

PCB accumulatie in Arctische zeevogels: het belang van migratie en dieet

Baert Jan

Laboratorium voor Milieutoxicologie en Aquatische Biologie, Onderzoeksgroep Milieutoxicologie,
Universiteit Gent
E-mail: jan.baert@ugent.be

Polygechloreerde biphenylen (PCBs) behoren tot de zogenaamde persistente organische polluenten (POPs), een groep van chemische verbindingen gekenmerkt door een hoge weerstand t.o.v. (a)biotische afbraakprocessen waardoor deze accumuleren in het milieu. De hoge vetoplosbaarheid van PCBs resulteert bovendien in zowel bioaccumulatie als biomagnificatie. De eerste term verwijst naar de verhoogde lichaamsconcentraties waargenomen in organismen t.o.v. waterconcentraties terwijl biomagnificatie verwijst naar de trofische transfer van PCBs waarbij predatoren PCBs uit hun prooidieren accumuleren en hogere posities in het voedselweb zodoende geassocieerd zijn met hogere PCB lichaamsconcentraties.

De invloed van PCBs strekt zich veel verder uit dan hun initiële punt van vrijstelling: het evaporeren van deze verbindingen op lagere breedtegraden en het opnieuw neerslaan op hogere breedtegraden zorgt voor een systematisch transport van PCBs richting de poolgebieden. Vermits PCBs hierdoor ook gescheiden worden over een gradiënt van breedtegraden afhankelijk van hun vluchtigheid staat dit proces ook bekend als *global fractionation* (verwijzend naar chemische destillatiekolommen). Deze sterk verhoogde PCB waterconcentraties, ver weg van elke vrijstellingsbron, maakt polaire gebieden als de Barentszee een ideaal studiegebied. Reeds heel wat aandacht werd hierbij besteed aan zeevogels gezien hun hoger trofisch niveau in het voedselweb, zowel in de Barentszee als in Canada. Echter, de focus van voorgaand onderzoek spitste zich voornamelijk toe op het belang van het trofisch niveau (i.e. de positie in het voedselweb) om waargenomen verschillen in PCB lichaamsconcentratie tussen verschillende soorten te kunnen verklaren. Hoewel een lineair verband tussen trofisch niveau en log-getransformeerde lichaamsconcentratie in staat is om een zeer ruwe benadering van de lichaamsconcentratie te geven blijkt deze echter niet in staat om verschillen tot meer dan een grootteorde te verklaren tussen soorten die een gelijkaardige positie in het voedselweb innemen. Diverse auteurs hebben gesuggereerd dat het falen van dergelijke modellen te wijten zou zijn aan enerzijds het effect van migratie en anderzijds het gevolg van opportunistische voedingswijzen: Drieteenmeeuwen (*Rissa tridactyla*) die broeden in de Barentszee migreren in het najaar richting de Noord-Amerikaanse oostkust waar PCB waterconcentraties tot 10x hoger zijn in vergelijking met de Barentszee. Dit wordt verondersteld een mogelijke verklaring te zijn voor de veel hogere PCB lichaamsconcentraties die gemeten worden in Drieteenmeeuwen t.o.v. wat verwacht wordt op basis van het trofisch niveau. Opportunistische voedingswijzen (i.e. het zich voeden op allerhande afval, karkassen van zeevogels en zeezoogdieren, jonge zeevogels etc.) zijn dan weer vooral van belang bij grote meeuwen en stormvogels. Het probleem hierbij is dat trofisch niveau in voorgaande studies typisch bepaald wordt uit de aanrijking in ^{15}N . Deze isotoop heeft echter een halfwaardetijd van enkele weken in het lichaam terwijl de halfwaardetijd van PCBs typisch enkele 100den dagen is. Zodoende kunnen hogere lichaamsconcentraties ten gevolge van het zich opportunistisch voeden – want de vogel voedt zich hierbij immers op hogere trofische niveaus dan normaal – slechts gedurende een paar weken opspoorbaar zijn in het lichaam terwijl de hogere PCB lichaamsconcentraties maanden tot jaren aanwezig zijn. Dit verschil in halfwaardetijd tussen ^{15}N en PCBs wordt gezien als een mogelijke verklaring voor de hogere lichaamsconcentraties waargenomen in Noordse Stormvogels (*Fulmarus glacialis*) en Grote Burgemeesters (*Larus hyperboreus*) dan wat verwacht wordt op basis van het trofisch niveau bepaald met behulp van ^{15}N . Naast migratie en opportunistische voedingswijzen, als verklaringen voor verschillen tussen soorten, wordt in de literatuur ook vaak verwezen naar een mogelijk effect van leeftijd en geslacht om verschillen binnen een soort te verklaren. De eerste verwijst naar het feit dat jonge vogels tot meer dan een jaar nodig hebben om evenwicht met hun omgeving te bereiken als ook omdat niet broedrijpe vogels er dikwijls andere voedings- en migratiestrategieën op nahouden dan reproducerende adulten. Geslacht wordt vooral verwacht een invloed te hebben doordat vrouwtjes een deel van de PCBs uit hun lichaam kunnen elimineren via het ei.

Hoewel het belang van migratie, opportunistische voedingswijzen, leeftijd en geslacht vaak werden gesuggereerd als uitbreiding van bioaccumulatiemodellen om inter- en intraspecifieke variatie te helpen verklaren werden deze tot dusver nooit getest. In deze thesis werd uitgaande van de ICES (International Council for the Exploration of the Sea) dataset welke 4669 PCB concentraties,

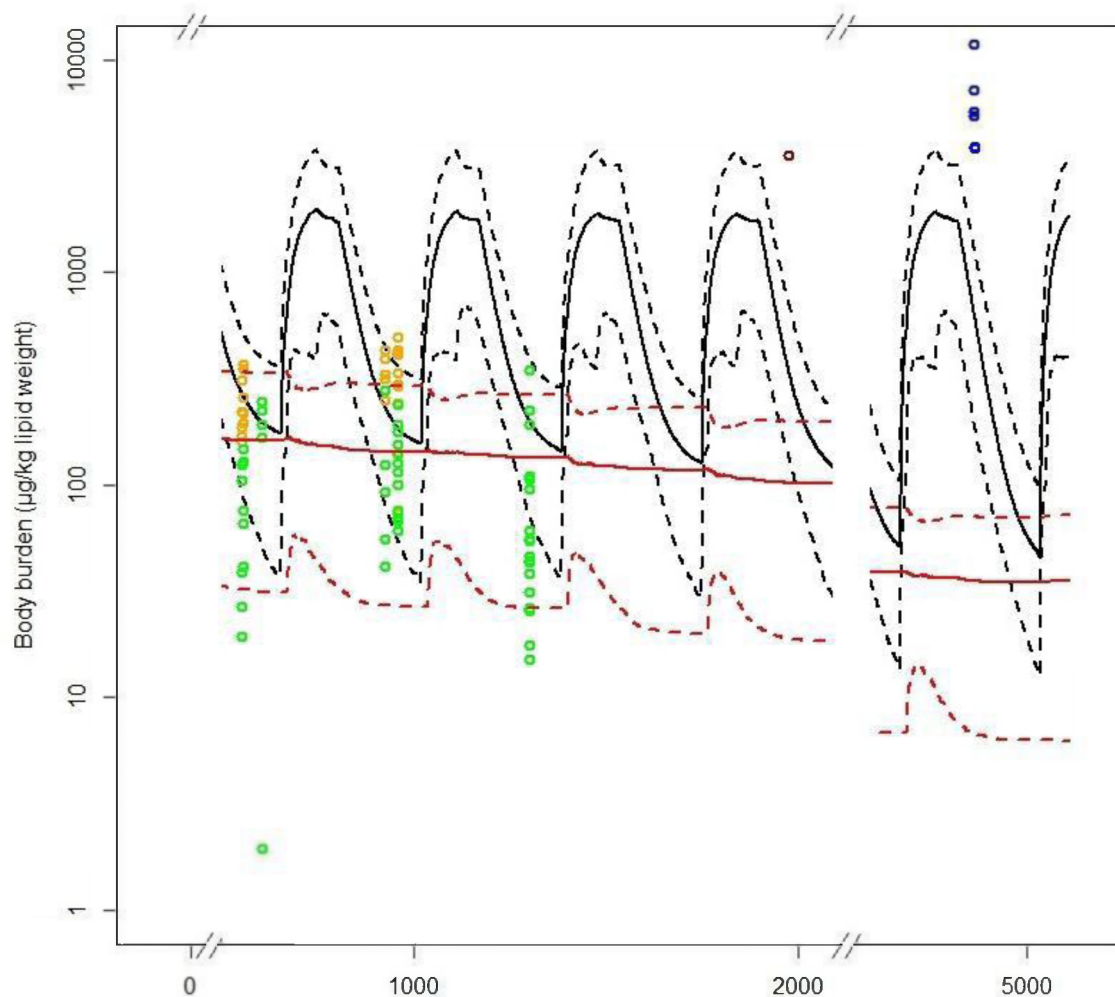
gemeten gedurende de zomers van 1991-1993, bevat voor 5 zeevogelsoorten uit de Barentszee – Eidereend (*Somateria mollissima*), Kortbekzeekoet (*Uria lomvia*), Drieteenmeeuw (*Rissa tridactyla*), Noordse Stormvogel (*Fulmarus glacialis*) en Grote Burgemeester (*Larus hyperboreus*) – een statistisch model en een mechanistisch bioaccumulatiemodel ontwikkeld. Het doel hierbij was om enerzijds via het statistisch model na te gaan of the voorgestelde predictoren (migratie, opportunistische voeding, leeftijd en geslacht) als statistisch significant konden worden weerhouden uitgaande van deze dataset. Vervolgens werd via het mechanistisch model getest of op basis van de processen achter het trofisch niveau, migratie en opportunistische voedingswijzen de gemeten PCB concentraties konden voorspeld worden. Leeftijd en geslacht werden niet geëvalueerd via het mechanistisch bioaccumulatiemodel omdat uit de literatuur onvoldoende gegevens beschikbaar waren om parameters tot op dit niveau te bepalen.

Voor de ontwikkeling van een statistisch model werden 726 datapunten gebruikt voor 6 PCB-congeneren (PCB28, 105, 118, 138, 153 en 180) 3 zeevogelsoorten: Eidereend, Drieteenmeeuw en Grote Burgemeester. De Noordse Stormvogel werd uit de dataset geweerd omwille van het gering aantal individuen ($n=4$) terwijl voor de Kortbekzeekoet geen informatie over de leeftijd en het geslacht beschikbaar was. Het statistisch model werd ontwikkeld op basis van de procedure beschreven door Zuur *et al.* (2007) waarbij initieel geopteerd werd om een lineair model te gebruiken. Gezien in dit model de voorwaarden van een normale verdeling en homogeniteit van de variantie van de residuen voor elke predictor geschonden werd, werd finaal voor een additief model gekozen. Een additief model laat het gebruik van niet lineaire, niet parametrische functies – zogenaamde smoothers – toe om niet lineaire effecten te modeleren.

Mechanistische modellering gebeurde uitgaande van het model van Hendriks *et al.* (1999). Dit model werd aangepast om de predatie op meerdere soorten mogelijk te maken. 5 soorten prooi werden beschouwd: invertebraten, magere vis, vette vis, zeevogels en karkassen van zeezoogdieren waarbij de laatste twee categorieën gebruikt worden om opportunistische voedingswijzen in het model te incorporeren. Op basis van een literatuurstudie werd voor elke soort een dieetsamenstelling bepaald voor zowel zomer en winter. Migratie werd gesimuleerd door de waterconcentratie te wijzigen in functie van de tijd. Waarbij waterconcentraties in overeenstemming waren met deze in de broedgebieden en de overwinteringsgebieden van de respectievelijke soort. Om het effect van migratie te evalueren werden ook simulaties uitgevoerd waarbij de waterconcentratie gelijkgesteld werd aan deze in de Barentszee doorheen het jaar. Ter verifiëring van de modelsimulaties werden de concentraties uit de ICES dataset gebruikt. Echter, dit betrof enkel data uit de zomer, daarom werd in de literatuur gezocht naar concentraties buiten het broedseizoen. Deze konden enkel voor de Drieteenmeeuw gevonden worden. Voor de Noordse Stormvogel werden geen simulaties uitgevoerd wegens het beperkt aantal datapunten beschikbaar uit de ICES dataset voor verifiëring van de simulaties. Om een vergelijking mogelijk te maken met de statistische analyse werden modelsimulaties uitgevoerd voor de PCB-congeneren 28, 105, 118, 138, 153 en 180.

Alle predictoren in het additief model waren significant op een 5% betrouwbaarheidsniveau. Zowel trofisch niveau als migratie en opportunistische voedingswijze werden hoogst significant ($p < 2 \cdot 10^{-16}$) door het model weerhouden. Op basis van de geschatte coëfficiënten blijkt migratie een dubbel zo groot effect te hebben op de PCB lichaamsconcentratie in vergelijking met opportunistische voedingswijze. Deze laatste heeft een effect gelijk aan een stijging in één trofisch niveau. Bovendien is het de voorspelde toename in PCB lichaamsconcentratie per trofisch niveau in overeenstemming met wat reeds in de literatuur gepubliceerd werd. Daarnaast werden ook de predictoren voor intraspecifieke variantie, leeftijd ($p=0.0386$) en geslacht ($p=3.53 \cdot 10^{-5}$), eveneens als significant weerhouden waarbij onvolwassen vogels een lagere lichaamsconcentratie hebben ten opzichte van volwassen en adulte mannetjes een hogere lichaamsconcentratie in vergelijking met adulte vrouwtjes.

De effecten van deze predictoren voor intraspecifieke variatie is echter beperkt ten opzichte van de interspecifieke predictoren migratie en opportunistische voedingswijze.



Simulatie van de PCB lichaamsconcentratie (PCB 138) voor de Drieteenmeeuw (*Rissa tridactyla*). De simulatie waarbij migratie in rekening werd gebracht wordt voorgesteld door de zwarte lijnen terwijl de rode lijnen de simulatie met een constante waterconcentratie doorheen het jaar voorstelt. De mediaan voor alle predicties wordt weergegeven door de volle lijn, het 5- 95% predictie-interval wordt weergegeven door de gebroken lijn. Leverconcentraties uit de ICES dataset worden weergegeven door gele punten, vetconcentraties door groene punten (allen vet genormaliseerd). Data uit de literatuur buiten het broedseizoen worden weergegeven als zwarte punten.

Naast deze 5 predictoren werden ook $\log K_{ow}$ (de octanol-water partiticoëfficiënt, een maat voor de vetoplosbaarheid), de breedtegraad en lengtegraad van staalname, het jaar van staalname en de waterconcentratie in rekening gebracht. Het verloop van de $\log K_{ow}$ en breedtegraad smoother lag volledig in lijn met wat kan verwacht worden op basis van de literatuur. Hierbij heeft $\log K_{ow}$ een lineair effect op de log PCB lichaamsconcentratie voor waarden kleiner dan 7 terwijl dit afneemt voor waarden groter dan 7. Het effect van toenemende waterconcentraties met hogere breedtegraden is dan weer in overeenstemming met de *global fractionation theory*. Lichaamsconcentraties nemen, zoals verwacht kan worden, toe met hogere waterconcentraties terwijl de hogere concentraties in 1992 vermoedelijk te wijten zijn aan klimatologische verschillen tussen de jaren. De oorzaak van het effect van lengtegraad op de interne PCB concentratie is echter onbekend.

Simulaties met het mechanistisch bioaccumulatiemodel tonen aan dat dieetsamenstelling (als proxy voor trofisch niveau) een belangrijke factor is om lichaamsconcentraties te voorspellen. Immers de ICES data werden correct voorspeld voor alle soorten en PCB-congeneren met uitzondering van PCB 28 en 180 die soms respectievelijk te hoog en te laag voorspeld werden. Het belang van opportunistische voeding werd aangetoond via de simulaties voor de Grote Burgemeester. Het veronderstelde dieet dat zeevogels en karkassen van zeezoogdieren bevatte resulteerde in een goede predictie van de PCB lichaamsconcentratie. Zonder het in rekening brengen van

opportunistische voedingswijze zouden lichaamsconcentratie voor de Grote Burgemeester in de zomer sterk gelijkend zijn aan deze voor de Drieteenmeeuw welke ongeveer factor 4 lager liggen en de gemeten waarden dus sterk onderschatten. PCB concentraties buiten het broedseizoen voor de Drieteenmeeuw konden enkel voorspeld worden indien migratie in rekening gebracht werd. Dit duidt op het belang van migratie in het voorspellen van PCB lichaamsconcentraties voor deze soort buiten het broedseizoen waar lichaamsconcentraties een grootteorde hoger liggen. Dit wijst er dus op dat huidige metingen in de zomer geen goede benadering zijn van deze in de winter.

Het combineren van de resultaten voor beide analyses toonde aan dat het huidig onderzoek, louter gebaseerd op de broedgebieden en het trofisch niveau, meer dan waarschijnlijk de PCB concentraties in Arctische Zeevogels onderschat. Er is nood aan een benadering die de volledige levensgeschiedenis in rekening brengt. Migratie is van belang bij het voorspellen van lichaamsconcentraties voor lange afstandstrekkingen. Opportunistische voedingswijzen afzonderlijk in rekening brengen is daarentegen van belang om verhoogde concentraties waargenomen bij soorten die dit gedrag vertonen te kunnen verklaren vermits dit vaak niet kan vastgesteld worden via stabiele isotopen.