hy het in 2008 op uitnodiging opgetree as lid van 'n evaluasiekommissie van navorsingsprogramme van die Nederlandse Wetenskaplike Organisasie in Den Haag. Hy het reeds studieleiding aan sowat veertig M- en D- studente gegee en is tans betrokke by vier PhD studies. Sy navorsing word gefinansier deur die Nasionale Navorsingstigting en die Universiteit van Stellenbosch.

AJ (Koot) Reinecke has since 1992 held a professorship in the Department of Botany and Zoology at Stellenbosch University where he also served as chairman for several years and also acted as dean of the science faculty. He matriculated at Roodepoort High School and obtained his doctorate at the then Potchefstroom University for CHE where he became a lecturer in 1969 and later professor and head of the department from 1986 to 1991. He has also served as president of the Zoological Society of Southern Africa, the Joint Council of Scientific Societies and the International Soil Zoology Society. He serves on the editorial boards of several international and one national science journal and is currently a member of the Educational Advisory Committee of the South African Council for Scientific Professions where he also served a term as vice-president. He spent extended sabbaticals in the USA, Germany and The Netherlands researching the effects of chemical contaminants on animals. He is author or co-author of some 200 research papers, most of them published in international accredited scientific journals. He was awarded the prestigious Havenga Prize for the biological sciences by the SA Academy of Science and Arts in 2007. In 2008 he was invited to serve as a member of a program evaluation commission for the Netherlands research organization (NWO) in The Hague. He has supervised some forty M- and D-students and is currently involved with supervision of four doctoral studies. His research is financed by the National Research Foundation and the University of Stellenbosch.

Naomi P Mdzeke het haar voorgraadse opleiding aan die die destydse Universiteit van Transkei (UNITRA) voltooi waarna sy haar honneurs en MSc grade in dierkunde aan dieselfde universiteit behaal het waar sy ook op die personeel was. Haar tesis vir die Msc het gehandel oor die voorkoms en benutting van mariene diere aan die Transkeise kus. Sy voltooi haar PhD-graad in 2004 aan die Universiteit Stellenbosch met 'n proefskrif wat handel oor metaalbesoedeling van die tussen-getysone van Valsbaai. Sy het reeds bydraes tot nasionale en internasionale kongresse gelewer en was vir 'n geruime tyd navorsingsdirekteur by die Departement van Waterwese en Bosbou en ook by die Kusbestuursprogram betrokke. Sy is tans by die Departement van Omgewingsake werksaam. Sy het in die onlangse verlede verskeie maande by Alterra Instituut in Nederland deurgebring as deel van die Presidensiële JIPSA program.

Naomi P Mdzeke Naomi P Mdzeke completed her undergraduate studies at the University of Transkei (UNITRA),as it was formerly known, where she obtained her honours and MSc degrees in Zoology. Her research project for the masters degree focused on the distribution and utilization of marine animals of the Transkei coastal region. She completed her PhD-degree in 2004 at Stellenbosch University with a thesis on metal pollution of the intertidal zone of False Bay. She has presented her work at national and international conferences and served for some time as a research director at the Department of Water Affairs and Forestry where she was also involved in the coastal management programme. She is currently employed by the Department of Environmental Affairs. She recently spent several months at the Alterra Institute in The Netherlands in partial completion of the Presidential JIPSA programme.

Sophié Reinecke is tans Uitvoerende Hoof in die Departement Plant- en Dierkunde aan die Universiteit van Stellenbosch waar sy sedert 1992 werksaam is en tans professor is. Sy behaal haar honneursgraad in dierkunde, M.Sc. en doktorsgrade in Dierkunde (1987) aan die Randse Afrikaanse Universiteit nadat sy haar voorgraadse studies en eerste honneursgraad in Plantkunde aan die destydse Potchefstroomse Universiteit vir CHO behaal het. Vir haar meestersgraad het sy die S2A3 en Junior Kaptein Scott medaljes ontvang. Gedurende haar jare as senior lektor aan die PU vir CHO verwerf sy die universiteitstoekenning vir voortreflike onderrig. Sy was verskeie jare raadslid en sekretaris van die Dierkundige Vereniging van Suidelike Afrika. Haar navorsingsbelangstelling is in die ekotoksikologie en behels die invloed van chemiese besoedelstowwe op diere, met besondere klem op die biochemiese, mokelulêre en sellulêre biomerkerresponse by ongewerweldes. Sy het reeds as studieleier van 19 MSc- en 7 PhD-studente opgetree en lei tans vier doktorsgraadstudente in ekotoksikologie. Sy is outeur en mede-outeur van sowat 80 publikasies in geakkrediteerde vaktydskrifte. Sy het ook reeds meer as 75 bydraes by internasionale konferensies in verskeie lande gelewer. Haar navorsing word gefinansier deur die Nasionale Navorsingstigting, die Universiteit van Stellenbosch en sy het onlangs toekennings van die Nederlandse Nasionale Wetenskapstigting (NWO) ontvang om vir drie maande aan die Vrije Universiteit in Amsterdam navorsing te doen asook befondsing van die Nasionale Noorweegse Navorsingsinstansie vir 'n navorsingsbesoek aan die Universiteit van Oslo. Sy het ook uitgebreide navorsingsbesoeke aan Frankryk gebring.

Sophié Reinecke is currently executive head of the Department of Botany and Zoology at Stellenbosch University where she has been working since 1992. She currently holds a professorship. She obtained her honours, masters and PhD degrees in Zoology at the former Rand Afrikaans University after completing her undergraduate degree and a honours degree in Botany at the former Potchefstroom University for CHE. For her masters degree she was awarded with both the S2A3 and Junior Captain Scott medals. During her time as senior lecturer at Potchefstroom University she received the university award for teaching excellence. She served for several years as council member and secretary of the Zoological Society of Southern Africa. Her research interests are in the ecotoxicology, focusing on the influence of chemical contaminants on animals, with emphasis on biochemical, molecular and cellular biomarker responses in invertebrates. She has acted as supervisor or co-supervisor of 19 MSc and 7 PhD students and currently supervises four doctoral students. She is author and co-author of some 80 research publications in accredited journals. She has presented some 75 contributions to international scientific conferences in several countries. Her research is financed by the National Research Foundation, the University of Stellenbosch and she has recently received awards from the Netherlands research organization (NWO) to conduct research for three months at the Vrije Universiteit in Amsterdam as well as funding from the Norwegian national research organization for a research visit to the University of Oslo. She has also undertaken extended research visits to France.

ABSTRACT

Cadmium in False Bay: Monitoring potential of the marine snail, Oxystele tigrina (Mollusca)

Cadmium contamination levels in the False Bay intertidal zone in South Africa were assessed in the water and sediments over a period of one year. Samples were collected seasonally from six sites within the bay, and from a reference site situated just outside the eastern arm of False Bay in order to obtain a general overview of contamination levels to which invertebrates in the coastal areas are exposed. The results from the chemical analyses of water and sediment samples revealed that most contamination was associated with the northern shore of the bay between Strand and Muizenberg, where the most populated and industrialised catchments occur. The high contamination factors calculated for Cd for sediments from some sites suggested a strong input of industrial and other discharges containing this heavy metal. There were significant seasonal and spatial differences in the cadmium concentrations, with spatial variations indicating localised contamination, while seasonal variations were assumed to be predominantly related to changes in precipitation and runoff at different times of the year. The mean cadmium concentrations in the water and sediments were occasionally higher than the levels recommended by the South African Water Quality Guidelines, and indicated an increase in the levels compared to the previous water quality surveys.

Laboratory experiments were conducted to examine the uptake, accumulation and loss of cadmium by the different organs of the periwinkle, Oxystele tigrina*, from the False Bay intertidal zone. Tissue-specific cadmium accumulation in the control and exposed individuals were compared over a 14-day exposure period to sub-lethal concentrations (0.2 and 0.4 µg/ml) of water-borne cadmium in the form of* $CdCl_2$*. The animals were sampled at regular intervals and the cadmium concentrations in the different organs measured by atomic absorption spectrophotometry. The results showed a general pattern of cadmium increase in the exposed individuals over a relatively short period. Cadmium was detected in all the tissues, with varying degrees of bioaccumulation. A more or less linear pattern of cadmium accumulation indicated that the metal was not regulated by* O. tigrina*. The metal was partitioned differently into the soft tissues and shells, with the soft tissues generally displaying a higher rate of cadmium uptake. There was a loss of the accumulated cadmium from the organs of the contaminated individuals upon transfer to clean seawater, with variations in the percentage of cadmium loss probably indicating that only part of the accumulated cadmium was firmly bound to the different tissues. The cadmium loss in the group that was exposed to 0.40µg/ml was not significant, indicating that the cadmium may have been more tightly bound in the tissues of this group compared to the group exposed to 0.20 µg/L.*

The amounts of cadmium in sediments and animal bodies in some parts of False Bay were such that cadmium could at current relatively low levels be expected to accumulate over time in these animals. Under changed physical conditions that may increase bioavailability, body levels could be reached that could affect the long term survival of this species and possibly its predators.

KEY WORDS: Heavy metal, cadmium, bioaccumulation, marine pollution, *Oxystele.*

TREFWOORDE: Swaarmetaal, kadmium, bio-akkumulasie, mariene besoedeling, *Oxystele.*

OPSOMMING

’n Opname is onderneem van die kadmiumvlakke in die tussengetygebied van Valsbaai, Suid-Afrika. Kadmiumkonsentrasies is seisoenaal bepaal in die water en sediment in verskillende lokaliteite. Die metings is oor ’n periode van een jaar gedoen deur seisoenaal monsters te versamel by ses verskillende versamelpunte in en een buite die baai. Dit is met behulp van atoom-absorpsiespektrofotometrie ontleed vir kadmium en die hoogste kontaminasievlakke is by die

noordelike kusstreek gevind tussen Strand en Muizenberg waar die digsbevolkte gebiede en die meeste industriële aktiwiteit voorkom. Betekenisvolle variasie in konsentrasies van kadmium het seisoenaal en ruimtelik voorgekom. Die gemiddelde konsentrasies in die water en sediment was in sommige gevalle effens hoër as die vlakke wat deur die Suid-Afrikaanse waterkwalitetis-riglyne aanbeveel is.

Kadmiumkonsentrasies is ook in versamelde eksemplare van die mariene slak *Oxystele tigrina* vir verskillende seisoene vir drie lokaliteite bepaal. Laboratoriumeksperimente is uitgevoer om die opname, akkumulasie en verlies van kadmium in verskillende organe van die tussen-getyslak, *Oxystele tigrina* te ondersoek. Weefselspesifieke kadmiumkonsentrasies in kontrole- sowel as blootgestelde lewende eksemplare is vergelyk oor 'n blootstellingsperiode van veertien dae. Die eksperimentele slakke is aan twee subletale konsentrasies van onderskeidelik 0.20 en 0.40 µg/ml watergedraagde kadmium in die vorm van $CdCl_2$ blootgestel. Die proefdiere is gereeld gemonitor en kadmiumkonsentrasies is in verskillende organe, na suurvertering, atoomabsorpsie-spektrofotometries bepaal. Die resultate het 'n algemene toename van kadmium in die liggame van die slakke uitgewys. Kadmium is in variërende konsentrasies in alle weefsel gevind. 'n Ongeveer liniêre patroon van akkumulasie het aangetoon dat die metaal waarskynlik nie deur *O. tigrina* gereguleer is nie. Die metaal se teenwoordigheid het verskil tussen die sagteweefsel en skulp op so 'n wyse dat die sagteweefsel normaalweg 'n hoër opnamekoers van die kadmium weerspieël het. Nadat die blootgestelde organismes in kadmiumvrye seewater oorgeplaas is, het gedeeltelike kadmiumverlies wel plaasgevind. Die variasie in kadmiumverlies van die verskillende organe dui moontlik daarop dat slegs 'n gedeelte van die geakkumuleerde kadmium sterk gebind was in sekere weefsels of organe. Die behoud van kadmium in beide sediment en diereliggame was sodanig dat afgelei kan word dat kadmium teen huidige omgewingskonsentrasies in sekere dele van Valsbaai, wat algemeen as laag beskou word, steeds met verloop van tyd in hierdie tussengetydiere kan akkumuleer tot vlakke wat nadelig is vir die spesies self, maar ook vir hulle predatore. Dit sal veral kan gebeur indien fisiese toestande verander om die biobeskikbaarheid te verhoog.

INLEIDING

Antropogeniese faktore veroorsaak dat die swaarmetaal kadmium (Cd) wat wydverspreid maar in lae konsentrasies in die aardkors voorkom, tog neig om in verhoogde hoeveelhede in ander gebiede en biologiese stelsels voor te kom.[1] Kadmium is een van die potensieel skadelikste swaarmetale.[2] Dit kan besonder giftig wees in lae konsentrasies[3,4] en kan ook akkumuleer tot hoë konsentrasies in die weefsels van mariene invertebrate.[5] Volgens Webb[3] hou dit ook gevare in vir mense en diere bo-aan die voedselketting wat gekontamineerde skulpdiere as voedsel gebruik.

Kadmium[6] is een van die belangrikste giftige metale in industriële uitlate en word in beide die Environmental Protection Agency (EPA) van die Verenigde State van Amerika en die Europese Gemeenskap se prioriteitslyste van besoedelstowwe ingesluit. Dit word as 'n Groep 1 menslike karsinogeen geklassifiseer en is ook karsinogenies vir sekere diere. Daar is toenemende kommer omdat omgewingsvlakke van die metaal steeds toeneem as gevolg van voortgesette antropogeniese mobilisasie[5] en vrylating daarvan. As gevolg van die beskikbaarheid en chemiese aard van die metaal, kan subletale toksiese vlakke in seewater voorkom wat fisiologiese probleme en toksisiteit by invertebrate en ander mariene organismes tot gevolg kan hê. Kadmium is vir die huidige studie uitgesonder weens sy giftigheid en geneigdheid om te bioakkumuleer[6] maar ook omdat dit 'n bestanddeel kan wees van fosfaatbemestingstowwe wat vry algemeen in die Wes-Kaap gebruik word[7] en gevolglik met oppervlak afloopwater estuariums en die oseaan kan bereik.

Opname van metale deur mariene ongewerweldes vind oor selmembrane van deurlatende respiratoriese oppervlakke plaas.[8] Verskeie meganismes is reeds vir akkumulasie van swaarmetale voorgestel.[9] Baudrimont et al.[10] meen dat metaalverspreiding in organismes afhanklik is van die opnameroete en die biologiese grense wat organe van die omringende omgewingsmedia skei. Rainbow et al.[11] meen dat kompartementering van metale ’n belangrike rol speel om metale metabolies ontoeganklik, en dus minder skadelik, te maak. Sommige mariene spesies is meer gevoelig[12] as ander wat oor die vermoë beskik om van opgeneemde metale ontslae te raak.

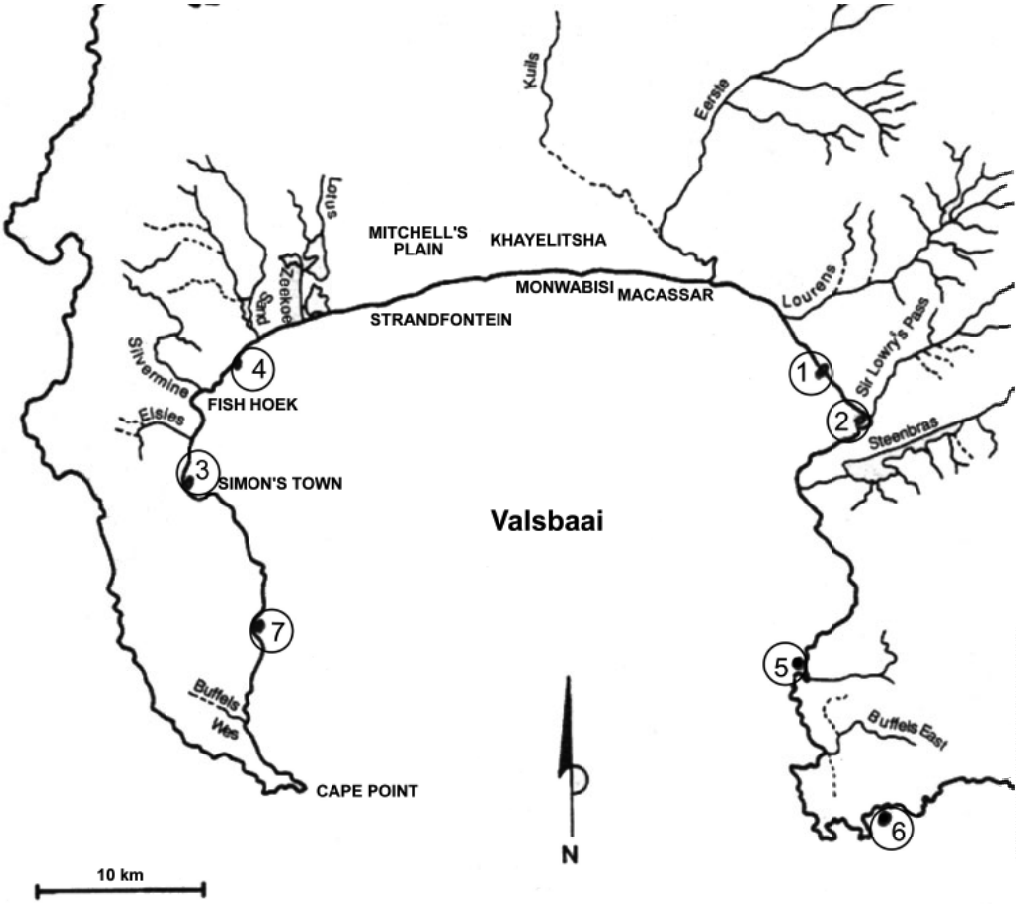
Verlies van metale deur organismes, soos uitgedruk in terme van die biologiese halfleeftyd, neem langer by diere met ’n hoë weefselresidu daarvan. Volgens Okazaki en Panietz[13] hou die eliminering van metale verband met hulle deponering en bindingseienskappe in organe. Dit kan deur middel van slymafskeiding of sogenaamde pseudo-faeces, of via die verlies van amebosiete[9] geskied. Herwig et al.[14] meen dat, ten einde die uitskeidingsorgane van Mollusca te bereik, moet kadmium eers deur die hemolimf vervoer word vanaf die primêre plek van opname (soos byvoorbeeld die mantel), tot in die granules van ekskretoriese selle.

Invertebrate is potensiële biomoniteerders van mariene besoedeling maar hulle rol as akkumuleerders van metale is nog nie uitvoerig aan die Suid-Afrikaanse kus bestudeer nie. Die meeste van hulle is ook nog nie so goed soos die tweekleppiges (Bivalvia) bestudeer nie. Die tolletjie, ook bekend as die “periwinkle”, *Oxystele tigrina,* kom baie volop in Valsbaai se tussengetygebied voor en ook oor ’n wye gebied langs die res van die Suid-Afrikaanse kus[15] sodat dit in hierdie opsig ’n potensiële kandidaat is vir biomonitering. Weinig is bekend oor die meganisme van metaalopname, eliminering en die omvang van bioakkumulasie in die weefsel van *Oxystele* spesies.

Valsbaai (Figuur 1), geleë by 34Ú 15‘ S, 18Ú 40‘ O, in Suid-Afrika, word benut vir die oes van vis en skulpvis deur kommersiële en bestaansvissers[17] sowel as vir watersport.[7] Sowat agt groter rivieropvanggebiede dreineer in die baai wat ook afvalwater en stormwater ontvang. Met toenemende ontwikkeling in hierdie gebiede kan verwag word dat die kwaliteit van die baai se water toenemend bedreig kan word.

Dit is gevolglik belangrik om die besoedelingsvlakke in die baai van tyd tot tyd te monitor met die oog op volhoubare bestuur daarvan, veral indien die nederstettings en industriële aktiwiteit om die baai drasties sou toeneem. Die Kaapse Metropool se kwaliteitskomitee vir kuswaters volg tans ’n geïntegreerde bestuursplan waarby alle rolspelers betrek word.

Vorige omgewingsimpakstudies het hoofsaaklik gefokus op die uitwerking van individuele vrystelling van afval in uitloopwater van die onmiddellike omgewing sonder om na kumulatiewe impakte[7] of diffuse besoedeling te kyk. Een van die oogmerke van die huidige studie was om aanvanklike basislyn-inligting te verkry oor die kadmiumvlakke in sedimente, water en geselekteerde tussengetydiere in Valsbaai sodat realistiese en omgewingsrelevante konsentrasies gebruik kan word in verdere eksperimentele ondersoeke. Meer volledige inligting oor kontaminasievlakke en seisoenale en ruimtelike verspreiding van kadmium en ander metale word deur Mdzeke[18] aangebied. Die doel was verder om die opname, verspreiding en moontlike akkumulasie van kadmium deur die slak *Oxystele tigrina* onder gekontroleerde toestande in die laboratorium te ondersoek ten einde ’n begrip te kry van die dinamika van die proses. Dit kan uiteindelik lei tot die daarstelling van ’n duideliker verband tussen omgewingsvlakke en geakkumuleerde liggaamsladings van die metaal en die gepaardgaande skadelike effekte wat dit vir die spesie mag inhou.



Figuur 1: *Kaart van Valsbaai wat die verskillende lokaliteite aantoon waar sediment- en watermonsters versamel is gedurende die verskillende seisoene. (1- Strand; 2- Gordonsbaai; 3- Glencairn; 4- Muizenberg; 5- Rooiels; 6- Kleinmond; 7- Miller's Point). Eksemplare van* Oxystele tigrina *is op die rotskus by lokaliteite 1, 3 en 7 versamel.*

MATERIAAL EN METODES

Monsterneming van sedimente en seewater

Sedimentmonsters is gedurende vyf opeenvolgende seisoene tydens laagwater by sewe lokaliteite versamel tussen Julie 2000 en Julie 2001. Hiervan was ses geleë binne Valsbaai terwyl die sewende as verwysinglokaliteit net buite die oostelike arm van die baai geleë was. Oppervlaksediment is versamel met 'n skoon plastiekgraaf (0.1m$^{2)}$. Monsters is by -20°C gestoor tot en met analise.

Watermonsters is op 'n diepte van 30cm net bokant die sediment met behulp van 5-L plastiekemmers versamel. Die emmers is op ys geplaas en na die laboratorium vervoer waar een liter van elk deur 'n 0.45 µm Whatman membraanfilter gefiltreer is, versuur is met 1ml

gekonsentreerde salpetersuur en gevries is vir latere analise. Reënvalsyfers vir die gebied (Tabel 1) vir die periode is vanaf die SA Weerburo verkry.

TABEL 1: Maandelikse reënvalsyfers (mm) gemeet by twee weerstasies in die Valsbaaigebied gedurende die opnameperiode van die jare 2000 en 2001 (Verskaf deur die SA Weerburo)

Maand	Strand		Simonstad/ Kaappunt	
	2000	2001	2000	2001
Maart	15.8	1.2	22.8	0.4
April	8.0	38.2	11.2	26.8
Mei	85.6	136.2	16.2	49.0
Junie	79.6	44.8	30.6	41.4
Julie	77.8	197.6	25.4	106.4
Augustus	86.0	93.6	23.4	61.2
September	74.0	63.6	36.4	28.8
Oktober	5.0	55.6	2.4	21.8

Versameling van slakke

Vyftig lewende eksemplare van *Oxystele tigrina* is gedurende drie seisoene naamlik winter, lente en somer van die jaar 2000 versamel in lokaliteite 1, 3 en 7 (Figuur 1) waar die spesie voorgekom het. Die eksemplare is tydens laagwater met die hand versamel op die rotskus. Die eksemplare is dadelik in seewater na die laboratorium vervoer, met papierhanddoek gedroog en gemeet en geweeg. Die eksemplare is daarna gevries by -20°C vir latere analise van kadmium.

Analise van swaarmetale

Die monsters is in 'n oond by 60^{o} C vir 48h gedroog. Submonsters van 0.2-0.5g van die diere, sedimente en water (5ml) is oornag in proefbuise verteer met 10ml salpetersuur wat verhit is tot 40-60 ^{o}C vir 2h in 'n verhittingsmantel en daarna vir 'n verdere 1h by 110-120 ^{o}C. Die verteerde monsters is afgekoel voordat 1ml perchloorsuur bygevoeg is en opnuut verhit is by 110-120°C totdat bruin dampe verskyn het. Na afkoeling is 5ml gedistilleerde water bygevoeg en herverhitting het plaasgevind totdat wit dampe afgekom het. Die monsters is oornag gelaat en gefiltreer deur Whatman No. 6 filtreerpapier en 'n 0.45µm membraan mikrofilterpapier. 'n Blanko monster is ook voorberei vir elke stel monsters ten einde die analitiese doeltreffendheid te toets. Die water- en sedimentmonsters is daarna met behulp van atoomabsorpsie vlamspektrofotometrie (Varian AA-1275 met asetileen-lug vlam) ontleed vir kadmium. Die analitiese limiet vir kadmium was 0.02. Alle konsentrasies is weergegee as µg/g droëmassa. Proeflopies om ekstraksiemetodes te toets met biologiese monsters het 'n opbrengs bokant 80% met hierdie metode opgelewer.

Blootstellingseksperimente

Honderd eksemplare van *Oxystele tigrina* is in die tussengetygebied van Valsbaai[7] versamel by ’n lokaliteit wat op die suidelike punt van Suid-Afrika geleë is nl 34º 15´ S, 18º 40´ O, en na die laboratorium vervoer in plastiekemmers met water vanaf dieselfde lokaliteit. Verskille in bestaande swaarmetaalladings wat verband hou met ouderdom en grootte[19] is sover moontlik omseil deur eksemplare van gelyke skulplengte tussen 32-40mm te selekteer op die veronderstelling dat organismes binne ’n bepaalde grootteklas min of meer van dieselfde ouderdom sal wees.[23]

Die diere is eers vir twee dae onder laboratoriumtoestande geakklimatiseer deur hulle in ’n 50-L glas akwarium met lugdeurborrelde seewater te plaas voor die blootstellingseksperimente begin het. Dit het verseker dat die spysverteringskanale geledig is en verdere variasie in kadmium konsentrasies teëgewerk is.[20] Soos uit die metaalontledings van veldversamelde organismes geblyk het, het hierdie eksemplare reeds met die aanvang van die eksperiment ’n agtergrondlading van kadmium gehad wat in die latere analise van die eksperimentele resultate in ag geneem moes word omdat dit reeds ’n invloed kon uitoefen op fisiologiese prosesse. Dit was egter onvermydelik omdat geen sukses nog behaal is met die teel van hierdie diere in aanhouding vir eksperimentele doeleindes nie.

Drie subgroepe van ongeveer ewe groot slakke is gebruik en ewekansig in drie glas akwariums met 10L seewater geplaas waardeur lug geborrel is. Die akwariums is in ’n klimaatbeheerde kamer by 17 ± 1ºC geplaas met ’n 12h: 12h lig: donker siklus. Twee subletale blootstellingsvlakke van $CdCl_2$ (0.2 en 0.4 µg/ml) is gebruik en die organismes is vir 14 dae daaraan blootgestel. Die konsentrasies was binne die omvang wat deur Regoli et al.[21] as subletaal vir mariene slakspesies beskou is en was ook realisties in terme van wat reeds in die seewater gevind is. Die kontrolegroep is in ongekontamineerde seewater aangehou en lug is deurgeborrel vir die duur van die blootstellingsperiode. Die water in die eksperimentele akwariums is elke derde dag vervang met seewater wat die gekose konsentrasies van kadmium bevat het en die water in die kontrole is met kadmiumvrye seewater vervang. Mortaliteit is daagliks nagegaan en dooie diere is verwyder. ’n Slak is as dood beskou indien dit nie in staat was om die voet terug te trek wanneer dit geprikkel word nie. [22]

Drie eksemplare van elke groep is gebruik om voor die aanvang van die blootstellings, die aanvanklike agtergrondladings van kadmium in die organe van die diere te bepaal. Gedurende die blootstellingsperiode van veertien dae is die diere nie gevoed nie en vyf eksemplare is ewekansig versamel uit elke groep op die 3^{de}, 7^{de}, 10^{de} en 14^{de} dag ten einde die hoeveelheid kadmium wat in die blootgestelde en kontrole individue geakkumuleer het, te bepaal. Die versamelde eksemplare is gevries en geberg by -20ºC totdat verdere metaalanalise kon plaasvind.

Dekontaminasie

Ten einde vas te stel hoeveel van die geakkumuleerde kadmium in die diere weer verlore sal gaan na afloop van blootstelling, is dekontaminasietoetse ook uitgevoer. Nadat die diere vir veertien dae blootgestel was aan 0.2 µg/ml en 0.4 µg/ml respektiewelik, is die oorlewende organismes uit die akwariums verwyder en die skulp is vlugtig met skoon kraanwater afgespoel waarna hulle onmiddellik vir ’n week in ongekontamineerde seewater geplaas is, waardeur suurstof geborrel is. Die water is eenmalig gedurende die periode vervang. Daarna is drie eksemplare uit elke groep versamel vir die bepaling van die kadmium in die weefsels.

Ekstraksie en analise van swaarmetaal in biologiese monsters

Die gevriesde eksemplare van die drie eksperimentele groepe en die versamelde eksemplare van die drie lokaliteite hierbo vermeld, is ontdooi en die sagteweefsel is van die skulp geskei. Veldslakke se sagteweefsel is as geheel suurverteer vir ekstraksie en analise. Die verskillende organe, naamlik die voetspier, spysverteringsklier en viscera van die eksperimentele slakke is vervolgens uitgedissekteer. Die monsters van die verskillende orgaantipes is saamgevoeg, in 'n oond vir 48 uur gedroog by 60°C en daarna fyngemaal in 'n vysel. Hierdie werkswyse is gevolg (weens die beperkte grootte van die slakke) ten einde voldoende materiaal van elke orgaantipe vir ekstraksiedoeleindes te bekom. Dit het noodwendig meegebring dat variasie in metaalinhoude tussen individue nie aangetoon kon word nie. Vyf submonsters van 0.2 tot 0.3g elk is van elke orgaantipe geneem vir suurvertering.[23] Die herhalings is gedoen om kwaliteitskontrole te kon uitoefen oor die doeltreffendheid van die ekstraksieproses self en in daaropvolgende analises met behulp van atoomabsorpsie vlamspektrofotometrie soos hierbo beskryf. Die metingslimiet vir kadmium was 0.02, en die kadmiumkonsentrasie is weergegee as µg/g droëmassa. Die koers van kadmiumopname op verskillende tydstippe gedurende die blootstellingsperiode van veertien dae is omgewerk en uitgedruk as µg/g/dag.

Statistiese analise

Alle berekenings is met die program Jandel Scientific Sigmastat 2.0 gedoen. Eenrigiting ANOVA is gebruik in die enkele gevalle waar seisoenale en ruimtelike variasie vergelyk is en t-toetse is gebruik om te bepaal of daar betekenisvolle verskille in kadmium tussen sedimente en water voorgekom het en tussen liggaamsladings en die omgewing. Grafiese aanbiedings van konsentrasies is in alle gevalle gebaseer op minstens vyf submonsters maar standaardafwykings is ter wille van duidelikheid van grafiese voorstellings uit figure weggelaat. Verskille tussen konsentrasies van submonsters van dieselfde organe, waarop gemiddeldes gebaseer is, was die resultaat van ekstraksie- en/of instrumentele metingsfoute en nie as gevolg van konsentrasieverskille tussen verskillende individuele organismses nie.

Ten einde die omvang van die besoedeling te kwantifiseer, is die sogenaamde kontaminasiefaktor[24] (KF) gebruik wat aantoon tot watter mate die agtergrondkonsentrasie by 'n bepaalde lokaliteit oortref word. Met K*F = Metaal se konsentrasie in sediment/agtergrondkonsentrasie in vlak mariene sedimente*. Die agtergrondkonsentrasie wat hiervoor gebruik is, is voorheen vir sedimente van Valsbaai bepaal as 0.05 µg/g droëmassa.[25]

Eenrigting ANOVA is ook gebruik om die kadmiumkonsentrasies in organe van die kontrolediere en blootgestelde diere te vergelyk en ook die konsentrasies in die verskillende blootstellingsgroepe onderling. Die t-toets is gebruik om die betekenisvolheid ($p<0.05$) van verskille tussen die kadmiumkonsentrasies in die organe met die aanvang en voltooiing van die blootstellingseksperimente te bepaal.

RESULTATE

Kadmium in seewater en sediment

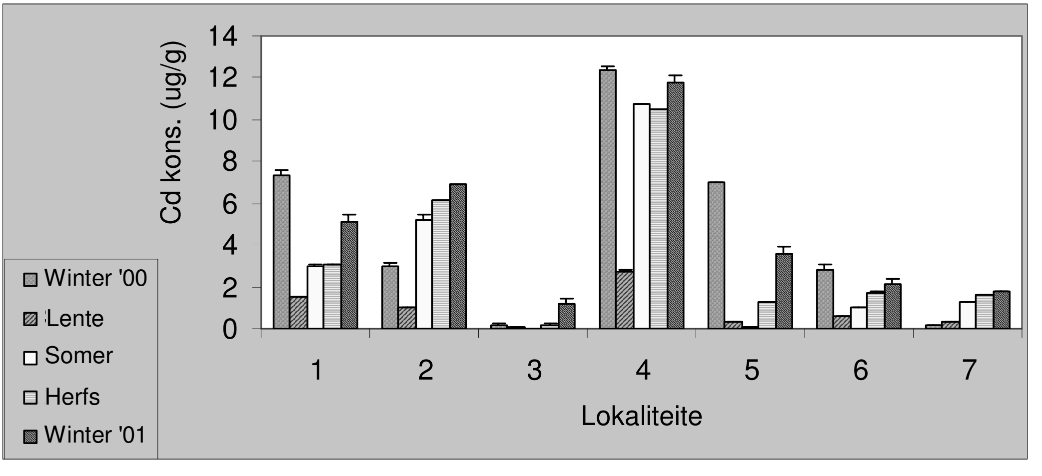
Betekenisvolle variasie het voorgekom in die kadmiumkonsentrasies wat gedurende die verskillende seisoene in die water by die verskillende lokalitiete gemeet is ($p < 0.001$). Die

TABEL 2: Gemiddelde kadmiumkonsentrasies in watermonsters (µg/L, n = 5) wat by die verskillende lokaliteite in Valsbaai se tusengetygebied versamel is gedurende vyf seisoene[18]. (Lokaliteit 1- Strand; 2- Gordonbaai 3- Glencairn; 4- Muizenberg; 5- Rooiels; 6- Kleinmond; 7- Miller's Point)

Lokaliteit	Winter 2000	Lente 2000	Somer 2000	Herfs 2001	Winter 2001
1	0.15	0.20	1.05	2.0	2.49
2	0.65	0.04	1.0	1.94	2.47
3	0.05	0.15	3.24	6.60	6.94
4	0.75	0.55	1.37	2.01	2.40
5	10.40	0.19	0.10	0.97	1.77
6	0.19	0.40	0.60	1.20	2.09
7	Nie gemeet	Nie gemeet	0.15	1.49	1.88

hoogste konsentrasie is by lokaliteit 5 (Tabel 2) gedurende die winter van 2000 gemeet naamlik 10 µg/L. Dié konsentrasie was laer gedurende daaropvolgende seisoene maar het weer gestyg gedurende die daaropvolgende winter van 2001. Dit het saamgeval met hoër reënvalsyfers gedurende Julie van elke jaar.

Die kadmiumkonsentrasies in sediment (Figuur 2) het gewissel van onmeetbaar laag tot 12.36 ± 0.21 µg/g droëmassa en die waardes het dieselfde patroon as dié van die water gevolg, met hoër konsentrasies meestal gedurende winterperiodes as gedurende ander seisoene.



Figuur 2: *Gemiddelde kadmiumkonsentrasies wat gedurende die verskillende seisoene (in opeenvolgende volgorde van Julie 2000 tot Julie 2001) in die sedimente by die verskillende lokaliteite in Valsbaai se tussengetygebied gemeet is. (Lokaliteit 1- Strand; 2- Gordonsbaai; 3- Glencairn; 4- Muizenberg; 5- Rooiels; 6-Kleinmond; 7-Miller's Point).*

Betekenisvol ($p < 0.001$) hoër konsentrasies is in die monsters verkry wat by lokaliteit 4 versamel is. Die konsentrasiefaktore of KF-waardes vir kadmium het hier tussen 30.8 en 147.2 gewissel. Die konsentrasies in die sedimente was oorwegend betekenisvol ($p < 0.05$) hoër as in die water gedurende al vyf seisoene by lokaliteite 1, 2 en 4.

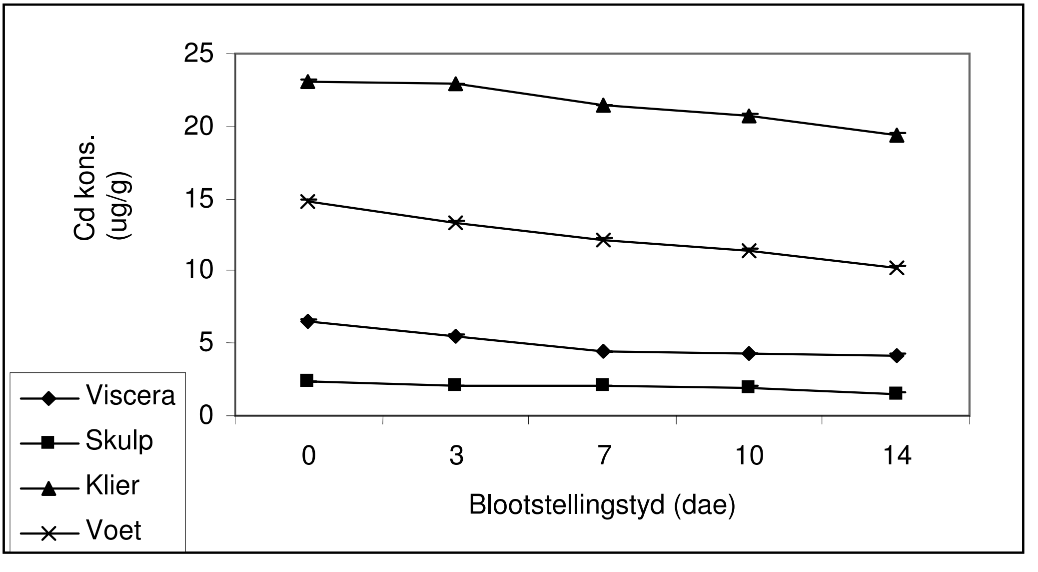
Kadmium in veldeksemplare van *Oxystele*

Die kadmiumkonsentrasie in die sagteweefsel (droë massa) het gewissel tussen 0.51± 0.04 µg/g in die somer van 2000 by lokaliteit 1 tot 4.38 ± 0.10 µg/g in die lente by lokaliteit 1 en 3 en in die winter 6.45± 0.10 µg/g by lokailteit 3 en so hoog as 32.0 ±0.10 µg/g in die winter by lokaliteit 7.

Opname van kadmium tydens eksperimentele blootstelling van *Oxystele*

Kadmiumkonsentrasies in organe van die kontrolegroep

Die kadmiumkonsentrasies in al die organe van die kontrolegroep het met toenemende tydsverloop progressief laer geword (Figuur 3). Teen die 14de dag van blootstelling het die gemiddelde konsentrasie in die viscera afgeneem vanaf die oorspronklike 6.45 ± 0.10 µg/g wat met die aanvang van blootstelling gemeet is tot 4.10 ± 0.12 µg/g, wat ’n verlies van ongeveer 36.4% verteenwoordig. Die konsentrasie van kadmium in die skulp het vanaf 2.33 ± 0.10 µg/g tot 1.45 ± 0.16 µg/g, afgeneem wat ook ’n verlies van ongeveer 37.8% van die aanvankilke konsentrasie verteenwoordig. Die gemiddelde konsentrasie van die spysverteringsklier het vanaf die aanvanklike 23.10 ± 0.14 µg/g, tot 19.45 (± 0.14) µg/g, verminder, wat ’n verlies van 15.8% beteken het. Die voetspier se konsentrasie het vanaf 14.84 ± 0.10 tot 10.22 ± 0.12 µg/g, verminder om ’n verlies van ongeveer 31% van die aanvanklike konsentrasie te vertoon.



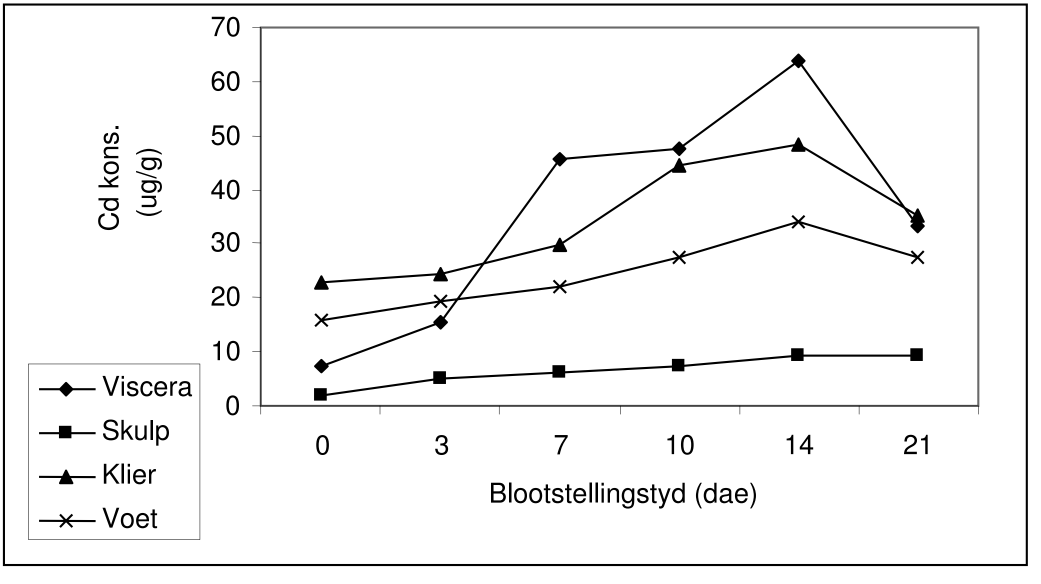
Figuur 3: *Gemiddelde kadmiumkonsentrasies gemeet by verskillende blootstellingstye in die organe van die kontrole-eksemplare van* Oxystele tigrina *(n = 5).*

Kadmiumkonsentrasie in organe van die 0.2 µg/ml $CdCl_2$ blootstellingsgroep

Die gemiddelde kadmiumkonsentrasie het mettertyd deurlopend toegeneem in al die organe van hierdie groep (Figuur 4), en teen die einde van die blootstellingsperiode was die volgorde van konsentrasies soos volg: viscera > spysverteingsklier > voetspier > skulp. Die gemiddelde konsentrasie van die viscera het vanaf 7.38 ± 0.10 µg/g, tot 64 ± 0.14 µg/g aan die einde van die 14 dae van blootstellings toegeneem. Daar was 'n skerp toename in die opnamekoers van kadmium tussen dag 3 en 7, vanaf 2.7 tot 10 µg/g/daagliks. Die skulp se konsentrasie het geleidelik toegeneem vanaf 2.05 ± 0.12 µg/g aan die begin van die eksperiment tot 9.15 ± 0.20 µg/g op dag 14. Die kadmiumkonsentrasie wat aan die einde van die blootstelling in die spysverteringsklier en voetspier bepaal is, was dubbel die oorspronklike konsentrasie. Die gemiddelde kadmiumkonsentrasie van die spysverteringsklier het vanaf 22.90 ± 0.12 tot 48.28 ± 0.10 µg/g, toegeneem en die aanvanklike opnamekoers was geleidelik tussen dag 0 en dag 7. Daarna het die koers skerp toegeneem. Die gemiddelde konsentrasie in die voetspier het vanaf 16.00 ± 0.11 tot 34.00 ± 0.13 µg/g, toegeneem teen 'n ongeveer konstante koers (Figuur 4).

Kadmiumkonsentrasie in organe van die 0.4 µg/ml $CdCl_2$ blootstellingsgroep

'n Skerp toename in kadmiumopname het in die viscera van die eksperimentele groep tussen die begin en die derde dag voorgekom. Dit het gelei tot 'n konsentrasie wat vyfvoudig hoër was as die aanvangkonsentrasie van 10.55 ± 0.13 µg/g. (Figuur 5). Hierna was die opnamekoers ongeveer konstant tot by dag 10 toe dit weer toegeneem het met 'n koers vanaf 5.33 tot 12.13 µg/g/dag. Teen die einde van die blootstellingsperiode het die gemiddelde kadmiumkonsentrasie in die viscera 122.00 ± 0.13 µg/g bereik, wat ongeveer 18-voudig meer as die aanvanklike konsentrasie



Figuur 4: *Gemiddelde kadmiumkonsentrasies gemeet by verskillende blootstellingstye in die organe van* Oxystele tigrina *wat blootgestel was aan 0.2 µg/ml $CdCl_2$. Vanaf dag 14 tot dag 21 is die slakke in ongekontamineerde seewater geplaas (n = 5).*

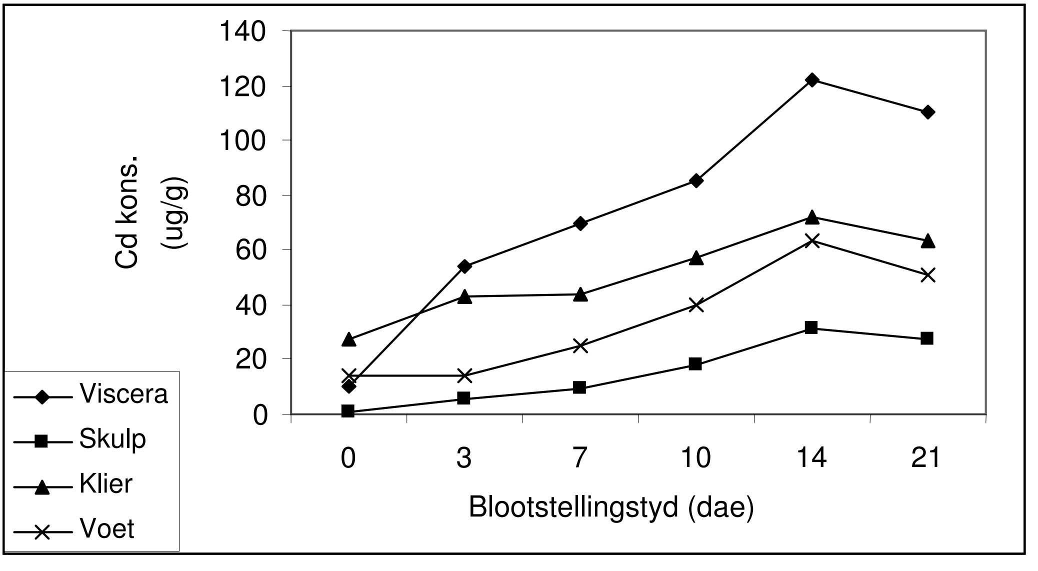
was. Die konsentrasie van die skulp het min of meer liniêr gestyg tussen dag 0 en 7, met die koers van opname wat verdubbel het tussen dag 7 en 10 vanaf 1.18 tot 2.9 µg/g/dag, en weer tussen dag 10 en 14 totdat dit 'n konsentrasie bereik het wat 30-voudig hoër was as die oorspronklike konsentrasie van 1.03 ± 0.10 µg/g. Die gemiddelde kadmiumkonsentrasie van die spysverteringsklier het vanaf 27.25 ± 0.13 tot 72.00 ± 0.12 µg/g toegeneem teen die 14de dag van blootstelling. In die voetspier het dit vanaf 13.80 ± 0.12 tot 63.53 ± 0.15 µg/g toegeneem oor dieselfde periode.

Mortaliteit

Geen mortaliteit het in die kontrolegroep en die groep wat aan 0.2 µg/ml blootgestel is, voorgekom nie. Daar was 10% mortaliteit aan die einde van die blootstellingsperiode by die groep wat aan 0.4 µg/ml kadmium blootgestel is. 'n Sigbare aanduiding van toksisiteit in die twee akwariums wat kadmium bevat het, was die teenwoordigheid van 'n slymerige afskeiding deur die blootgestelde diere wat tot skuimvorming op die wateroppervlak gelei het.

Kadmiumkonsentrasie na dekontaminasie

'n Afname in die kadmiumkonsentrasies van die verskillende organe het teen dag 21 voorgekom na 'n week van dekontaminasie (Figure 4 & 5). Die skulpe van die 0.2 µg/ml blootstellingsgroep het meer van die geakkumuleerde kadmium verloor (85.6%) as die viscera (54%), die spysverteringsklier (51%) en die voetspier (36.9%). Die 0.4 µg/ml blootstellingsgroep het in verhouding minder kadmium verloor met die voetspier wat 25.3% van die geakkumuleerde kadmium verloor het, gevolg deur die spysverteringsklier (19%), die skulpe (13.4%) en viscera (10.7%).



Figuur 5: *Gemiddelde kadmiumkonsentrasies gemeet by verskillende blootstellingstye in die organe van* Oxystele tigrina *blootgestel aan 0.4 µg/ml $CdCl_2$ Die slakke is vanaf dag 14 tot dag 21 in ongekontamineerde seewater geplaas (n = 5).*

Eenrigting ANOVA het aangetoon dat die gemiddelde kadmium in die organe van die groep wat aan tot 0.4 µg/ml blootgestel was, na dekontaminasie betekenisvol hoër ($p < 0.001$) gebly het in vergelyking met die kontrole- en die ander blootstellingsgroep oor dieselfde tydperk.

BESPREKING

Kadmium in Valsbaai

Die verhoogde aanwesigheid van kadmium in die sediment van die verskillende lokaliteite digby nedersettings en fabrieke mag 'n aanduiding wees van die industriële vrylatings vanaf fabrieke asook huise in die onmiddellike omgewing. By lokaliteit 1 het sodanige vrylating van tyd tot tyd voorgekom voor 2000.[9] Verskeie stormwater- en riooluitlate digby lokaliteit 4 kon bygedra het tot die verhoogde kadmiumvlakke in die sediment. Volgens Kinne[26] bevat munisipale afvalwater dikwels swaarmetale vanaf industrieë wat uiteindelik in die kuswaters beland. Die seisoenale veranderinge in windrigting vanaf suidoostelik tot noordwestelik tydens respektiewelik somer en winter tesame met die wisselvallige reënval en diffuse bronne[28] kon bygedra het tot die wisselende patroon in die kadmiumkonsentrasies.

Mdzeke[18] is van oordeel dat verlaagde soutgehalte waar die Lourens-, Rooiels- en Kleinmondrivier in die baai uitmond 'n rol kan speel, omdat Hops[29] aangetoon het dat 'n verlaging in soutgehalte tot 'n verlaging in die chloro-kompleksering van swaarmetale soos kadmium lei. Die gevolg is dat die vrye kadmiumione meer biobeskikbaar is vir opname deur organismes. Dit kan dan die hoër konsentrasies in die sedimente en organismes in hierdie lokalitiete verklaar gedurende die periodes van lae soutgehalte wat met verhoogde reënval en stroomvloei gepaardgaan. Soutgehalte het ook volgens Cunningham[30] 'n invloed op biobeskikbaarheid en akkumulasie van swaarmetale in ongewerweldes. 'n Verlaging in soutgehalte lei, volgens verskeie outeurs, tot verhoging in die opname van kadmium in diereweefsel. [29, 31, 32] Mdzeke[18] het ook bevind dat lokaliteite met 'n lae soutgehalte geassosieer kan word met hoë kadmiumkonsentrasies in sagteweefsel van diere. Soos ook deur ander outeurs[33, 34] elders bevind is, was sessiele, filtervoedende eendemossels, wat sy ook by lokaliteit 5 versamel het, sterk konsentreerders van kadmium. Mdzeke[18] het bevind dat die metaalinhoude van slakke gedurende somermaande afneem in vergelyking met die wintermaande en vermoed dat dit verband hou met die uitskeiding van voortplantingsprodukte in die somer. Gedurende die herfs en winterperiodes was die gemiddelde metaalinhoud van die water hoër, waarskynlik weens die verhoogde reënval en die gepaardgaande verhoging in besoedelde afloopwater na die see. Aangesien die eksperimentele slakke nie gevoer is nie, kan slegs vermoed word dat akkumulasie uit die water plaasvind. Die vroeëre studie van Heinecken et al.[16] in die opvanggebiede van Valsbaai het weinig besoedeling vanaf die Rooielsrivier se opvanggebied (waar lokaliteit 5 geleë is) aangetoon. Gedurende die laat 1980's het die gebied 'n wapentoetsterrein gehuisves waar chemiese aandrywers vir kanonne getoets is vir die Suid-Afrikaanse weermag.[35] Omdat bewysplase ontbreek, kan alleen maar gespekuleer word dat hierdie aktiwiteite kon bygedra het tot die opbou van kadmium wat in die gebied gevind is. Slotton & Reuter[36] en ook Deacon & Driver[37] het bevind dat swaarmetale veral in sedimente in akwatiese stelsels gedeponeer word. Weens gebrek aan riglyne[7] vir mariene sedimente in Suid-Afrika, is die waardes wat in hierdie studie verkry is met die Drumpel Effek Waardes (DEW) (Eng.: threshold-effect levels, TEL) vergelyk en die Waarskynlike-Effek Waardes (WES) (Eng. Probable-Effect Levels, PEL).[26, 37, 38] Die DEW en WES vir kadmium is 0.596 en 3.53 µg/g respektiewelik en beide is deur die waardes wat in die huidige studie gemeet is, oorskry. Die kadmiumvlakke in die water het soms die perk (4.0 µg/L) wat deur die " South African Water Quality Standards" aanbeveel word,[39] oortref – veral by lokaliteite 3 en 4. Dit is egter belangrik

om daarop te wys dat totale omgewingswaardes van metale, al oortref dit die sogenaamde teikenwaardes, nie noodwendig op ’n verhoogde risiko dui wat dringende aandag verdien nie. Teikenwaarde is in die eerste plek bedoel om voorkomend te wees. Ander parameters soos pH, gesuspendeerde partikels en soutgehalte moet steeds in ag geneem word omdat dit die biobeskikbaarheid van die kadmium kan teenwerk of verhoog en dus die risiko verminder of vermeerder omdat die werklike blootstelling daardeur bepaal word.

Die opname van kadmium deur *Oxystele*

Verskille in die omvang en koers van kadmiumopname het tussen die verskillende weefseltipes van *O. tigrina* voorgekom. Die deurlopende en toenemende opname van kadmium met verloop van die blootstellings is ’n aanduiding daarvan dat die metaal nie, soos in die geval van essensiële metale, deur hierdie diere gereguleer[8] kan word nie. Volgens Kureishy & D’Silva [40] word die metaal opgegaar in die liggaam wanneer die opnamekoers die uitskeidingskoers oortref en dit mag die rede wees vir die waargenome liniêre toename in kadmium in die verskillende weefsels van *Oxystele tigrina.*

Die viscera het oor die algemeen meer kadmium geakkumuleer as die ander weefsels en dit stem ooreen met die bevindings van Herwig et al.[14] Volgens Newell [9] is die variasie in die opnamekoers en die konsentrasies in die viscera die gevolg van ’n herverspreiding van kadmium wat vanaf die oppervlakkige plekke, soos die voet en mantel, na die interne organe en sagteweefsel plaasvind tydens opname- en detoksifikasieprosesse. Die akkumulasie in die spysverteringsklier dui daarop dat dit een van die teikenorgane mag wees vir die stoor van die metaal volgens Nott en Nicolaidou.[41] Die skulpe van die blootgestelde organismes het ook kadmium in verskillende hoeveelhede geakkumuleer en dit kan volgens Herwig et al.[14] grootliks die gevolg wees van adsorpsie aan die oppervlak. Die binding en kompartementering daarvan in die skulpstruktuur mag ’n alternatiewe roete van detoksifisering wees deur middel van immobilisering van die metaal. Herwig et al.[14] het bevind dat die konsentrasie in en op die skulpe van mariene invertebrate na ongeveer drie weke van blootstelling ’n afplatting vertoon, wat daarop dui dat kadmium se akkumulasie deur adsorpsie op die skulp uiteindelik ’n versadigingspunt kan bereik. Iets soortgelyks is nie na 14 dae van blootstelling in die huidige studie waargeneem nie.

Aangesien die blootstelling van die slakke in die afwesigheid van voedsel plaasgevind het, kan vermoed word dat akkumulasie van kadmium hoofsaaklik deur passiewe diffusie vanuit die omringende water deur die liggaamswand[42] plaasgevind het. Die aan- of afwesigheid van voedsel speel wel ’n rol by die opname van swaarmetale by mariene invertebrate volgens Eisler,[43] hoewel Widmeyer en Bendell-Young[44] onlangs bevind het dat by mossels voedselkwaliteit en innamekoers van voedsel ’n kleiner rol as soutgehalte speel tydens kadmiumopname. Die konsentrasies wat in die huidige studie verkry is, mag dus steeds laer wees as wat die geval sou gewees het indien voedsel voorsien is omdat ook Siboni et al.[45] bevind het dat metaallopname via beide die deurlatende membrane sowel as deur ingestering van voedsel plaasvind.

Hoewel kadmiumverlies by beide blootstellingsgroepe tydens die dekontaminasieperiode plaasgevind het, het die gemiddelde konsentrasies in die verskillende organe van hierdie groepe steeds hoër as dié van die kontrole aan die einde van die week van dekontaminasie gebly. Die kadmium was dus waarskynlik redelik sterk gebind en gesekwestreer in die blootgestelde groepe,[46] of ’n langer periode was nodig om verdere verlies te bewerkstellig.[21] Geen verklaring kan aangebied word waarom die kadmium wat deur die 0.2µg/ml groep vrygestel is hoër was as die van die slakke wat aan 0.4 µg/ml blootgestel was nie. Dit mag ’n aanduiding van ’n meer permanente vaslegging wees by die hoër konsentrasie soos voorgestel deur Cunningham.[30]

GEVOLGTREKKINGS

Kadmiumkonsentrasies in sedimente van Valsbaai was deurgaans hoër as in die kuswater. Die noordelike kus van Valsbaai het hoër vlakke van kadmium tussen lokaliteite 1 en 4 gehad, moontlik omdat daar meer digbevolkte gebiede en industriële aktiwiteite voorkom in hierdie aangrensende opvanggebiede. Die konsentrasies van kadmium was soms hoër as die toelaatbare vlakke maar het baie gevarieer.

Blootstelling van die tolletjie, *O. tigrina,* aan subletale konsentrasies van kadmium het oor ’n relatief kort tydsverloop tot akkumulasie van die metaal gelei en tot ’n gedifferensieerde verspreiding daarvan in verskillende organe. Die sagteweefsel het die hoogste vlakke van kadmium geakkumuleer. Beide die skulp en interne organe het kadmiumverlies ondergaan nadat die blootgestelde organismes in kadmiumvrye seewater geplaas is. Die behoud van kadmium in beide sediment en dierliggame was sodanig dat afgelei kan word dat kadmium teen huidige omgewingskonsentrasies, wat in sekere dele van Valsbaai die neergelegde norme oorskry, maar oor die algemeen as laag beskou kan word, steeds met verloop van tyd in hierdie tussengetydiere kan akkumuleer tot vlakke wat nadelig is vir die organismes self, en ook vir hulle predatore. Die situasie behoort dus dopgehou te word sodat maatreëls om die biodiversiteit van Valsbaai se tussengetygbied betyds te beveilig, oorweeg kan word indien kadmiumvlakke enigsins verder sou styg of indien veranderde omgewingsfaktore die biobeskikbaarheid van die metaal drasties sou verhoog.

Die beleidsimplikasies van die resultate van hierdie studie moet ook oorweeg word. Wanneer bevind word dat omgewingskonsentrasies van ’n gevaarlike stof soos kadmium die voorgeskrewe norm oorskry, kom die vraag na vore of remediërende of strenger voorkomende handelinge nodig is. Hoe omvangryk moet normoorskryding wees voordat opgetree word? Die omvattende Nederlandse SSEO-navorsingsprogram oor die reaksies van ekostelsels op chroniese chemiese besoedeling van ’n diffuse aard, bied waardevolle insigte in hierdie verband. Daar is bevind, soos verwoord deur Posthuma et al., [46] dat normoorskryding beperkte inligting verskaf oor risiko’s. Die rede daarvoor is dat norme, wat bedoel is om voorkomend te wees, normaalweg afgelei word van die reaksie op ’n enkele stof en nie mengsels van chemiese stowwe in ag neem, soos wat meestal in die natuur aanwesig is nie. Tweedens word daar by die vasstelling van norme nie gekyk na die rol van plaaslike omstandighede nie. Drie groepe faktore sal die risiko bepaal, naamlik die omgewingseienskappe van die blootstellingsmedium, die aard en samestelling van die mengsel en die gevoeligheid van die spesies wat blootgestel word. Hierby sal die blootstellingsduur en die omvang van die oorskrydingsgebied medebepalend wees. Hoewel dit dus uit die huidige studie blyk dat hier soms sprake is van oorskryding van neergelegde omgewingsnorme vir kadmium in Valsbaai, kan die werklike risiko nie sonder meer gekonstateer word nie. Daar behoort eers meer indringend na die totaliteit van ekologiese effekte op ’n lokaliteitspesifieke wyse gekyk te word voordat risiko met groter sekerheid bepaal kan word. Daar sal veral gelet moet word op die totaliteit en veranderlikheid van bydraende stresfaktore. [48]

DANKBETUIGINGS

Die studie is finansieel ondersteun deur toekennings van die Nasionale Navorsingstigting en die Universiteit van Stellenbosch. Enige menings, bevindinge of aanbevelings wat uitgespreek word, is dié van die outeurs en die NNS aanvaar geen aanspreeklikheid daarvoor nie.

BIBLIOGRAFIE

1. Dobrovoljc, K., Jeran, Z., Bulog, B. (2003). Uptake and elimination of cadmium in *Rana dalmatina* (Anura, Amphibia) tadpoles. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology,* 70: 78-84.
2. Bu-Olayan, A. H., Subrahmanya, M. N. V. (1998). The effect of size upon metal content of the lobster (*Thenus orientelis*) from Kuwait marine environment. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology,* 61: 175- 181.
3. Webb, M. (1979). *The chemistry and biology of cadmium*. New York: Elzevier.
4. Morgan, A.J.& Morris, B. (1982). The accumulation and intracellular compartmentation of cadmium, lead, zinc and calcium in two earthworm species (*Dendrobaena rubida* and *Lumbricus rubellus*) living in highly contaminated soil. *Histochemsitry*, 75: 269-285.
5. Goering, P.L., Waalkes, M.P.& Klaassen, C.D. (1995). Toxicology of cadmium. In: Goyer, R.A. & Cherian, M.G. (eds). *Toxicology of Metals. Biochemical Aspects.* Berlin: Springer.
6. Nassiri, Y. et al. (1997). Cadmium accumulation in *Tetraclita selimis:* An EELS study. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 33: 156-161.
7. Taljaard, S., Van Ballengooyen, R.C. & Morant, P.D. (2000). False Bay Water Quality Review, *CSIR Report Env-S-C-2000-086/1*: 1–10. Stellenbosch, South Africa.
8. Rainbow, P. S. (1997). Trace metal accumulation in marine invertebrates: Marine biology or marine chemistry? *Journal of Marine Biological Assessment* 77: 195-210.
9. Newell, R. C. (1979). *Biology of intertidal animals*. Marine Ecological Surveys Ltd., Kent, UK.
10. Baudrimont, M., Andres, S., Metivaud, J., Lapaquellerie, Y., Ribeyre, F., Maillet, N., Latouche, C.& Boudou, A. (1999). Field transportation of the freshwater bivalve *Corbicuta fluminea* along a polymetallic contamination gradient. II. Metallothionein response to metal exposure. *Environmental Toxicology & Chemistry,* 18: 2472-2477.
11. Rainbow, P. S., Phillips, D. J. H.& Depledge, M. H. (1990). The significance of trace metal concentration in marine invertebrates: A need for laboratory investigation of accumulation strategies. *Marine Pollution Bulletin,* 21: 321-324.
12. Chung, K.W., Fulton, M.H. & Scott, G.I. (2007). Use of the juvenile clam, *Mercenaria mercenaria*, as a sensitive indicator of aqueous and sediment toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 67: 333-340.*
13. Okazaki, R. K.& Panietz, M. H. (1981). Depuration of 12 trace metals in the tissues of oysters *Crassostrea gigas* and *C. virginica. Marine Biology,* 63: 113-120.
14. Herwig, H. J., Brands, F., Kruitwagen, E.& Zandee, D. I. (1989). Bioaccumulation and histochemical localization of cadmium in *Dreissena polymorpha* exposed to cadmium chloride. *Aquatic Toxicology,* 15: 269-286.
15. Branch, G. M., (1974). The ecology of *Patella* from the Cape Peninsula, South Africa. 3. Growth rates. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 41: 161-193.
16. Heinecken, T. J. E., Bickerton, I. B. & Heydon, A. E. F. (1983). A summary of studies of the pollution input of rivers and estuaries entering False Bay. *CSIR Report/ SEA 8031,* Stellenbosch.
17. Van der Merwe , I. J., Vlok, A-C. & Van der Merwe, J. H. (1991). Land use and population characteristics in the False Bay coastal frame. *Transactions of the Royal Society of South Africa,* 47(4-5): 693-702.
18. Mdzeke, N.P. (2004). Contamination levels in and cellular responses of intertidal invertebrates as biomarkers of toxic stress caused by heavy metal contamination in False Bay. PhD tesis, University of Stellenbosch.
19. Bourgoin, B. P. (1990). *Mytilus edulis* shell as a bioindicator of lead pollution: Considerations on bioavailability and variability. *Marine Ecology Progress Series,* 61: 253-262.
20. Anon. (1980). The International Mussel Watch: Report of a workshop. National Academy of Sciences, Washington DC.
21. Regoli, F., Orlando, E., Mauri, M., Nigro, M.& Cognetti, G. A. (1991). Heavy metal accumulation and calcium content in the bivalve *Donacilla cornea. Marine Ecology Progress Series,* 74: 219-224.
22. Harrison, F. L., Lam, J. R., Berger, R. (1983). Sublethal responses of *Mytilus edulis* to increased dissolved copper. *Science of the Total environment*, 28: 141-158.
23. Snyman, R.G. (2001). Cellular biomarkers of exposure to the fungicide copper oxychloride in the common garden snail *Helix aspersa* in Western Cape vineyards. PhD tesis, University of Stellenbosch.

24. El-Sammak, A. A. & Aboul-Kassim, T. A. (1999). Metal pollution in the sediments of Alexandria Region, south-eastern Mediterranean, Egypt. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology,* 63: 263-270.
25. DEAT (1985) Annual Report # 51. *Marine Development,* DEAT, Cape Town.
26. Kinne, O. (1984). *Marine Ecology*. New York : John Wiley & Sons.
27. Darracott, A. & Watling, H. (1975). The use of molluscs to monitor cadmium levels in estuaries and coastal marine environments. *Transactions of the Royal Society of South Africa,* 39(2): 211-221.
28. Neal, C., Jarvie, H. P., Whitton, B. A. & Gemmell, J. (2000). The water quality of the River Wear, northeast England. *Science of the Total Environment,* 251(1-3): 153-172.
29. Hops, J. M. (1990). Effect of industrial and domestic effluents on the settlement, growth, reproduction and mortality of the brown mussel *Perna perna* in the outlet of the Papenskuil River, Algoa Bay, South Africa. MSc Thesis, University of Port Elizabeth.
30. Cunningham, P.A. (1979). The use of bivalve mollusks in heavy metal pollution research. In: Vernberg, W.B., Thurnberg, A.C.E. & Vernberg, F.J. (eds). London: Academic Press..
31. Coombs, T. L. (1979). *Cadmium in aquatic organisms.* In: Webb, M. (ed.) *The chemistry, biochemistry and biology of cadmium.* New York: Elsevier.
32. Moore, M. N. (1981). *Elemental accumulations in organisms and food chains.* In: Longhurst, A. R. (ed.) *Analysis of marine ecosystems.* London: Academic Press..
33. Beyer, W.N., Heinz, G.H. & Redmom-Norwood, D, A. W. (1996). *Environmental contaminants in wildlife: Interpreting tissue concentrations.* Boca Raton, Florida: CRC Publishers.
34. Ruelas-Inzunza, J. & Paez-Osuna, F. (1998). Barnacles as biomonitors of heavy metal pollution in the coastal waters of Mazatlan Harbor (Mexico). *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology,* 61: 608-615.
35. Cock, J. & McKenzie, P. (1998). *From defense to development. Redirecting military resources in South Africa.* Cape Town: David Phillip.
36. Slotton, D. G. & Reuter, J. E. (1995). Heavy metals in intact and re-suspended sediments of a California reservoir, with emphasis on potential bioavailability of copper and zinc. *Marine & Freshwater Research,* 46: 257-265.
37. Deacon, J. R. & Driver, N. E. (1999). Distribution of trace metals in streambed sediments associated with mining activities in the upper Colorado River Basin, Colorado, USA, in 1995-1996. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology,* 37: 7-18.
38. Carr, R. S., Nipper, M., Biedenbach, J. M., Hooten, R. L., Miller, K. & Saepoff, S. (2001). Sediment toxicity identification evaluation (TIE) studies at marine sites suspected of ordnance contamination. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology,* 41: 298-307.
39. DWAF (1995) South African Water Quality Guidelines for Coastal Marine Waters. Pretoria.
40. Kureishy, T.& D'Silva, C. (1993). Uptake and loss of mercury, cadmium and lead in marine organisms. *Indian Journal of Experimental Biology*, 31: 373-379.
41. Nott, J. & Nicolaidou, A. (1989). Metals in gastropods-metabolism and bioreduction. *Marine Environmental Research,* 28: 201-205.
42. Andres, S., Ribeyre, F., Tourenco, J-N.& Boudou, A. (2000). Interspecific comparison of cadmium and zinc contamination in the organs of four fish species along a poly-metallic pollution gradient (Lot River, France). *Science of the Total Environment* , 248: 11-25.
43. Eisler, R. (1981). *Trace metal concentrations in marine organisms*. New York: Pergamon Press.
44. Widmeyer, J.R.& Bendell-Young, L.I. (2007). Influence of food quality and salinity on dietary cadmium availability in *Mytilus trossulus*. *Aquatic Toxicology* 81:144-151.
45. Siboni, N., Fine, M., Bresler,V.& Loya, Y. (2004). Coastal coal pollution increases Cd concentrations in the predatory gastropod *Hexaplex trunculus* and is detrimental to its health. *Marine Pollution Bulletin,* 49: 111-118.
46. Blust, R., Reinecke, A.J.& Van Leeuwen, C.J. (2008) *Eindevaluatie Stimuleringsprogramma Systeemgericht Ecotoxicologisch Onderzoek*, Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek, Den Haag, Nederland.
47. Posthuma, L., Eijsackers, H.& Vijver, M. (2006). Toxische stoffen, normen en ecologische risico's – hoe zit dat? *Milieu Dossier,* 7: 19-23.
48. Van Straalen, N.M. (2003). Ecotoxicology becomes stress ecology. *Environ. Sci. Technol*., 37: 324-330.