



**WETENSKAPLIKE BYDRAES VAN DIE PU VIR CHO**

Reeks H: Inougurele Rede nr. 107

# **ONTGINNING VAN BUITENGEWONE BIOLOGIESE HULPBRONNE —**

## **UITDAGING VIR DIERKUNDIGES**

**Prof. A.J. Reinecke**

Intreerede op Vrydag 27 Maart 1987

**Departement Sentrale Publikasies**  
Potchefstroom Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys  
Potchefstroom  
1987

Die Universiteit se diensleweringstaak rus op drie pilare, nl. navorsing, onderrig en gemeenskapsdiens. Ek benut graag die geleentheid om enkele eie perspektiewe op hierdie funksies van die Universiteit toe te lig — veral gesien vanuit die biologiese wetenskappe en in die besonder die dierkunde. Daarna hou ek graag aan u 'n beeld voor van enkele fasette van ons navorsingsaktiwiteite in die Departement Dierkunde, met besondere verwysing na nuwe uitdagings.

## **STAATSBELEID m.b.t. NAVORSING**

Die huidige staatsbeleid, hoewel gekortwiek deur ekonomiese probleme, plaas 'n hoë premie op navorsing. Dit vind dan ook uitdrukking in die subsidieformule wat gepubliseerde navorsing direk vergoed deur 'n komponent in die subsidieformule. Maar die staat het ook onomwonde prioriteite gestel in sy finansieringsbeleid. Daar is 'n duidelike strewe na pariteit in die voorsiening van kollektiewe dienste van alle bevolkingsgroepe en die ontwikkeling van onderontwikkelde gebiede. Hiermee sal die navorsingsbestuurder rekening moet hou. So bv. bring die prioriteit m.b.t. onderwys mee dat alle nuwe geld vir die uitbou van onderwys vir Swartes moet gaan. Om agterstande uit te wis en standarde by te hou gaan die aanspraak op staatsbegrotings steeds groei. Dit sou realisties wees om te aanvaar dat weinig nuwe geld vir navorsing soos dit tans daar uitsien, gestem sal kan word. Navorsingsinstansies soos die Universiteit sal in die toekoms nie net moet rekenskap gee of hy wel navorsing doen nie, maar ook die vraag moet beantwoord of die navorsing wat wel gedoen word, relevant is m.b.t. die vraagstukke van ons tyd en van hoë kwaliteit is. Navorsing oor die uitbouing van die fisiese ontwikkelingsbehoefte en die effektiewe totstandbringende van pariteit op so vele terreine moet dus as 'n hoë prioriteit gesien word. Dit hou in dat die universiteit se navorsingsmikpunte die vraag na nuttigheid van die resultate in ag moet neem indien hy suksesvol wil meeding om die beperkte staatsmiddele. Daar is 'n duidelike neiging dat navorsing meer doeltreffend benut moet word. 'n Mens merk dit uit die aandrag daarop dat fundamentele navorsing meer selektief op kritieke gebiede gerig word. Die instelling van 'n tegnologie-adviesraad deur die Minister van Ekonomiese Sake en Tegnologie onderstreep dit, asook die nuwe rol wat die WNNR moet speel i.v.m. tegnologie-oordrag. Die Universiteit kan ook nie meer bekostig om in die nuwe bedeling bestuurlose navorsing te beoefen nie. Daarom sou dit nie te vergesog wees om, wat sekere terreine betref, van die standpunt uit te gaan dat dié navorsing wat 'n bydrae lewer tot die oorlewingsstryd van die navorsinginstelling voorrang sal geniet. Dit hou uiteraard onaangename konsekwensies in vir verskeie navorsers. Maar voordat ons dit durf waag om van reeds produktiewe navorsers drastiese koersaanpassings te verwag, moet die groot probleem van onproduktiewe navorsers eers opgelos word. Of ons daarvan hou of nie, produktiwiteitskriteria sal daargestel moet word. Sodanige maatstawwe het baie nodig geword, omdat die druk en eise wat aan reeds produktiewe individue aan universiteite gestel word, onrealistiese afmetings begin aanneem.

Dit is egter duidelik dat koersaanpassings m.b.t. die tipe navorsing, die benutbaarheid en die sinvolheid daarvan nie kan uitbly nie. In die lig hiervan wil ek my graag uitspreek oor wat ek beskou as enkele sinvolle navorsingsuitdagings vir dierkundiges.

## **DIE MENS EN SY HULPBRONNE**

Die mens is 'n grondstofverbruiker. Die voedsel wat hy eet en die voorwerpe wat hy vervaardig, benodig basiese grondstowwe. Daarna word afvalmateriaal aan die biologiese en abiotiese stelsels terugbesorg.

Kyk ons meer noulettend na die wyse waarop die mens grondstowwe benut en prosesseer, blyk dit dat hy eerstens hulpbronne benodig in die metaboliese prosesse van sy liggaam, soos bv. kos en water. Die stowwe waaruit die liggaam opgebou is, is teoreties gesproke ná die dood beskikbaar vir hergebruik. T.S. Elliot het dit só gestel:

... and ashes to the earth  
Which is already flesh, faeces  
Bone of man and beast, cornstalk and leaf

Die patroon waarvolgens die liggaam grondstowwe benut, word geneties en biologies bepaal. Die wyse waarop afvalprodukte gehanteer word, is egter aan willekeur onderworpe. Die totale vloei van 'n hulpbron vanaf sy oorspronklike toestand in die natuur, die daaropvolgende benutting daarvan deur die mens en die latere ontslaeraak daarvan kan op verskillende wyses bestudeer word. Ons kan dit eerstens sien as 'n reeks wisselwerkings tussen lewende en nie-lewende komponente van die biosfeer waarbinne die mens 'n dominante posisie kan beklee. Dit is die ekologiese benadering.

'n Tweede moontlikheid is om die verspreiding van die hulpbronne na die mens te ondersoek in verskillende gemeenskappe in 'n poging om vraag en aanbod van 'n besondere hulpbron te laat klop. Dit is die ekonomiese benadering. 'n Derde benadering kan wees om te probeer bepaal hoe die mens die biosfeer en sy hulpbronne behoort te gebruik. Dit betree die terrein van die etiek. Kyk ons na die mens se gedrag en psigologiese aktiwiteite in verhouding tot sy omgewing en die hulpbronne, betree ons die terrein van die etologie.

Ons kan vervolgens vir 'n wyle stilstaan by die ekologiese uitgangspunt

sonder om daarmee te kenne te gee dat die objektiewe, natuurwetenskaplike studie wat deur die ekologie vereis word, die totaliteit van die mens se wisselwerking met sy omgewingshulpbronne omvat.

Onder die breë sambreelterm ekologie kan baie dissiplines tuisgebring word, elk verwysend na 'n ander komponent van die biosfeer. Ek wil vir die doeleindes van hierdie voordrag nie 'n omvattende uiteensetting van die ekologie probeer gee nie. Veel eerder wil ek die aandag bepaal by enkele besondere knelpunte wat deur 'n gebalanseerde ekologiese benadering uitgewys word.

In sy pogings om die ekosistels van die wêreld te manipuleer het die mens mindere en meerdere versteurings veroorsaak. Die mens se lewe is egter intiem met dié van plant en dier vervleg. Nie alleen is die mens direk en grootliks afhanklik van sekere diere vir sy daaglikse voedsel en selfs geestelike welsyn nie, maar hy moet andersyds gedurigdeur 'n stryd teen ander diere voer wat sy voedselbronne vernietig, sy liggaam en dié van sy vee parasiteer en siektes of die dood veroorsaak. Die mens-dier-verhouding is besonder delikaat gebalanseer, en ernstige versteurings kan rampspoedige gevolge inhou. Juis daarom is dit noodsaaklik dat die mens die biologiese aspekte van sy totale bestaan indringend wetenskaplik moet bestudeer.

Ons verneem meermale van die omgewingskrisis wat die wêreld in die gesig staar. Aan die een kant het ons die doemprofete wat onvermydelike rampspoed voorspel. Andersyds is daar diegene wat onwrikbaar glo dat oplossings deur voortgesette tegnologiese ontwikkeling gevind sal word. Ons verneem van die uitputbaarheid van hulpbronne wat nie hernubaar is nie. Ons verneem van naderende energiekrisisse en voedseltekorte; van oorbevolking weens onbeheerste bevolkingstoenames; van omgewingsvernietiging deur erosie en besoedeling deur allerlei afvalstowwe.

Dan is daar ook die gebalanseerde kyk van biologiese wetenskaplikes wat die klem laat val op die biologiese en fisiese beperkings wat op die aarde geld. Hierdie benadering vereis dat die mens 'n indringende kundigheid omtrent die ekosfeer en sy werking moet opbou. Die ekologie van die aarde — d.w.s. die wisselwerking tussen plant, dier en mens en hulle omgewing — gaan sentraal staan in die mens se aardse stryd om oorlewing.

Kyk ons na die rol wat die ekologie tot dusver vervul het, dan moet ons ongelukkig ook ruitelik erken dat die hoofbydrae van die ekologie tot dusver was om 'n holistiese konseptuele raamwerk te verskaf waarvolgens ons die ekosfeer probeer verstaan. Hoewel toekomstige verbetering en verfyning sekerlik nie sal uitbly nie (weens voortdurende navorsing), het die ekologie nog geen gedetailleerde, akkurate en voorspelbare datastel opgelewer oor die wyse waarop die ekosfeer in enige gegewe omstandighede sal reageer nie. Maar die ekologie het wel vir ons waardevolle kennis opgelewer oor beperkinge of grense. Daar is bv. grense aan voedselproduksie en selfs aan die bevolking wat ondersteun kan word deur bestaande hulpbronne. Lewensruimte het selfs sy perke. Besoedeling van die omgewing werk beperkend in op openbare gesondheid, die klimaat en die plante- en dierelewe.

Die holistiese konseptuele raamwerk wat die ekologie daarstel, is wel nuttig om 'n breë insig oor die funksionering van die ekosfeer te gee en bepaalde knellende vraagstukke uit te wys. Ongelukkig maak ekoloë hulle soms skuldig aan ongesubstansieerde alarmistiese spekulasie rondom hierdie vraagstukke. As konkrete voorbeeld noem ek die doemprofesieë van ekoloë oor die aard en omvang van chemiese besoedeling deur stowwe soos DDT en dioksien. Weliswaar is sommige van die alarmkrete nie heeltemal ongegrond nie.

Die knellende lewensvraagstukke wat na vore kom weens die mens se wisselwerking met sy omgewing, vereis indringende en fundamentele navorsing wat nie met breedsprakerige konsepte opereer nie maar die probleem tot op die been oopkerf binne die tersaaklike basiese wetenskap.

Ek pleit dus daarvoor dat vraagstukke wat oor-en-oor geïdentifiseer word, as nasionale prioriteite met ywer aangedurf sal word ten einde oplossings voort te bring. Hiervoor het ons hoogs kundige vakspesialiste nodig wat in die natuurwetenskappe met die konkrete probleme van ons tyd moet worstel. Ons praat dus van hoëvlakberoepsbeoefening: van mense wat grondig onderlê is in die basiese natuurwetenskappe — eenvoudig omdat die probleme wat hulle moet aanpak, multidisziplinêr van aard is.

## **ONDERRIGPROGRAMME**

Voordat ek dus by navorsingsuitdagings kom, laat my toe om vir 'n wyle

stil te staan by die mense wat hierdie uitdagings van môre en oormôre tegemoet moet gaan. Om mense met die regte mondering toe te rus, vereis 'n onderrigprogram wat wetenskaplike vorming van hoë gehalte sal verseker. Gehalte en aktualiteit in onderrig is dus sleutelbegrippe. Daarom moet daar gevra word watter akademiese programme aangebied word, deur wie dit gedoen word en wat die resultaat daarvan is. Ons onderrigprogramme vir die toekoms moet weliswaar die realiteite van ons Afrika-gebondenheid aanspreek, maar hoef nie van 'n Derde Wêreld-standaard te wees of die grondliggende beginsels van gesonde wetenskapsbeoefening te verwaarloos nie.

In die Departement Dierkunde word daar vir meer as 'n jaar reeds indringend na onderrigprogramme gekyk. Juis daarom het die onlangse beleidsdokument i.v.m. rasionalisasie aan die PU vir CHO ons nie onkant gevang nie. Trouens, die uitdagende geleentheid om weer opnuut en moontlik ingrypend na onderriginhoude en -strukture te kyk, word verwelkom. Maar laat my onmiddellik byvoeg dat ons in die proses van rasionalisasie nie moet vergeet om die volle spektrum van behoeftes en funksies aan te spreek nie. Slegs enkelinge tree na sowat vier jaar van onderrig toe tot die gesofistikeerde hoëvlak-navorsingsterreine van 'n vak. Dit is hulle wat internasionaal moet kan meeding. Die groter getal graduandi moet wel hoëvlak-insette lewer, maar oor 'n wye omvang van arbeidsterreine. En die gemeenskap sowel as die werkgewer verwag dat hierdie mense breed onderlê moet wees om hulle take te verrig. Daarom moet universitêre onderrig beide diepgang en verbreding hê, sonder om noodwendig op beroepsafrigting ingestel te wees.

Ek stel my verder graag op die standpunt van gemeenskapsdiens deur onderrig en navorsing. Indien ons onderrigprogramme die gemeenskap moet dien, behoort daar geen twyfel te wees oor die vlak waarop ons hierdie bediening wil doen nie. As ons dus uitsluitlik na hoëvlak-onderrig van die heel beste kwaliteit wil streef, moet dit nie lippetaal wees nie, maar moet ons studentewerwingspogings sowel as ons standarde en toelatingsvereistes dit weerspieël. Voorts moet kwantiteit nie ten koste van kwaliteit nagestreef word nie. Dit kan alleenlik verweselik word as alle funksies binne die Universiteit geoptimaliseer is sodat ons nie meer met studentegetalle hoef te spog nie, maar met die kwaliteit van ons eindprodukte. Indien dit die mikpunt is, moet die aanbieding van verskeie kursusse aan ons Universiteit in heroerwering geneem word en moet die konsekwensies en veral finansiële implikasies verreken word.

## NAVORSINGSUITDAGINGS

Naas die uitdagings wat daar dus op die terrein van onderrighernuwing voorlê, wil ek my vervolgens uitsluitlik bepaal by navorsingsuitdagings, met besondere klem op vraagstukke van ons tyd waarna ek vroeër verwys het. Ek moet noodwendig selektief te werk gaan en wil my beperk tot voorbeelde van daardie vraagstukke wat verband hou met die mens se behoeftes en sy wisselwerking met sy omgewing.

Teen die agtergrond van toenemende organiese en chemiese besoedeling, sowel as 'n stygende proteïentekort, het die vraag na die beskerming van hulpbronne al belangriker geword. Die soeke na nuwe en buitengewone biologiese hulpbronne het maar pas begin. Voorbeelde van buitengewone biologiese hulpbronne wat deur die S.A. Ontwikkelingskorporasie vir Uitvindings ontwikkel word, is bv. die selektiewe kweking van verskillende spesies see- en varswateralge met die oog op die herwinning van chemikalieë van hoë waarde, veral polisakkariede wat in die voedsel-, myn- en skoonheidsmiddelbedryf gebruik word; produksie van suiwer teenliggaampies in hoendereiers; die produksie van immunochemikalieë; geneties verbeterde mikro-organismes vir die biotegnologiese nywerheid — om maar enkele te noem. Maar daarmee is die spektrum van moontlikhede nog nie uitgeput nie. Daar is nog ruim geleentheid vir vindingryke bioloë om met nuwe idees na vore te kom.

As voorbeeld van hoe die benutting van 'n natuurlike hulpbron deur voortgesette navorsing ontwikkel het, kan ons sekerlik na wildboerdery verwys as 'n buitengewone biologiese hulpbron. Die investering in wildboerdery in S.A. beloop reeds baie miljoene rande en groei steeds. Die jagbedryf het naas vleisproduksie sterk na vore getree. Met professionele wildplaasbestuur, gebaseer op wetenskaplike grondslae, het die kombinasie van wild en vee reeds in talle gebiede 'n groot getal onekonomiese veeplaaseenhede in ekonomies lewensvatbare eenhede omgeskep. Hier verwys ek graag na voortreflike werk deur kollegas van die Soogdiernavorsingsinstituut in Pretoria.

Vergun my egter om na enkele spesifieke vraagstukke wat van nasionale belang is te verwys en aan u 'n beeld voor te hou van die navorsingswerk waarmee ons tans by die Departement Dierkunde aan die PU vir CHO gemoeid is.



**TABEL 2**

**Hoeveelhede mis geproduseer in intensiewe diere-eenhede in Suid-Afrika (volgens Venter, 1986)**

<b>Spesie</b>	<b>Hoeveelheid (miljoen ton per jaar)</b>	<b>Opmerkings</b>
Lêhoenders	0,30	83% voggehalte
Braaihoenders	1,00	1:1 saagsel, mismengsel
Varke	2,80	Flodder, 1:1 verdun
Vleisbeeste	1,80	86% voggehalte
Melkbeeste	3,88	90% voggehalte
Skape	0,03	70% voggehalte
<b>Totaal</b>	<b>9,81</b>	

Ons onvermoë om tot op hede die dierlike afvalproteïene te benut lei jaarliks tot die verlies van 'n groot hoeveelheid proteïene. Daarbenevens skep hierdie afvalstowwe besoedelingsprobleme asook gesondheidsrisiko's, veral in digbewoonde gebiede.

Kyk ons verder na die voedselbehoefte van 'n ontwikkelende land soos Suid-Afrika, dan kom verdere knelpunte na vore. Suid-Afrika is genoodsaak om proteïene vir veevoeding in te voer. Gedurende die tydperk 1973 tot 1982 is 423 000 ton proteïenmateriaal ingevoer. Gesaghebendes voorspel dat ons teen die jaar 2000 'n ernstige tekort aan kwaliteit-proteïene vir veevoeding sal hê. Tabel 4 gee 'n uiteensetting van die verwagte tekorte teen die einde van hierdie eeu. In die pasafgelepe seisoen het proteïen invoere sowat 100 000 ton beloop, wat die land meer as R100 miljoen kos. Die Minister van Landbou het onlangs sy ernstige kommer hieroor uitgespreek en 'n beroep gedoen dat beplande, gekoördineerde navorsing gedoen moet word om die probleem die hoof te bied. Hy het klem gelê op die ontginning van afvalprodukte.

**TABEL 3****Slagtings by Abattoirs van Abakor**

<b>Diersoort</b>	<b>1984/85</b>	<b>1985/86</b>
Beeste	1 193 511	1 052 904
Skape en bokke	4 951 295	4 150 961
Varke	239 905	242 080

\* Dit verteenwoordig slegs sowat 50% van totale slagtings in die R.S.A.

**TABEL 4****Verwagte tekort (in ton) aan proteïene teen 2 000**

Vismeel	105 000
Sonneblomoliekoek	300 000
Soja-oliekoek	250 000
Katoensaadoliekoek	100 000
Koringsemels	300 000

Navorsing oor die gebruik van alternatiewe proteïenbronne vir veevoeding is dus van kardinale belang. Die moontlike gebruik van proteïenryke afvalbronne afkomstig van die landboukundige en industriële sektore in die gebalanseerde veevoerbedryf sou dus kon bydra om die land minder afhanklik van proteïen invoere te maak.

## HERWINNING VAN AFVALPROTEÏENE

'n Metode om die dierlike afvalproteïene te herwin is om van 'n proteïenher-sikuleringsstelsel gebruik te maak. Dit behels die gebruik van dierlike afvalmateriaal as voedings- en teelmedium vir 'n organisme wat op sy beurt as proteïenbron in veerantsoene ingesluit kan word. 'n Organisme moet dus gevind word wat as eerste skakel in die proteïenherwinningsstelsel die vermoë besit om organiese afvalstowwe af te breek en te benut.

Oor die afgelope aantal jare het ons aan die PU vir CHO grond-dierkundige navorsing onderneem. Naas die bestudering van myte en aalwurms het ons ook die voorkoms en verspreiding van erdwurmspesies ondersoek. Tot dusver is meer as 200 erdwurmspesies in Suidelike Afrika gevind. Die rol van erdwurms in die grond is egter reeds in 1881 uitgewys deur niemand anders nie as Charles Darwin toe hy 'n klassieke werk die lig laat sien het. Daarin het hy gewys op die rol van erdwurms in die afbreek van organiese materiaal. Dit het wêreldwyd aanleiding gegee tot navorsing oor die benutting van erdwurms. Die aandag van verskeie navorsers was veral gevestig op die rol van erdwurms in grondvrugbaarheid in die tuinbou en landbou. Erdwurmnavorsing het egter in die jongste jare getoon dat sekere spesies van ontbindende organiese materiaal kan leef.

Navorsing wat reeds sedert 1980 aan die PU gedoen word, ooreenkomstig die navorsingsdoelwitte wat deur 'n internasionale werkgemeenskap van navorsers in die V.S.A. opgestel is, het getoon dat die erdwurm *Eisenia fetida* verskeie tipes afvalstowwe kan verwerk tot 'n reukvrye komposagtige eindproduk. Die produk het goeie waterhou-eienskappe met 'n redelike NPK-samestelling. Plantgroeistudies het getoon dat ontkieming van sade doeltreffend in die medium plaasvind en dat die medium as 'n bruikbare grondverbeteraar beskou kan word.

Tans word erdwurms op groot skaal in spesiale voorbereide putte geteel. Die lewensloop van *Eisenia fetida* is in detail bestudeer in nagraadse navorsingsprogramme (Venter & Reinecke, 1987), en die spesie se bestaansvereistes t.o.v. temperatuur en vog is volledig vasgestel (Reinecke & Kriel, 1981; Reinecke & Venter, 1985; Reinecke & Venter, 1986). Daaruit het geblyk dat die spesie optimaal groei en voortplant by 'n temperatuur van 25°C en 'n vogtoestand van ongeveer 70–80%.

Wurmproduksie word op beesmis, rioolslik en abattoirafval onderneem ten einde omsettingsverhoudings te bestudeer. 'n Produksieaanleg vir uitvoerbaarheidstudies is op versoek van die S.A. Abattoirkorporasie by hulle abattoir te Pyramid, Pretoria, ontwikkel.

**TABEL 5**

**Chemiese samestelling van verskillende proteïenbronne  
(as % van droë massa)**

Samestelling	Erdwurm-meel	Vismeel	Karkas-meel	Bloedmeel
Proteïene (N x 6,25)	67,68	66,00	55,00	80,00
Vet (eterekstrak)	5,15	8,00	10,00	1,50
Vesel	0,71	1,00	1,00	1,00
Fosfor	0,88	2,40	4,00	0,25
Kalsium	0,55	4,00	8,00	0,30

Chemiese ontledings van die erdwurm het getoon dat *Eisenia fetida* 'n hoë proteïeninhoud het. Tabel 5 gee die chemiese samestelling weer, en tabel 6 gee 'n uiteensetting van die aminosuursamestelling in vergelyking met dié van ander proteïenbronne. Daaruit blyk dit duidelik dat die erdwurmproteïen goed vergelyk met dié wat tans in verskillende vee-rantsoene benut word. Gevolglik is 'n ondersoek ook uitgevoer om die erdwurmproteïen te evalueer (Alberts & Reinecke, 1987). Biologiese evaluering is met behulp van braaikuikens uitgevoer oor 'n periode van 56 dae, terwyl die ware metaboliseerbare energie van die wurmproteïen ook bepaal is (Alberts, Reinecke & Venter, op die pers). (Kyk tabel 7).

**TABEL 6**

**Aminosuursamestelling van verskillende proteïene. (Twee onafhanklike ontledings is van die erdwurmmeel uitgevoer)**

Aminosuur	Erdwurmmeel		Vismeeł	Karkasmeel	Bloedmeel
	1	2			
Arginien	1,96	5,90	3,41	4,06	3,06
Fenielalanien	1,94	2,21	2,45	2,31	5,89
Glisien	2,52	–	4,41	6,95	3,49
Histidien	1,39	2,08	1,62	1,23	4,67
Isoleusien	1,87	2,88	1,57	1,97	0,61
Leusien	4,51	6,07	4,75	4,37	10,27
Lisien	3,43	4,73	4,86	3,62	7,29
Metionien	1,58	1,12	1,64	0,98	1,04
Serien	2,54	2,74	2,71	2,63	4,38
Tirosien	1,74	2,17	1,83	1,55	2,13
Treonien	2,52	2,76	2,81	2,35	4,21
Valien	2,14	3,71	3,38	3,51	6,86

'n Hoë produksiedoeltreffendheid is verkry met 'n produksiedoeltreffendheidsfaktor van 185 vir wurmmeel teenoor 184 vir vismeelrantsoen. Daarbenewens was die voeromset bykans gelykwaardig vir wurm- en vismeel. Karkasontleding en studies op die eetkwaliteit van die hoender-vleis (Lourens, 1986) het eweneens belowende resultate opgelewer.

**TABEL 7**

**Ware metaboliseerbare energie van verskillende proteïenbronne  
(in MJ.kg<sup>-1</sup>)**

<b>Bestanddeel</b>	<b>WME</b>	<b>WME<sub>n</sub></b>
Erdwurmmeel	15,51	15,58
Bloedmeel	16,18	15,09
Karkasmeel	15,72	14,36
Vismeele	15,43	15,66
Sojaboonoliekoekmeel	11,66	12,14
Sonneblomoliekoekmeel	12,26	13,46
Mieliemeel	17,28	18,07

Naas die goeie kwaliteit van die wurmpoteïen is die sleutelvraag egter of erdwurmpoteïen ekonomies geproduseer kan word. Een braaikuiken benodig ongeveer 0,5 kg wurpmeel oor 'n groeiperiode van 42 dae. Met 'n gemiddelde biomassa van 0,4 g is ongeveer 5 000 wurms nodig om een braaikuiken te produseer. Dit stel hoë eise aan die erdwurmproduksie-aanleg wat die konsep met huidige produksiemetodes waarskynlik onrealisties maak. Nuwe, verfynde produksiestelsels sal ontwikkel moet word om erdwurmproduksie vir proteïenvoorsiening haalbaar te maak.

Verskeie ander aspekte moet ook nog ondersoek word. Navorsers soos Hartenstein, Neuhauser & Collier (1980), Ireland (1979) en Van Hook (1974) het bevind dat problematiese swaarmetale (Cd, Ni, Pb) in erdwurmweefsel geberg kan word. Verder is dit ook bekend dat erdwurms soms optree as tussengasheer vir verskeie parasitiese en patogeenorganismes van vee (Rysavy, 1969). Voordat erdwurmmeel dus kommersieel in veerantsoene ingesluit kan word, sal die moontlike oordraging van swaarmetale en parasiete en patogene ook eers deeglik bestudeer moet word.

Navorsing oor die benutting van *Eisenia fetida* as afvalverwerker gaan egter onverpoosd voort. Tans is verskeie navorsers by die Departement Dierkunde gemoeid met verskillende aspekte van die navorsingsprogram. Naas 'n taksonomiese studie word die biologie van drie ander potensiële afvalverwerkers indringend bestudeer, nl. *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* en *Amyntas sp.*

## **ERDWURMS AS BIO-INDIKATORE VAN CHEMIESE BESOEDELING**

Naas besoedeling d.m.v. organiese afvalstowwe hou chemiese besoedeling ernstige bedreigings in vir die kwaliteit van lewe. Die werklike druk wat hierdie besoedeling op die natuurlike omgewing plaas, kan slegs begryp word indien strukturele en funksionele veranderinge in ekosistels behoorlik vasgestel en gekwantifiseer kan word. Dit is 'n komplekse taak. 'n Mens kan egter ook die uitwerking van chemiese kontaminante ontleed deur te konsentreer op die sensitiewe komponente van die ekosistelsel. Dié komponente heet bio-indikatore en word vir elke habitattipe van 'n ekosistelsel geselekteer. Hulle word gekies op die basis van hulle gevoeligheid en bruikbaarheid vir prospektiewe en retrospektiewe evaluering van die gevolg van chemiese besoedeling in 'n ekosistelsel.

Slegs deur 'n studie van die ekotoksikologiese effekte van chemikalieë kan 'n goeie wetenskaplike basis gelê word vir die formulering van beheermaatreëls m.b.t. "toelaatbare" hoeveelhede gifstofresidue in die omgewing.

Verskeie ekotoksikologiese bio-indikatore is vir verskillende ekosistelsels geïdentifiseer en word deur die Europese Gemeenskapslande in verpligte toetse voorgeskryf.

Meer en meer chemiese stowwe verskyn jaarliks op die mark, en hoewel bestaande wetgewing voorsiening maak vir behoorlike registrasie en beheer, is dit 'n bekende feit dat die verskillende wette wat deur die Departement van Gesondheid, die Departement Landbou-ekonomie en Bemaking en die Departement Landbou geadministreer word, nie daarvoor voorsiening maak om middels met betrekking tot omgewingskontaminasie-eienskappe te evalueer nie. Tot dusver was natuurbewaring in Suid-Afrika 'n funksie van die individuele provinsiale administrasie en bestaan daar geen federale liggaam om die verskillende aktiwiteite te koördineer nie. Die onbevredigende gevolg is dat die om-

gewingsgevaar van bv. pestisiede op 'n ad hoc-basis geëvalueer moet word. Verskeie outeurs bevestig die dringende noodsaaklikheid van meer intensiewe navorsing op die gebied.

Die behoefte aan verantwoordelike optrede word origens onderstreep deur die kommer wat deur natuurbewaringsinstansies uitgespreek word (vgl. bv. Fauna & Flora nr. 36 van Februarie 1980 van die Transvaalse Afdeling Natuurbewaring). Die vraag wat ook herhaaldelik na vore kom (soos blyk uit onlangse debatvoering in die openbare media), is of vervaardigers en invoerders van potensieel gevaarlike landbougifstowwe bereid sal wees om, in samewerking met owerheidsinstansies, plaaslike navorsing oor die ekologiese impak en langtermyninvloede van hulle produkte finansiëel te steun — veral gesien in die lig daarvan dat wetenskaplike uitsprake kan help om onnodige vooroordeel teen die gebruik van chemiese stowwe in die landbou uit te skakel. Alleen op hierdie wyse kan die uiters noodsaaklike rol wat chemiese middels speel in die belangrike bedryf van voedselproduksie vir 'n honger Afrika, ewewigtig beoordeel en in perspektief gestel word.

Private vervaardigers in 'n mededingende mark gee om voor-die-hand liggende ekonomiese redes (veral in die Suid-Afrikaanse situasie) slegs beperkte aandag aan langtermyn-effekte van hulle produkte.

Ons is reeds enkele jare besig met die bestudering van kankerveroorsakende kontaminante soos dioksien in onkruidodders wat in Suid-Afrika bemark word. Heelwat ervaring is ook met die steun van die W.N.N.R. in oorsese pestisiednavorsingslaboratoriums opgedoen. Die laboratoriums van die Departement Dierkunde beskik reeds oor 'n basiese infrastruktuur om studies van dié aard te onderneem. Met die nodige finansiële ondersteuning kan die mannekrag bekom en terselfdertyd opgelei word om deurlopende navorsing te doen i.v.m. probleemgebiede wat deur die landbou-, natuurbewarings- en gesondheidsowerhede sowel as privaat-instansies uitgewys word. Ons is van mening dat 'n belangrike diens op dié wyse gelewer kan word.

Die vraag na wat “aanvaarbare” konsentrasies van 'n chemiese stof is onder toestande van chroniese blootstelling, kan nie beantwoord word uit resultate van akute toksisiteitstoetse nie. Die subletale effekte wat 'n chemiese stof kan hê in relatief lae konsentrasies op gedrag, voortplanting en groei, word nie deur LD<sub>50</sub>-toetse uitgewys nie. Daar is dus nie wetenskaplike gronde om LD<sub>50</sub>-toetse te gebruik om die omgewings- en gesondheidsimpak te voorspel nie. Toetse om die langtermynuitwer-



king van blootstelling aan chemiese verbindings te bepaal is nodig om inligting in te win oor die respons van diere anders as om bloot dood te gaan.

Ongelukkig vereis die praktyk maklik werkbare prosedures wat binne 'n redelike tyd antwoorde verskaf. Korttermyn-toetse kan egter selde antwoorde verskaf oor langtermyn-effekte van blootstelling.

Die soeke na subletale effekte wat gemoniteer kan word, gaan dus voort. Indien die effekte voorkom by lae konsentrasies van 'n toksiese verbinding, kan dit 'n baie gevoelige metode bied waarop die teenwoordigheid van die verbinding opgespoor kan word. Konsentrasievlakke wat bv. verhoed dat homeostatische meganismes van 'n organisme die stres kan hanteer, verskaf goeie aanduidings watter konsentrasies as gevaarlik beskou moet word. Verskeie subletale parameters kan gemoniteer word, w.o. biochemiese sowel as gedragsaspekte. Die ideale parameter sal een wees wat slegs deur spesifieke toksiese verbindings verander word. Veranderinge in ensiemaktiwiteite, elektrolietkonsentrasie en bloedparameters is geskikte biochemiese veranderinge wat in diere gemoniteer kan word. Baie min, indien enige verandering op die organismevlak of die bevolkingsvlak kan egter direk afgelei word van kennis van effekte op die biochemiese of neurofisiologiese vlak. Die dier selfs bly dus die belangrikste studie-onderwerp.

Die meeste chemikalieë, w.o. plaagbeheermiddels wat in die natuur vrygestel word, is nie-spesifiek in hulle werking. Die hoeveelhede wat in die omgewing beland, is gewoonlik ook baie meer as wat nodig is om die plaagorganismes te beheer. Dit lei tot die blootstelling van ons natuurliewe aan die invloed van hierdie chemikalieë. In die omgewing waar die kragte van stres en natuurlike seleksie werksaam is, kan 'n klein verlies in voortplantingsvermoë of klein veranderinge in gedrag belangrike gevolge vir die hele bevolking inhou. Die subletale effekte van omgewingskontaminante kan in baie gevalle van groot ekologiese betekenis wees. Die toenemende gebruik van plaagbeheermiddels het 'n nuwe abiotiese faktor daargestel wat in byna elke ekosistelsel werksaam is.

Biologiese monitering van omgewingsbesoedeling hou, naas chemiese en bakteriologiese metodes, groot moontlikhede in. Die buitengewone rol van hierdie biologiese hulpbronne word toenemend besef. Soos wat die kanarie in vroeëre tye 'n bondgenoot van die mynwerkers was om hulle teen gifgasse te waarsku, is die natuurliewe om ons 'n sensitiewe

barometer van die vlakke van omgewingsvergiftiging. Ons moet slegs maar leer om die tekens reg te kan lees.

Biologiese evaluering van chemiese besoedeling is gebaseer op die teenwoordigheid en getalgedigtheid van sogenaamde indikatorspesies, of op die verskeidenheid van spesies in 'n ekosistelsel.

Williams & Dussart (1976) noem 17 verskillende metodes van biologiese evaluering d.m.v. indikatororganismes. Wilhm & Doris (1968) het 'n diversiteitsindeks voorgestel wat die spesieverskeidenheid en verspreiding van individue onder die spesies in ag neem. Die benadering is gebaseer op die aanname dat nie-besoedelende omgewings gekenmerk word deur 'n groot aantal spesies sonder dat een enkele spesie numeries oorheersend is. Die diversiteitsindeks stel dat

$$d = \frac{\sum ni}{n} \quad \text{Log}_{10} \frac{ni}{n}$$

waar  $n_i$  die getal individue per takson is en  $n$  die getal taksons in die monster van die gemeenskap. Skoon water het dan 'n hoë  $d$ -waarde, omdat daar 'n groot aantal spesies is wat elk deur 'n groot getal individue verteenwoordig word. Besoedelde water sal min spesies hê of slegs verteenwoordigers van 'n enkele spesie. Indien  $d = 0$ , behoort al die individue dus tot dieselfde spesie; indien  $d$  minder as 1 is, is daar hewige organiese besoedeling, terwyl waardes tussen 1 en 3 redelike besoedelingsvlakke aandui.

So is die meer komplekse terrestriële omgewing en sy besoedelingsvraagstukke nog steeds die onderwerp van intense navorsing. Die erdwurm is maar onlangs (1980) hierby ingesluit. Die erdwurm word as 'n nuttige bio-indikator beskou om ekotoksikologiese kriteriums van grondbesoedeling te verskaf. Die erdwurm is in noue kontak met die grond, en groot hoeveelhede grond beweeg deur sy spysverteringskanaal terwyl hy voed. Erdwurms vorm 'n belangrike skakel in die voedselketting en dien as bron van voedsel vir voëls, klein soogdiere en ander predatore. Hulle dien dus as direkte skakel om grondkontaminante vanuit die grond na hoër trofiese vlakke te vervoer.

Nadat hierdie rol van die erdwurm en sy moontlike benutting as bio-indikator duidelik geblyk het, het ons enkele jare gelede met 'n navor-

singsprojek begin om ekotoksikologiese toetsprosedures vir chemikalieë te ondersoek.

ns studies wat met die persisterende organochloried dieldrin asook met karbofuran en dioksien uitgevoer is, het getoon dat verskillende subletale konsentrasies van gifstowwe 'n merkbare en soms subtiele invloed het op groei en voortplanting van die erdwurms. Behalwe dat die wurms stadiger geslagsryp geword het, is hulle kokonproduksie asook hulle kokongrootte deur die teenwoordigheid van die organochloried beïnvloed (Reinecke & Venter, 1985; Venter & Reinecke, 1985; Venter & Reinecke, 1987; Bouwman & Reinecke, 1987). Selfs die getal nakomelinge wat per kokon uitgeborei het, is geaffekteer deur die teenwoordigheid van die gifstof in die omgewing. Daarbenewens het die gifstof die uitbroeityd sowel as die uitbroeisukses van kokonne beïnvloed.

Ons studies het dus getoon dat gifstowwe wat as nie-toksies vir erdwurms geklassifiseer word, nogtans omvangryke nadelige effekte kan hê op die wurms se groei en voortplantingspotensiaal. Uiteraard sal hierdie effekte ook die bevolkingsdigtheid van die wurms raak.

Nuwe chemikalieë word in 'n toenemende mate bemark. In Europa alleen word na raming 3 000 nuwe verbindings elke jaar bemark. Daardie stowwe wat in die omgewing gaan beland, se langtermyneffekte op die mens en sy omgewing is onseker. Daar is dus 'n knellende behoefte aan goed gestandaardiseerde ekotoksikologiese toetsprosedures. Meer chemiese stowwe moet ekotoksikologies geëvalueer word, sodat kwantifiseerbare subletale effekte voorspellingswaarde kan hê. Sodra ons weet wat die subletale effekte van 'n besondere verbinding is, kan organismes vanuit (of ingeplaas in) gekontamineerde gebiede as vroegtijdige alarmstelsels optree van oorlaaide ekostelsels.

Ons het 'n roeping om ons natuurlewe te beskerm. Die voël wat die hoogs gekontamineerde wurm eet, mag moontlik nie die dosis oorleef nie. Maar indien ons die response van die wurm monitor, kan ons die alarm betyds hoor en die voël red voor kontaminasievlakke te hoog is. Die eenvoudige erdwurm is maar een voorbeeld van 'n ryke verskeidenheid diere wat 'n onmeetbare biologiese hulpbron vorm. Dit is die ontginning van hierdie besondere hulpbronne wat ons toewyding en vernuf vra.

Ek het maar twee terreine uitgelig om aan te toon hoe die beskeie erd-

wurm as 'n belangrike biologiese hulpbron vir die mens kan dien. Die hele diere- en planteryk is tot ons beskikking. 'n Gebrek aan uitdagings is daar dus nie. Moderne ontwikkelings op die terrein van die biologie het egter ook meegebring dat konvensionele bioloë deeglik rekenskap van hulself sal moet gee. Laat my dus toe om ten slotte kortliks die aandag te vestig op toekomstige ontwikkelings op die gebied van biologiese navorsing.

## **MOLEKULÊRE BIOTEKNOLOGIE**

Ons leef in opwindende tye. Ons staan op die vooraand van dramatiese ontwikkelinge op die gebied van die sogenaamde genetiese manipulasietegnologie. Biotegnologie op molekulêre vlak is nie net 'n wetenskaplike tegniek vir navorsingslaboratoriums van molekulêre bioloë nie. Dit is nie net 'n nuwe tegnologie wat nuwe produkte gaan voortbring en verhoogde oesopbrengste moet verseker nie. Dit is nie net 'n metode om genetiese afwykings te voorspel of teë te werk nie. Dit is eerder 'n revolusionêre nuwe tegnologie wat die denkraamwerk van elke chemikus, mikrobioloog, plantkundige, dierkundige en fisioloog op 'n dramatiese wyse aanspreek. Dié molekulêre biotegnologie het eers net beloftes gemaak. Die tegnologie is nou gereed om uit die laboratorium te beweeg in die vele toepassingsterreine daar buite. 'n Wêreldwye debat is reeds aan die gang oor die vraag na die loslating van geneties gemanipuleerde mikro-organismes in die omgewing, hetsy by wyse van proefneming, hetsy in die proses van biologiese oorlogvoering. Daarby spekuleer bioloë en kwasi-bioloë reeds heftig oor die omgewingsgehare sowel as oor die etiese implikasies. Die Amerikaanse National Institute of Health het reeds in 1983 toestemming tot sekere veldeksperimente met geneties gemanipuleerde organismes gegee, maar die een hofspraak na die ander het die felste teenstand van selfs bioloë uit die geleedere van die ekologie, plantpatologie, mikrobiologie en entomologie geopenbaar.

Ek sien in hierdie wêreldwye reaksie op die voordele van molekulêre biotegnologie sowel as op die potensiële hare wat dit inhou, groot uitdagings vir bioloë in die algemeen en dierkundiges in die besonder.

Produkte van die molekulêre biotegnologie is besig om na die markarena te beweeg. Menslike insulin is tans 'n goeie voorbeeld. Maar verskeie ander produkte wag reeds om veldtoetse te ondergaan. Van die owerheid word verwag om die potensiële hare van hierdie produkte te

evalueer en te beheer. Die vraag is hoe die owerheid genetiese manipulasie-eksperimente gaan reguleer. Van die owerheid se kant beskou, is daar 'n potensieel ernstige gevaar in die doelbewuste vrylating van geneties gemodifiseerde organismes in die natuur. Dit mag omgewingsversteurings veroorsaak wat ekostelsels ontwig. Maar dit mag ook moontlik nie. Die risiko's bly egter groot, omdat die biologie wemel van voorbeelde waar eksotiese spesies groot skade meegebring het toe hulle in nuwe omgewings ingebring is.

Afgesien van die nuwe uitdagings wat daar vir die beheerliggame voorlê, kan en moet konvensionele bioloë hulle gereed maak om enersyds die manifestasies van geneties gemodifiseerde organismes te bestudeer, sowel as hulle uitwerkinge op ekostelsels as geheel. Die konvensionele bioloog van vandag moet tred hou en deelneem aan hierdie moderne ontwikkelings op die terrein van die biologie. Daardeur kan hy 'n bydrae lewer om die effektiewe en doelmatige aanwending van die molekulêre biotegnologie te verseker eerder as om dit teen te staan.

Dit is waar dat die genetiese materiaal van mense en diere veel meer kompleks is as dié van mikro-organismes. Desnieteenstaande gaan navorsing op dierselle onverpoosd voort, in die vertroue dat hulle genetiese strukture soos dié van mikro-organismes gemanipuleer sal kan word. By die Universiteit Stamford is reeds ver gevorder met die bestudering van genetiese materiaal wat die ontwikkeling van die vrugtevlug *Drosophila* beheer. Die molekulêre basis van die ontwikkelingsbiologie is besig om stuk-stuk ontrafel te word. Orgaanmorfologie sal weldra in molekulêre terme uitgedruk en begryp word. Hiervan moet alle konvensionele bioloë deeglik kennis neem. Die konvensionele taksonoom, dierfisioloog en dierekoloog moet hulself vergewis van die implikasies wat die verwikkelings op hulle onderskeie subdissiplines gaan hê. Dit sal ook nodig wees dat sekere spesialisbioloë van môre en oormôre deeglik onderlê sal word in die onderliggende beginsels, metodes en tegnieke van die molekulêre biologie.

Dit sou egter dwaas wees om holderstebolder op die spreekwoordelike "bandwagon" te klim soos wat ongelukkig die afgelope jare in die V.S.A. gebeur waar elke klein kollege (met of sonder genoegsame infrastruktuur) skielik baie modebewus toegetree het tot die terrein van genetiese manipulasiestudies. Veel eerder sou 'n mens wou sien dat hierdie bruikbare tegnologie met verloop van tyd sinvol inskakel en aanwending vind

binne bestaande dissiplines van die biologie. Dit is immers 'n tegnologie wat vir sowel die biochemikus as die plantkundige of dierkundige van waarde kan wees.

In 'n land soos Suid-Afrika met sy ryk verskeidenheid dierelewe moet baie basiese vrae in die konvensionele dierkunde nog beantwoord word. Studies i.v.m. die etologie en ekologie van diere het bv. steeds hulle regmatige plek. Hoewel die dier se gedrag en wisselwerking met sy omgewing grootliks manifestasies is van die onderliggende biochemiese boustene en prosesse, is die dier as studieonderwerp veel meer as die somtotaal van sy biochemiese boustene. Dit weet elke bioloog. In 'n poging om die een te doen en die ander nie na te laat nie, sal dierkundiges rekenskap moet gee of geykte data-insamelingsoefeninge en kompilasies van gegewens oor diere nie eerder by museums as by universiteite tuishoort nie. Is dit nie by uitstek ons taak om op die voerpunt van navorsingsontwikkeling in ons eie subdissiplines te bly nie?

Indien ons na die prentjie kyk wat demograwe van Suid-Afrika in die volgende eeu skilder, sal elke moontlike biologiese hulpbron tot die uiterste benut moet word indien ons maar enigsins die huidige lewenskwaliteit wil behou. Dit hou voorwaar groot uitdagings vir bioloë in.

## LITERATUURVERWYSINGS

- ALBERTS, N.J. & REINECKE, A.J. 1987. Die komposwurm *Eisenia fetida* (Oligochaeta) as potenssiële proteïenbron vir dierevoeding. *S.A. Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*. 38:171—178.
- ALBERTS, N.J., REINECKE, A.J. & VENTER, J.M. 1988? The utilization of the compost worm, *Eisenia fetida* as a protein source in chicken feed. (In voorbereiding)
- BOUWMAN, H. & REINECKE, A.J. 1987. Effects of carbofuran on the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta) using a newlydefined medium. *Bull. Environ. Cont. & Toxicol.* (Op die pers)
- HARTENSTEIN, R., NEUHAUSER, E.F. & COLLIER, J. 1980. Accumulation of heavy metals in the earthworm *Eisenia fetida*. *J. of Environ.* 9(1):23—26.
- IRELAND, M.P. 1979. Metal accumulation by the earthworm *Lumbricus rubellus*, *Dendrobaena veneta* and *Eiseniella tetrahedra* living in heavy metal polluted sites. *Environ. Poll.* 19:201—206.
- LOURENS, E.H. 1986. 'n Ondersoek na die eetkwaliteit van die vleis van hoenders wat op vier verskillende rantsoene gevoed is. M.Sc.-verhandeling. PU vir CHO. 151 p.
- REINECKE, A.J. & VENTER, J.M. 1985. Influence of the pesticide dieldrin on the reproduction of the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Biol. Fert. Soils.* 1:29—44.
- REINECKE, A.J. & KRIEL, J.R. 1981. Influence of temperature on the reproduction of the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *S.A. J. Zool.* 16(2):96—100.
- REINECKE, A.J. & VENTER, J.M. 1985. Influence of moisture on the growth and reproduction of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 22(4):473—481.
- REINECKE, A.J. & VENTER, J.M. 1986. Moisture preference and growth and reproduction of *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Biol. Fert. Soils.* (Op die pers).
- RYSAVY, B. 1969. Lumbricidae — an important parasitological factor in helminthoses of domestic and wild animals. *Pedobiologia*. 9—171—174.
- VAN HOOK, R.I. 1974. Cadmium, lead and zinc distribution between earthworms and soil: potentials for biological accumulations. *Bull. Environ. Cont. & Toxicol.* 12(4):509—512.
- VENTER, J.C. 1986. Besoedeling deur intensiewe diereproduksie-eenhede. *S.A. Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie*. 5(3) 157—160.
- VENTER, J.M. & REINECKE, A.J. 1985. Dieldrin and growth and development of the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Bull. Environ.*

*Cont. & Toxicol.* 35:652—659.

VENTER, J.M. & REINECKE, A.J. 1987. Effects of the pesticide dieldrin on incubation of the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *S.A. J. Zool.* (Op die pers).

VENTER, J.M. & REINECKE, A.J. 1987. The life cycle of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). (In voorbereiding).

WILHM, J.H. & DORIS, T.C. 1986. Biological parameters for water quality criteria. *Bioscience.* 18:477—481.

WILLIAMS, N.V., & DUSSART, G.B.J. 1976. A field course survey of three English river systems. *J. Biol. Educ.* 10:4—14.