

## Bedreigen PCB's de levenscyclus van de paling?

door Maarten Bruijs<sup>1</sup>, Rob Lock<sup>2</sup> en Vincent van Ginneken<sup>3</sup>

<sup>1</sup> KEMA Nederland BV te Arnhem, afdeling Power Generation & Sustainables

<sup>2</sup> Katholieke Universiteit Nijmegen, afdeling Dierfysiologie

<sup>3</sup> Universiteit Leiden, afdeling Integrative Zoology

**Polychloorbifenylen (PCB's) behoren tot de poly-gehalogeneerde aromatische koolwaterstoffen. Het zijn lipofiele verbindingen welke een groep van gechloroerde verbindingen omvatten met, afhankelijk van de plaats van de chlooratomen aan de bezen(bifenyyl)ringen 209 varianten, ook wel congenere genoemd. Iedere congener heeft zijn eigen fysische en chemische eigenschappen en ook het effect van congenere op organismen is specifiek. In zijn algemeenheid zijn PCB's met minder chlooratomen beter wateroplosbaar, meer ontvankelijk voor chemische of biologische degradatie en hopen zich minder op in het milieu (Safe 1984).**

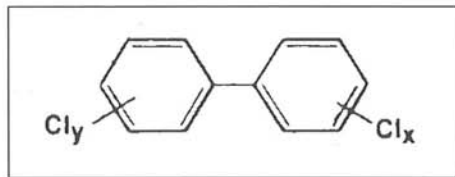
Vanwege hun eigenschappen, zoals chemische stabiliteit, lage brandbaarheid en goede geleidbaarheid, zijn PCB's vanaf 1929 op grote schaal geproduceerd voor industriële en technische toepassingen. Enkele commerciële namen van technische mengsels zijn 'Arochlor', 'Phenochlor', of 'Kanechlor'. Voornamelijk door menselijk toedoen zijn deze stoffen in grote hoeveelheden in het (aquatische) milieu gebracht.

PCB's hebben verschillende eigenschappen die een probleem vormen wanneer ze in het milieu terechtkomen. Hiervan zijn chemische en biologische persistentie en lipofiliteit de belangrijkste: ze worden in het milieu

slecht en langzaam afgebroken, waardoor ze in alle milieucompartmenten verspreid zijn geraakt, en lossen beter op in vet dan in water en accumuleren dus vooral in aquatische organismen en toppredatoren. Dat PCB's in het milieu voorkwamen, werd reeds in 1966 duidelijk toen PCB's in een zeearend werden aangetroffen. In de beginjaren zeventig werd al verder melding gemaakt dat PCB's bij vissen de reproductie verstoorte en veranderingen in de lever veroorzaakten en werd ook een verminderd uitkomen van zalmeieren toegeschreven aan te hoge concentraties PCB's.

### PCB accumulatie in paling

Paling is een vette vis welke kort voor migratie vetpercentages van 27-29% bereiken, terwijl dit voor bijvoorbeeld een karper maar 3% is. Daarbij heeft paling een lange juveniele fase in en op de sedimentlaag van de vervuilde binnenwateren, waardoor ze voor langere periodes aan hogere PCB gehalten worden blootgesteld. PCB's uit het sediment kunnen direct in de waterfase terechtkomen en via de kieuwen worden opgenomen (wa-



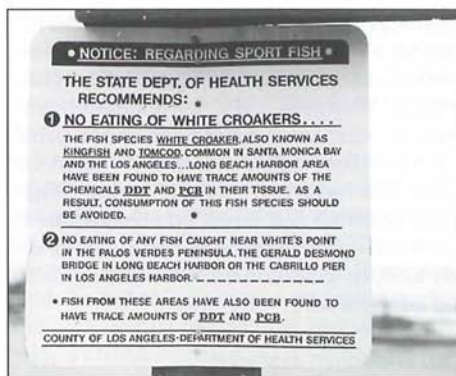
Structuur van PCB's, bestaande uit twee biphenylringen met 1 tot 10 chlooratomen ( $x+y$ ) verdeeld over beiden.

ter/vet verdeling). Daarnaast is het een predator die hoog in de voedselketen staat. Zijn prooidieren bestaan uit kleine vis en ongewervelden uit de sedimentlaag waardoor PCB's zich ook in het dier accumuleren.

Deze accumulatie vindt plaats, omdat organismen PCB's niet kunnen metaboliseren. Organismen bezitten enzymsystemen die lichaamsvreemde stoffen omvormen en uitscheiden, ook wel het mono-oxygenase systeem genoemd. De enzymen van dit systeem, waarvan de hoogste concentraties in de lever worden gevonden, en verscheidene conjugerende enzymen, helpen dieren verontreinigingen te ontgiften en te verwijderen uit de weefsels en uit te scheiden naar het omringende milieu. Het merendeel van de PCB's kan echter niet, of slechts in zeer beperkte mate door enzymsystemen gedetoxificeerd worden. De PCB's lossen goed op in vet en niet in water. De snelste manier om van de PCB's af te komen is dus door ze op te slaan in het vetweefsel, een metabolisch relatief inactief compartiment. Hierdoor is een organisme 'in principe' gevrijwaard van de toxische effecten, maar in wezen verworpen tot een chemische 'tijdbom'.

### De effecten van PCB's op aal

Paling is door zijn bijzondere levenscyclus als soort zeer gevoelig voor de toxische effecten van PCB's. Dit kan plaatsvinden op verschillende momenten in de levenscyclus van de paling: tijdens de opgroefase, het schier worden, de migratie, bij de aanmaak van geslachtsproducten, en ontwikkeling van larven. In de opgroefase van de paling zullen de effecten zich het minst doen gelden, omdat de PCB's in het vetweefsel worden opgeslagen. De invloed van PCB's begint pas echt wanneer in de paling tal van morfologische veranderingen plaatsvinden onder invloed van hormonen, wanneer het dier schier wordt. Het dier stopt met eten en teert op zijn vetvoorraad. Tijdens de migratie naar de Sargassozee, hun paaigebied,



verbruiken de palingen zo'n 40% van hun vetvoorraden (van Ginneken & van den Thilart 2000). Dit betekent dat een gedeelte van geaccumuleerde PCB's beschikbaar komt. Een continue vetverbranding betekent een continue beschikbaarheid van PCB's, en een (hoge) mate van toxiciteit in de paling, ondanks dat een gedeelte opnieuw opgeslagen zal worden in het overgebleven vetweefsel. Een dergelijke PCB-vergiftiging kan, op basis van kennis van andere vissoorten leiden tot verstoring van fysiologische functies, verminderde endocriene stress respons en weerstand tegen infecties, afname van voortplanting of zelfs direct tot de dood van de aal.

### Enzymrespons

Bij vissen kan het al eerder genoemde detoxificatie mechanisme van nature worden onderdrukt door hormonale factoren, zoals steroïdhormonen welke belangrijk zijn bij hormonale veranderingen gedurende het paaiseizoen, maar ook door temperatuur, geslacht, leeftijd en voedingstoestand. Reproductiehormonen reguleren waarschijnlijk de seizoensveranderingen in mono-oxygenase activiteit en bij veel vissoorten neemt deze activiteit door natuurlijke factoren af vlak voor het paaiseizoen. Sommige steroïdcomponenten worden inderdaad door verscheidene mono-oxygenase enzymen afgebroken en dit zou voor de paai de-

sastreus zijn. Het detoxificatie mechanisme wordt bij vissen echter gestimuleerd door lichaamsvreemde chemicaliën zoals PCB's. Wanneer de enzymactiviteit verhoogd wordt kan het steroidhormoon gehalte in het bloed dalen, met alle gevolgen van dien. Daarnaast kan een hoge mono-oxygenase activiteit ook direct de levensvatbaarheid van geslachtscellen, bevruchting van de eicel en embryonale ontwikkeling nadelig beïnvloeden.

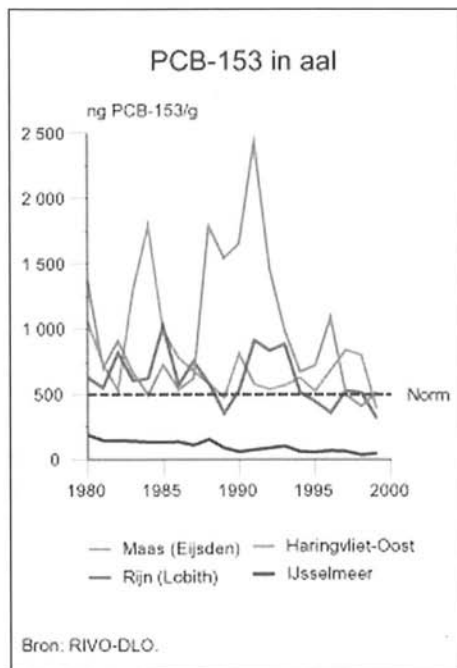
### Het endocrien systeem

Bij vissoorten die migreren tussen zoetwater en zoutwater milieus worden endocriene mechanismen ingeschakeld om de veranderende osmotische condities op te vangen. Bij de paling betreft de aanpassing aan het zoute milieu een eenmalige metamorfose, het dier wordt schier, waarbij endocriene hormonen een belangrijke rol spelen. Palingen overleven de stressvolle situatie van

zoet naar zout water alleen wanneer hun endocriene systeem niet is verstoord. Het endocrien systeem wordt nauwkeurig gereguleerd vanuit een aantal gespecialiseerde klieren welke verschillende hormonen synthetiseren en afgeven onder controle (positief en negatief) van de zogenaamde hypothalamus-hypofyse-bijnier as (HPI-as). In beenvissen wordt de HPI-as geactiveerd door een brede variatie aan stressoren (Wendelaar Bonga, 1997). In het geval van aal is de stressprikkel de verandering in saliniteit. Verstoring van dit stressgerelateerde endocriene systeem verstoort fysiologische processen en vermindert de mogelijkheid met additionele stress om te gaan. PCB's en andere toxische stoffen gaan interactie aan met verscheidene endocriene controle mechanismen.

### Immuunrespons

Om zich tegen pathogenen zoals parasieten, bacteriën en virussen te wapenen, bezit de paling net als alle andere gewervelden over een immuunsysteem. Bij beenvissen zijn de mechanismen in grote lijnen gelijk aan die in zoogdieren. De cellen en organen die betrokken zijn in de immuunrespons werken in samenspel via de overdracht van biochemische signalen. Deze zijn ontvankelijk voor de inwerking van specifieke chemicaliën, de zogenaamde immunomodulatie, wat de inductie, blokkering, versterking of vermindering van opeenvolgende stappen van de verschillende defensiemechanismen omvat. Deze verstoringen van het immuunsysteem door chemicaliën uit het milieu kan leiden tot een onderdrukking van het immuunsysteem, de zogenaamde immunosuppressie. Hierdoor wordt het dier gevoeliger voor pathogenen uit het milieu. Zo zijn voor (bodem)vissen bemonsterd in kustgebieden met PCB vervuilde sedimenten een toename van een verstoord immuunsysteem en het voorkomen van ziektes gevonden. Verder tonen meerdere experimenten aan dat bij blootstelling van dieren aan PCB's, toege-



diend via het voer of door middel van injectie, immunotoxische effecten optreden.

### **Reproductie**

Voorspellingen over de effecten van PCB's op de reproductie en larvenontwikkeling kan echter alleen gebaseerd worden op studiemateriaal van andere vissoorten, omdat het (nog) niet mogelijk is paling artificieel te kweken. PCB's kunnen verschillende aspecten van het reproductieproces nadelig beïnvloeden: de bevruchting, het uitkomen van visseneieren en de vitaliteit van vissenlarven. Zo is na blootstelling van ouderdieren aan PCB's bij karper en forel een daling van de androgeen, oestrogeen en corticoidconcentratie aangetoond. Daarnaast accumuleren PCB's makkelijk in de geslachtsproducten omdat deze met behulp van vetweefsel aangemaakt worden. De effecten op hormonen en accumulatie in eieren kan leiden tot een hoge mortaliteit van bevruchte eieren en larven, maar ook vervormingen van de larven. Zo is bij karperlarven opzwellings van de dooierzak en het hartzakje waargenomen, wat duidt op oedeemvorming door een verstoorde hydrominerale balans. PCB's hebben ook effect op de stress gevoeligheid en hormoonregulatie bij vissenlarven, wat vaak pas duidelijk optreedt na resorptie van de dooierzak. Welke factoren betrokken zijn bij de overdracht van PCB's vanuit de oudervis naar geslachtsproducten is onbekend.

Als de paling de Sargassozee bereikt heeft is 60% vet overgebleven, wat na de lange reis gebruikt wordt om de geslachtsproducten aan te maken. Daarbij hopen PCB's zich op in het gonadenweefsel en geslachtsproducten van de ouderdieren. De PCB's zullen met name in de dooierzak van de eieren terechtkomen wat een duidelijke blootstellingroute is van PCB's naar larven die in hun eerste levensfase teren op de eidooier.

### **PCB's oorzaak palingafname?**

Duidelijk is dat PCB's bij paling kunnen in-

werken op verscheidene fysiologische, endocrinologische en immunologische processen en dat dit kan plaatsvinden op verschillende, cruciale momenten in de levenscyclus van de paling.

In Nederland is vanaf 1979 de fabricage en het gebruik van PCB's steeds meer aan banden gelegd. Naar schatting is wereldwijd tot 1984 rond 1.5 miljoen ton aan PCB's geproduceerd, waarvan naar schatting 16 tot 30% reeds in het milieu is terechtgekomen. Indien van de rest het gebruik niet wordt stilgelegd en voorraden niet vernietigd zal een groot deel van het resterend percentage ook het milieu vervuilen en uiteindelijk de oceaan bereiken.

Vele biomonitoringstudies tonen aan dat PCB's zich inderdaad in sterke mate ophopen in paling. Jarenlang werden zeer hoge PCB's concentraties, in de orde van 1.5-10 mg per kilogram lichaamsgewicht, gemeten in Europese paling (*Anguilla anguilla*) afkomstig uit rivieren in Noordwest Europa (De Boer et al., 1994). Dit ligt tegen, en in sommige gevallen boven de grens die nog toelaatbaar wordt geacht voor humane consumptie. Nederland gebruikt een PCB consumptienorm gebaseerd op 7 congenere (PCB 28: 500 ng/g lichaamsgewicht; PCB 52: 200 ng/g; PCB 101 en PCB 118: 400 ng/g; PCB 138 en PCB 153: 500 ng/g en PCB 180: 600 ng/g). Overschrijding van één van de 7 toleranties betekent overschrijding van de norm.

PCB waarden in paling uit de Rijn en de Maas behoorden tot voorgaande jaren tot de hoogste waarden in zoetwatervissen in Europa gemeten. Alleen buiten Europa zijn hogere PCB waarden voor diverse vissoorten in 1977 in de Hudson rivier, New York gemeten, welke de extreme waarden bedroegen van 1500-4000 mg per kilogram. In de beginperiode van de jaren 80 daalde de PCB concentratie in sterke mate in de Rijn en is daarna op een relatief constant niveau gebleven. De afgelopen jaren is voor het eerst sinds het begin van het monitorings-

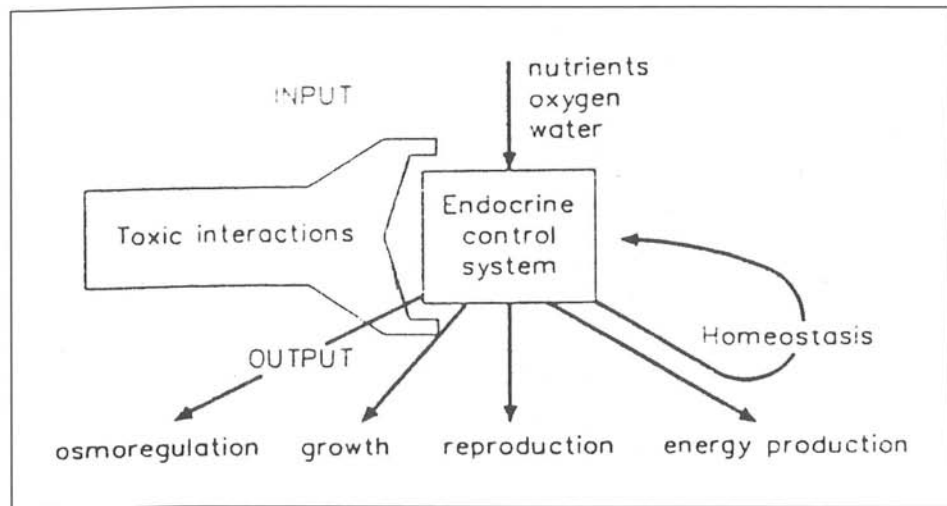
programma geen overschrijding van consumptienormen voor PCB's aangetroffen in rode aal (De Boer et al., 2000). Desondanks wordt regelmatige consumptie van aal uit sterk verontreinigde gebieden afgeraden. Het herstel van populaties van de Europese paling heeft een hoge prioriteit bij biologen en politici. De massale afname van natuurlijke populaties van volwassen paling en de dramatische afname van de immigratie van glasaal betekent een serieuze bedreiging voor het overleven van deze vissoort. Omdat de oorzaak voor deze afnamen (nog) niet bekend is, kunnen vooralsnog geen maatregelen getroffen worden om deze trend te stoppen.

Uit een literatuuronderzoek, waarvan in dit artikel verslag is gedaan, blijkt dat PCB's een belangrijke rol kunnen spelen in de afname van palingpopulaties. Echter, wanneer uit onderzoek zou blijken dat PCB's inderdaad verantwoordelijk zijn, zal men zich moeten neerleggen bij de desastreuze trend die de natuurlijke palingpopulaties wereldwijd laten zien. De productie van PCB's is dan wel gestopt, maar er is nog veel onderweg naar het milieu en opgeslagen in sediment van

vele binnenwateren, ondanks de positieve, relatief lagere metingen van het laatste jaar in aal. Laat staan al die andere toxische chemicaliën die de rivier nog steeds bevatten en dezelfde effecten teweeg kunnen brengen.

### Referenties

- De Boer, J. & Hagel, P. (1994). Spatial differences and temporal trends of chlorobiphenyls in yellow eel (*Anguilla anguilla*) from inland waters of the Netherlands. *Sci. Total environ.*, 141: 155-174.
- De Boer, J., H. Pieters en S. van Leeuwen (2000). Verontreinigingen in aal en snoekbaars: monitoring-programma ten behoeve van de Nederlandse sportvisserij 1999. RIVO (rapport C048/00), IJmuiden.
- Safe, S. (1984). Polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated biphenyls (PBBs): biochemistry, toxicology and mechanism of action. *Crit. Rev. Toxicol.* 13: 319-395.
- Van Ginneken, V.J.T. & Van den Thillart, G.E.E.J.M. (2000) Eel fat stores enough to reach the Sargasso. *Nature*, 403: 156-157
- Wendelaar Bonga, S.E. 1997. Stress in fish. *Physiol. Rev.*, 77: 591-625.



Schematische weergave van toxische interactie met het endocriene controle systeem.