

Manometriás módszerek jelentősége az élelmiszeranalitikában*

TELEGDY KOVÁTS LÁSZLÓ

Budapesti Műszaki Egyetem Élelmiszerkémiai Tanszék

Érkezett: 1957. április 27.

Gázfejlődéssel vagy elnyeléssel kapcsolatos reakciók tanulmányozására legcélszerűbben az ún. manometriás módszerek használhatók fel. A vizsgálat tárgyává tett reakciót oly zárt edényben játszátjuk le, melyhez folyadékzárás manométercső kapcsolódik, miáltal az edénybe zárt gáz mennyiségének változása jól követhető. A sejtlélegzés folyamán felhasznált oxigén és termelt CO_2 mennyiségének meghatározása a sejtlélegzés mechanizmusának tisztázása szempontjából alapvető fontosságú, s ezért a manometriás módszereket legelőször csaknem kizárólag erre a célra használták fel. Az alkalmazott elv azonban — mint arra *Dixon* könyvében már régebben rámutatott — egyéb célkitűzéseket is szolgálhat: így savanyú vagy alkálikus vegyületek keletkezésével, illetőleg eltűnésével járó folyamatok is manometriásan ellenőrizhetők oly bikarbonát pufferekben, amelyek a CO_2 -t tartalmazó gázkeverékkel egyensúlyban vannak. Ebben az esetben u. i. pl. a keletkező sav megfelelő mennyiségű CO_2 -t fog felszabadítani, amely manometriásan meghatározható. Sok hidrolites reakció tanulmányozására nyílik így lehetőség.

A módszer kivitelezésében alkalmazott manométerek három csoportba sorolhatók. Az első csoportra jellemző, hogy a gázt állandó nyomáson igyekszünk tartani és a térfogatváltozást olvassuk le. Ezen az elven szerkesztett eszközök a *Haldane* készülék és *Winterstein* mikrorespirátora. A második csoportba tartozó műszereknél a reakcióedényhez oly U alakú manométer kapcsolódik, amelynek egyik vége nyitott. A reakció állandó térfogat biztosításával játszódik le és a gázmennyiség változ-

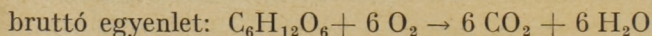
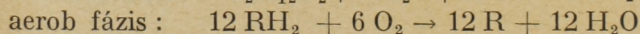
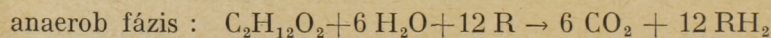
* Részlet a pekingi műszerkiállításon 1956. október 18-án elhangzott előadásból. (Szerk.)

sára a nyomásváltozásból következtetünk. Ilyen elven működik a Warburg készülék. Végül a harmadik csoportba tartozó eszközökben mind a nyomás, mind a térfogat egyidőben változik. Ily mérésekre alkalmas műszer *Barcroft* készüléke. A leggyakrabban alkalmazott elv az állandó térfogaton végzett nyomásmérések módszere, a Warburg technika.

A Warburg technikát — nagy lehetőségeinek felismerése után is főleg biokémikusok használták és használják tudományos vizsgálatokban, állati és növényi respiráció, növényi asszimiláció, erjedési folyamatok stb. tanulmányozására. A módszer azonban gyakorlati élelmiszeranalitikai, továbbá ipari problémák megoldására is alkalmas, sőt gázfejlődéssel nem járó folyamatok tanulmányozására, pl. dilatometriára is felhasználható. A következőkben néhány gyakorlati példán kívánom a Warburg módszer széleskörű alkalmazhatóságát bemutatni.

Élesztőfajok ipari felhasználhatóságának vizsgálata

Az élesztők, mint egysejtű szervezetek élettevékenységének biztosítására ugyanúgy, mint a magasabbrendű növényi vagy állati szervezeteknek, energiatermelő folyamatok lejátszódására van szükség. A sejtekben, szövetekben lejátszódó energiatermelő, exergonikus reakciók általában oxidatív jellegűek, és a biológiai oxidáció fogalma alatt foglalhatók össze. *Palladin* elgondolása szerint, a sejtlégzés illetőleg szövetlélegzés, tehát a biológiai oxidáció levegő jelenlétében (aerob módon) és távollétében (anaerob módon) is végbemehet, pl. glükóz esetében a következőképpen:



ahol R valamilyen hidrogénakceptor. Anaerob körülmények között a hidrogénakceptor valamilyen szerves vegyület, ebben az esetben a folyamatot erjedésnek nevezzük; aerob körülmények között a hidrogénakceptor a levegő oxigénje, ebben az esetben a folyamat az, amit közönségesen lélegzésnek hívunk. A két folyamat egymáshoz való viszonyát már *Pasteur* behatóan tanulmányozta és ő ismerte fel azt, hogy levegő jelenlétében, az aerob lélegzéssel párhuzamosan, az élesztő gyors szaporodása következik be, az erjedés pedig visszaszorul; míg levegő távollétében az erjesztési folyamat dominál. (Pasteur-reakció).

Az egyes élesztőfajok ipari felhasználhatósága az erjesztő, illetőleg lélegzőképességüktől függ, miértis ilyen szempontból végzett vizsgálatok a gyakorlat szempontjából igen fontosak. A sütőiparban alkalmazott pékélesztő gyártásához u.i. olyan élesztőfaj alkalmas, melynek nagy a légzési aktivitása. Az élesztőgyárban a hozamot elsősorban az határozza meg, hogy milyen aktívan lélegzenek az élesztők, tehát mily mértékben levegőztethetjük a cefrét. De a pékélesztőtől azt is megköveteljük, hogy a sütőipari felhasználáskor kelesztőképessége nagy legyen, tehát anaerob körülmények között megfelelő erjesztési aktivitással is rendelkezzen. A szesziparban az élesztő lélegzőképességének alárendelt a szerepe, mert ott legfeljebb a gyártás kezdetén levegőztethetjük az élesztőt, később — a tulajdonképpeni felhasználás időszakában — kizárólag az erélyes, gyors erjesztőképességen van a hangsúly. Szeszélesztőnél tehát nem előnyös az aktív és gyors szaporodás, mely főleg lélegzésnél következik be, mert az a szeszhozam csökkenését okozza. Ugyanez a követelményünk a jó sörélesztővel szemben is. Takarmányélesztő előállításánál — a pékélesztő, szesz és söríparral ellentétben — kizárólag a felhasznált élesztőfaj légzési aktivitása fontos, erjesztőképességet egyáltalán nem kívánunk meg, mert az a hozam rovására megy.

A különböző élesztőfajok és fajták közül az egyes iparágakban legjobban alkalmazhatókat Warburg-készülékben végzett mérések alapján választjuk ki. E méréseknél a lélegzés folyamán fogyasztott oxigén mennyiségét, a levegő jelenlétében vezetett erjesztésnél keletkezett széndioxid mennyiségét és a levegő kizárásával folytatott erjedésnél keletkező széndioxid mennyiségét mérik. A szokásos jelzések a következők:

$Q_{CO_2}^N$ = erjedésnél fejlődött szénsav nitrogén atmoszférában, mm³-ben.

Q_{O_2} = lélegzésnél elfogyott oxigén mm³-ben

$Q_{CO_2}^O$ = erjedésnél fejlődött szénsav levegő atmoszférában, mm³-ben

Két különböző pékélesztő (*Saccharomyces cerevisiae* I és II) két sörélesztő (*Saccharomyces carlsbergensis* és *S. ludwigii*), továbbá egy takarmány élesztő (*Torula utilis*) légző és erjesztőképességére vonatkozólag *Pelc* a következő kísérleti adatokat állapította meg Warburg készülékben:

	$Q_{CO_2}^N$	Q_{O_2}	$Q_{CO_2}^{O_2}$	Az erjedés gátlásának mértéke %
	mm ³ /óra			
Saccharomyces cerevisiae I.	274	87	95	66
Saccharomyces cerevisiae II.	260	70	150	42
Saccharomyces carlbergensis	233	8	213	8
Saccharomyces ludwigii	152	45	127	16
Torula utilis	260	180	18	93

Az első oszlopban a vizsgált élesztőfajok erjesztőképessége levegőtől mentes azaz nitrogén atmoszférában van feltüntetve, ami gyakorlatilag a tésztakelesztés vagy a szeszcefrék erjesztése körülményeinek felel meg. A második és harmadik oszlopban a levegő jelenlétében egyidejűleg végbemenő légzés, illetőleg erjesztés adatai láthatók, amikor az élesztősejtek részben elélegzik, részben erjesztik a tápanyagot. A második oszlopban a légzésnél fogyott oxigén mennyisége, a harmadik oszlopban a légzés mellett végbemenő erjesztésnél keletkező szén-sav mennyisége van feltüntetve. A negyedik oszlopban az erjedés gátlás mértéke %-ban van kifejezve olyképpen, hogy a levegő távollétében és levegő jelenlétében fejlődött széndioxid mennyiségnek különbsége a levegő távollétében fejlődő széndioxid mennyiségére van vonatkoztatva. Tehát erjedésgátlás százalék =

$$= \frac{Q_{CO_2}^N - Q_{CO_2}^{O_2}}{Q_{CO_2}^N}$$

A teljes erjedést u.i. a nitrogénatmoszférában bekövetkező szén-savfejlődés jellemzi, viszont az oxigén jelenlétében csökkentett mértékű erjedést a III. számoszlop adatai, tehát a levegő jelenlétében fejlődött széndioxid mennyisége adja meg.

Az adatok tüzetes elemzése azt mutatja, hogy a két pék-élesztő közül a második pék-élesztőgyártáshoz kevésbé megfelelő, mert légzési aktivitása kisebb és az erjedés is csak 42 %-al csökkent. Ennek megfelelően ezzel az élesztővel az elsővel szemben kisebb hozam érhető el, mert a nagyobb erjesztés-

tőképesség a hozam rovására megy. A 2 vizsgált sörélesztő közül feltétlenül jobb a *S. carlsbergensis*, mivel aránylag jó erjesztőképesség mellett, oxigén jelenlétében légzési aktivitása csekély és ennek megfelelően erjesztőképessége csak nagyon kis mértékben csökken. A *S. ludwigii* élénken lélegzik, mely tulajdonság sörgyártás szempontjából nem kedvező, lévén az aktív erjesztőképesség a döntő. Végül a takarmányélesztő gyártáshoz használt *Torula utilis* faj oxigénmentes közegben erjeszt, oxigén jelenlétében viszont légzése rendkívül aktív, olyannyira, hogy az erjedés csaknem teljes mértékben megszűnik, az erjedés gátlás mértéke 93 %. Ennek megfelelően a *Torula utilis* levegőztetéssel való szaporításra igen alkalmas, mert az erjedés csaknem teljes elmaradása jó hozamot biztosít.

Mikroorganizmusok metabolizmusán alapuló egyéb vizsgálatok

Mikroorganizmusok légzését illetőleg erjesztőképességét különböző kémiai anyagok adagolásával befolyásolni lehet. A befolyásolás mértékének Warburg-készülékben eszközölt megállapítása lehetőséget ad az adalékanyag hatásosságának el lenörzésére. Ily módon lehet lisztjavító anyagokat, pl. KBrO_3 -ot a sütőélesztőre kifejtett hatása alapján vagy *Benigno* és *Berti* szerint tisztítószereket, pl. kvaterner-ammonium vegyületeket baktériumtenyészetekre kifejtett baktericid hatásuk alapján, illetőleg *Kiermeier* szerint, konzerválószeret különböző mikroorganizmusokra kifejtett baktericid vagy bakteriosztatikus hatásuk alapján ellenőrizni. A megfelelő következtetéseket már a Warburg készülékben megfigyelt oxigénfogyasztás vagy széndioxidfejlődés, továbbá a kísérlet időtartamának adatai alapján szerkesztett egyenes iránytangensének nagyságából le lehet vonni.

A Warburg-technikának további igen fontos alkalmazási területe a szennyvizek biokémiai oxigén-szükségletének közvetlen megállapítása. Régebben az oxigén-szükségletet úgy állították meg, hogy a szennyvizet hígítóvízzel keverték. Minthogy azonban ez indirekt eljárásban a hígítóvíz minősége az eredményekre nagy befolyást gyakorolt, *Jaegers* és *Niemitz* a Warburg-készülék alkalmazásával közvetlen eljárást dolgoztak ki, melynek előnye az is, hogy az oxigénfelvétel mértékének megállapítása után a vizsgált szennyvízben további vizsgálatok végezhetők; így a szennyezőanyagok és oxidációs termékeik meghatározhatók. Az ilyen vizsgálatokhoz azonban a szokásos

Warburg-edénykéek helyett 125 ml-es Erlenmeyer-lombikokat kell alkalmazni és a fejlődő szénsav abszorpciójáról lúgos oldatot tartalmazó küvetta elhelyezésével kell gondoskodni.

Enzimes analízis

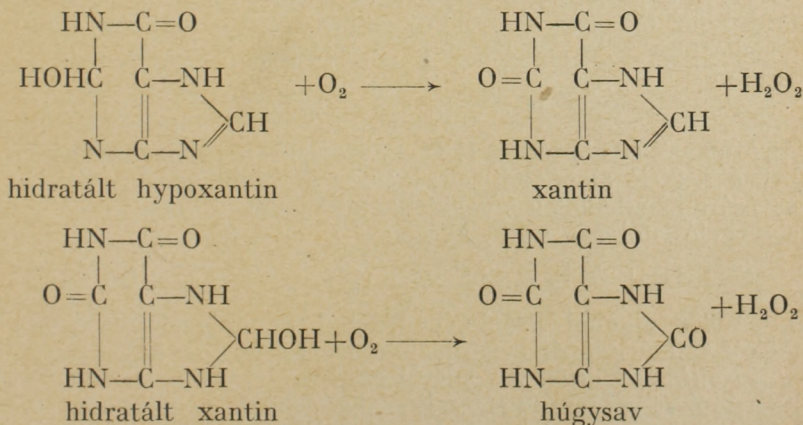
Az enzimes analitikai módszerekhez azok a korszerű elemzési eljárások tartoznak, amelyek kivitelzésében tiszta enzimek készítményeket használnak fel. Míg a modern mikrobiológiai analitikai eljárásokban a hatást kifejtő enzimek az élősejtekhez kötöttek, az enzimes analízisben az élő sejtekből vagy szövetekből izolált enzimeket alkalmaznak. Már az enzimekémia fejlődésének kezdeti időszakában is felismerték, hogy az enzimek sajátos tulajdonságaik folytán, a természetes szerves anyagok egyes alkotórészeinek meghatározásában fontos szerepet játszhatnak. Az enzimeknek u.i. két olyan tulajdonságuk van, melynek felhasználása az analitikában előnyös: az egyik katalizátor hatásuk specificitása, a másik kémiai és fizikai behatásokkal szemben tanúsított nagy érzékenységük. Éppen ezen két tulajdonságuk alapján az enzimes analitikai eljárásokat két csoportba sorolhatjuk. Az első csoportba a „szubsztrát specifikus” enzimes eljárások tartoznak, amelyek elvileg azon a felismerésen alapszanak, hogy a vizsgálandó anyagot a meghatározandó alkotórészre specifikus enzim hatásnak teszik ki és az enzimes bontás termékeit határozzák meg. A második csoportba tartoznak azok az eljárások, amelyekben a vizsgálandó anyag az enzimtevékenységet fokozza vagy csökkenti s az enzimtevékenység változásából következtetnek a befolyásoló anyag mennyiségére. Minthogy *Bersin* szerint, az ilyen enzim inhibitorokat és aktivátorokat összefoglalóan „effektorok”-nak nevezhetjük, a második csoportba tartozó módszerek az „enzimes effektor analízis” gyűjtőnéven foglalhatók össze. Mindkét csoportba tartozó módszerek kivitelzésénél manometriás meghatározásokra is támaszkodnak. A következőkben néhány példa alapján kívánom a Warburg-készülék ilyenirányú felhasználásának lehetőségeit bemutatni.

Szubsztrát specifikus eljárások

Az ebbe a csoportba tartozó analitikai eljárások nagy előnye a tisztán kémiai módszerekkel szemben az, hogy a kívánt alkotórész meghatározása a kísérőanyagok előzetes elválasztása nélkül eszközölhető. Természetesen csak olyan anyagok határozhatók meg ily módon, amelyek enzimhatás szubsz-

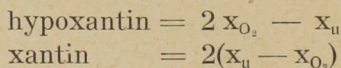
trátjai. Minthogy azonban a legtöbb természetes szerves anyag enzimszubsztrát, a biológiailag fontos vegyületek legtöbbje ily módon meghatározható. Az eredményes munkához még elengedhetelen feltétel a gondosan tisztított enzimekészítmény, mert a specificitás a szennyezettséggel párhuzamosan csökken. Enzimes analizisnél megfigyelt kedvezőtlen tapasztalatok legnagyobb része nem kellően tisztított enzimekészítmény alkalmazására vezethető vissza.

A Warburg-készülékkel eszközölhető szubsztrát specifikus eljárások között tipikusak azok, amelyek kivitelezésénél sárga oxidációs enzimeket alkalmaznak. A sárga oxidációs enzimek az oxidációs enzimek ama csoportjába tartoznak, amelyek koenzimként riboflavint (B₂-vitamint) tartalmaznak. Ezen enzimek specificitása a fehérjerész (apoenzim) szerkezetén alapszik. Az enzimes analizisben e csoport három enzimeje talált fontos alkalmazást: a xantin oxidáz (Schardinger enzim), a glükóz-oxidáz és a d-aminosavoxidáz. A Schardinger-enzimmel, mely májból és veséből állítható elő, a hypoxantin és xantin határozható meg, mely vegyületek enzimatásra húgysavvá oxidálódnak. A reakciók a következők:



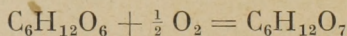
Voltaképpen dehidrogénezés következik be, a felszabaduló hidrogént a levegő molekuláris oxigénje veszi fel. Átmeneleg H₂O₂ keletkezik, mely az enzimatást hátrányosan befolyásolja, ezért katalázal kell elbontani. Bár az enzim specificitása viszonylagosan csekély, mert a xantinon és a hypoxantinon kívül az adenint és egyes aldehideket is oxidál, mégis

Krebs és *Oerström* olyan eljárást dolgozott ki, melynek segítségével a két oxipurin származékot 0,1 mg mennyiségben kvantitativ meg lehet határozni azáltal, hogy nemcsak az oxigénfogyasztást, hanem a keletkezett hűgysav mennyiségét is megállapítják. Az aldehidek oxidációja u.i. nem vezet hűgysavképződésre és az adenin oxidációja nagyon lassan megy végbe. Így sikerült a xantin és hypoxantin egymásmelletti meghatározása is. A módszer kivitelzésében a fogyasztott oxigént a Warburg-készülékkel, a keletkezett hűgysavat kolorimetriásan határozzák meg. Ha $x_{O_2} = \text{mol } O_2$, mely a reakció során felhasználódott, $x_u = \text{mol hűgysav}$, mely a reakció során képződött, akkor figyelembevéve, hogy a fenti reakcióegyenletek alapján a hypoxantin hűgysavvá oxidációjához 1 mol O_2 és a xantin oxidációjához $1/2$ mol O_2 szükséges :

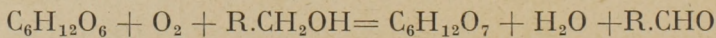


Mínthogy a hypoxantin és xantin a húsnak, illetőleg húskivonatnak fontos alkotórésze, e meghatározásnak nemcsak biokémiai, hanem élelmiszeranalitikai jelentősége is nagy.

A glükózoxidáz (notatin) alacsonyabbrendű gombákban fordul elő, hatására a d-glükóz glükosavvá oxidálódik: hidrogénakceptor a levegő oxigénje. A lejátszódó reakció a következő :



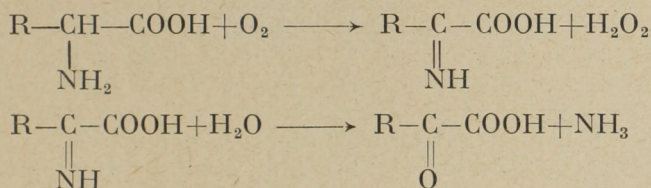
Az átmenetileg képződött H_2O_2 -t katalázzal bontják el. Amennyiben a reakció alkoholok jelenlétében játszódik le, úgy kataláz hatására az alkoholok aldehidekké alakulnak. Ebben az esetben a reakció lefolyása a következő :



Fölös alkohol jelenlétében tehát az oxigénfogyasztás a glükóz oxidációjánál megfigyelt oxigénfogyasztás kétszerese.

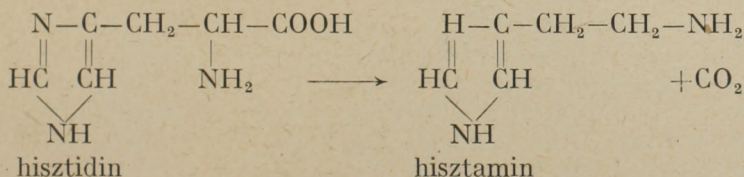
Keilin és *Hartree* vizsgálatai szerint, az enzim specificitása kielégítő. A módszer nemcsak szabad glükóz meghatározására alkalmas, hanem olyan enzimreakciók tanulmányozására is, melyek során glükóz szabadul fel. Ilymódon a szaharóz hidrolizise β -h-fruktozidázzal, a maltóz hidrolizise maltázzal, keményítő-hidrolizis amilázokkal, a glükózfoszfátok bontása foszfátázzal és a glükozidok hasítása glükozidázokkal jól követhető. A felhasznált oxigént minden esetben Warburg-készülékben határozzák meg.

A D-aminosavoxidáz a legtöbb állati szövetben kimutatható, veséből és májból állítják elő. Hatására a nem természetes D-konfigurációjú aminosavakból az aminocsoport oxidatív lehasításával ketosavak keletkeznek. A reakció lefolyása a következő:



Az enzim nagyon specifikus hatású és ezért a természetes L-aminosav elegyekben esetleg előforduló D-aminosavak kimutatására nélkülözhetetlen. Ezenfelül *Herken* és *Erxleben* tanulmányai szerint, felhasználható a D-peptidázok kimutatására is. A reakciónál felhasznált oxigént Warburg-készülékben határozzák meg.

A szubsztrát specifikus enzimes elemzési eljárások közül újabb időben különösen nagy jelentőségre tett szert aminosavak meghatározása aminosavdekarboxilázokkal. Ezek az enzimek, amelyek baktériumokból viszonylagosan könnyen állíthatók elő, és koenzimjük pyridoxal - 5 - foszfát nagyon specifikus módon a L-a-aminosavakat aminokká alakítják. A hisztidinből pl. hisztamin keletkezik, a következő reakció egyenlet szerint:

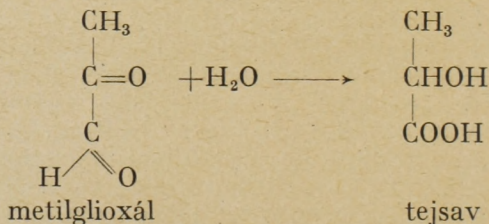


Minthogy a különböző baktériumokból különböző aminosavakra specifikus enzimek preparálhatók, fehérjehidrolizátumok elemzésére e módszer kiválóan alkalmas. A meghatározás technikája minden esetben a reakció során felszabaduló CO₂ manometriás meghatározásán alapszik, Warburg-készülékben. Élelmiszerkémiailag különösen érdekes a nélkülözhetetlen (esszenciális) aminosavak ilyen módon eszközölhető meghatározása.

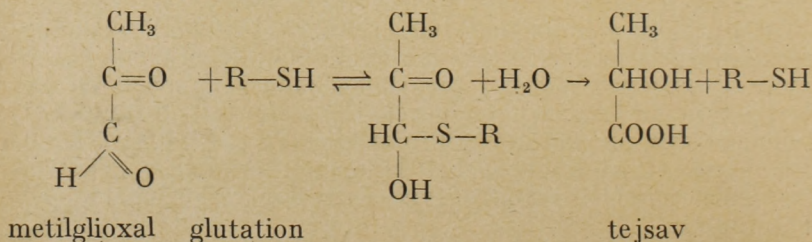
Enzimes effektor analízis

Az ebbe a csoportba tartozó enzimanalitikai eljárások száma jelenleg még csekély, aminek oka az, hogy az effektorhatás analitikai értékeléséhez a hatás kinetikájának pontos ismerete szükséges. A kiértékelés tehát csak akkor sikerül, ha az egy időben ható különböző effektorok befolyását egymástól el tudjuk választani. Maga az eljárás abban áll, hogy az enzimaktivitást egyszer az effektor jelenlétében, másodszor pedig effektor adagolása nélkül mérik. Az aktivitás változásából az effektor mennyiségére következtetni lehet. Minthogy az enzimek, mint katalizátorok effektorokra rendkívül érzékenyek, a meghatározás érzékenysége is igen magas fokú, tehát olyan kis mennyiségű effektort lehet ilyen módon kimutatni, ami egyébként csak spektrál analitikai úton lehetséges.

Ezen eljárásokra jó példa a glutation meghatározása glioxalázzal. A glioxaláz, mely élesztőből, májból, veséből, izmokból, magasabbrendű növények megvaiból és baktériumokból állítható elő, a metilglioxált tejsavvá alakítja a következő reakcióegyenlet szerint :



Az enzim működéséhez glutation jelenléte szükséges, melynek igen kis mennyiségre az enzimaktivitást jelentősen fokozza. *Jowett* és *Quastel* szerint, először a metilglioxál glutationnal átmeneti terméké kapcsolódik, majd tejsav keletkezése közben a glutation ismét felszabadul.



A reakció annyira specifikus, hogy igen kis mennyiségű glutation meghatározására alkalmas. *Ennor* szerint, a meghatározást Warburg-készülékben végzik úgy, hogy az adagolt bikarbonátpufferből felszabaduló és a keletkező tejsavval arányos mennyiségű CO_2 -t mérik. Ismert mennyiségű glutation adagolásával végzett kísérletekből szerkesztett görbe alapján, ismeretlen glutation tartalmú vizsgálandó anyag glutation koncentrációja megállapítható.

Dilatometriás eljárások

A biológiai gázcseré vizsgálatán, enzimes analitikai eljárásokon kívül a Warburg-készülék egyéb célokra, így fizikai mérések elvégzésére is felhasználható. Igen érdekes alkalmazási terület pl. a Warburg-készülékben dilatometriás mérések elvégzése olyan anyagokon, amelyek vizsgálatára a klasszikus dilatométerekben nem vezet megfelelő eredményre. A legújabb időben *Giddey* és *Egli* figyelembevételével *Bailey* azon megállapítását, hogy a zsírok belsejében mindig előforduló üregek a klasszikus dilatométerekben alkalmazott mérőfolyadékok (higany, víz stb.) szabályos mozgását zavarólag befolyásolják, kakaóvaj, illetőleg általában zsírok kristályos polimorfizmusának tanulmányozásakor Warburg-készüléket alkalmaztak, amely a dilatometriával követhető változások ellenőrzését olyan körülmények között is lehetővé tette, amelyek máskülönben súlyos nehézségeket okoznak. Ilyen körülmények pl. a gyors hűtés, különböző hőmérsékleten eszközölt kristályosítás, különböző modifikációjú mikrokristályokkal végzett ojtás hatása stb. Az így végrehajtott dilatometriás vizsgálatok a trigliceridek kristályos állapotának tanulmányozására igen alkalmasnak bizonyultak és nagyban hozzájárultak a tudományos alapokon nyugvó csokoládégyártás kidolgozásához, illetőleg a csokoládé szürkülését okozó átkristályodás okainak megismeréséhez.

Dilatometriás eljárásokhoz a Warburg-készülék minden további nélkül felhasználható csupán zárófolyadéknak Brodie-oldat helyett tiszta parafin-olajat kell alkalmazni. A nyomással változó tenziójú vízgőz okozta hibák kiküszöbölésére pedig a készüléket száraz nitrogéngázzal töltik meg. A meghatározáshoz, tehát a térfogatváltozás kiszámításához a készülék kezdeti és a kísérlet végén megállapított térfogatának ismerete szükséges. Ha u. i. a gáztörvények figyelembevételével

V_0, P_0, T_0 = a standard paraméterek

V_1, P_1, T_1 = paraméterek a mérés kezdetén

V_2, P_2, T_2 = paraméterek a kísérlet végén,

akkor

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

összefüggésekből

$$V_1 = \frac{P_2 V_2 T_1}{T_2 P_1}$$

A kezdeti térfogat kiszámítása ennek alapján könnyű, mert ismerjük a végső térfogatot (V_2) = a készülék térfogata — a folyékony zsír térfogata, a kísérlet hőmérsékletén (T_2) továbbá ismerjük a kísérlet végén uralkodó nyomást (P_2) = $P_1 + h$, ahol P_1 a nyomás a mérés kezdetén, h pedig a manométeren leolvasott magasságkülönbség. A nyomásokat a zárófolyadék milimétereiben adják meg. A számítások során a parafinolaj fajsúlyát figyelembe kell venni ($d = 0,8712$, ha a hőmérséklet $21\text{ }^\circ\text{C}$).

Ezzel a módszerrel pl. a különbözőképpen kristályosított kakaóvaj mintákban előforduló glicerid kristálymodifikációkat ki lehet mutatni. A szürkületést okozó metastabil kristálymodifikációt tartalmazó minta dilatációs görbéje u.i. nem egyenletesen változó.

IRODALOM

- Benigno, P., és Berti. T.* : Atti Accad. naz. Lincei (Ser. 8) 9. 370. 1950.
Dixon, M. : Manometric methods, Cambridge 1913.
Giddey, C., és Egli, R., U. : Intern Chocol. Rewiew, 11. 218. 1956.
Hewitt, L. F. : Oxidation -reduction potentials in bacteriology and biochemistry, Edinburgh 1950.
Jaegers, K., és Niemitz W. : Städtehyg. 3. 246. 1952.
Kiermeier, Fr. : Z. U. L. 97. 182. 1953.
Mc Culloch E. C. : Desinfection and sterilisation, Philadelphia 1945.
Pelc, A. : Szeszipar 4. 110. 1956.
Stetter, H. : Enzymatische Analyse, Weinheim 1951.