

Distr.: General
29 August 2007

Arabic
Original: English

برنامج الأمم المتحدة للبيئة



لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة التابعة
لاتفاقية استكهولم بشأن الملوثات العضوية
الثابتة

الاجتماع الثالث

جنيف، ١٩ - ٢٣ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٧
البند ٩ (أ) من جدول الأعمال المؤقت*

النظر في مشاريع موجزات بيانات المخاطر: الأثير ثنائي البروم
ثنائي الفينيل التجاري

مشروع موجز بيانات مخاطر: الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري

مذكرة الأمانة

١ - اعتمدت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في اجتماعها الثاني المقرر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ٦/٢ بشأن الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري.^(١) وقررت اللجنة بموجب الفقرة ٢ من هذا المقرر تشكيل فريق عامل مخصص لمواصلة استعراض المقترح الخاص بإدراج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري في المرفقات ألف و/أو باء و/أو جيم من الاتفاقية (أنظر الوثيقتين UNEP/POPS/POPRC.2/12 و UNEP/POPS/POPRC.2/INF/4) ووضع مشروع موجز بيانات مخاطر طبقاً للمرفق هاء بالاتفاقية.

٢ - وترد قائمة بأعضاء الفريق العامل المخصص المعني بالإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل ومراقبيه بالمرفق الخامس للوثيقة UNEP/POPS/POPRC.2/17.

* UNEP/POPS/POPRC.3/1/Rev.1

(١) UNEP/POPS/POPRC.2/17، المرفق الأول.

- ٣ - وقد اعتمدت اللجنة في اجتماعها الثاني^(٢) خطة عمل موحدة لإعداد موجز بيانات المخاطر.
- ٤ - وطبقاً للمقرر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ٦/٢ وخطة العمل الموحدة التي اعتمدها اللجنة، قام الفريق العامل المخصص المعني بالإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل بإعداد موجز بيانات المخاطر الوارد في مرفق لهذه المذكرة. ولم يتم تحرير موجز بيانات المخاطر بصورة رسمية.

الإجراءات المحتملة اتخذها من جانب اللجنة:

- ٥ - قد ترغب اللجنة في:
- (أ) أن تعتمد، مع أي تعديلات تراها مناسبة، مشروع موجز بيانات المخاطر الوارد في مرفق لهذه المذكرة؛
- (ب) أن تقرر، وفقاً للفقرة ٧ من المادة ٨ من الاتفاقية، وعلى أساس موجز بيانات المخاطر، ما إذا كان من المحتمل أن تؤدي هذه المادة الكيميائية نتيجة لانتقالها طويل المدى إلى تأثيرات كبيرة ضارة بصحة الإنسان/البيئة بصورة تبرر اتخاذ إجراءات عالمية بشأنها وبالتالي يمضي المقترح قدماً؛
- (ج) أن توافق، طبقاً للمقرر المتخذ في الفقرة (ب) أعلاه:
- ١' أن تدعو جميع الأطراف والمراقبين إلى تقديم المعلومات بموجب المرفق واو بالاتفاقية، وتشكيل فريق عامل مخصص لوضع مشروع تقييم إدارة المخاطر، والاتفاق على خطة عمل لاستكمال المشروع؛ أو
- ٢' إتاحة موجز بيان المخاطر لجميع الأطراف والمراقبين تم حفظه.

(٢) المرجع السابق، الفقرة ٣٦ والمرفق الثاني ألف.

الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري

مشروع موجز بيانات مخاطر

مشروع أعده الفريق العامل المخصص المعني بالإثير ثماني البروم
ثنائي الفينيل التجاري التابع للجنة استعراض
الملوثات العضوية الثابتة
لاتفاقية استكهولم

آب/أغسطس ٢٠٠٧

جدول المحتويات

| | |
|----|---|
| ٥ | موجز تنفيذي |
| ٨ | ١- المقدمة |
| ٨ | ١-١ الهوية الكيميائية للمادة المقترحة |
| | ٢-١ النتيجة التي خلصت إليها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة |
| ١٠ | بشأن المعلومات الواردة في المرفق دال |
| ١١ | ٣-١ مصادر البيانات |
| ١١ | ٤-١ حالة هذه المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية |
| ١١ | ٢- معلومات موجزة مهمة لموجز بيانات المخاطر |
| ١١ | ١-٢ المصادر |
| ١٣ | ٢-٢ المال البيئي |
| ١٣ | ١-٢-٢ الثبات |
| ١٣ | ٢-٢-٢ التراكم الأحيائي |
| ١٦ | ٣-٢-٢ الانتقال البيئي بعيد المدى |
| ١٧ | ٣-٢ التعرض |
| ١٧ | ١-٣-٢ الجو |
| ١٧ | ٢-٣-٢ الماء |
| ١٨ | ٣-٣-٢ الرسوبيات |
| ١٩ | ٤-٣-٢ التربة |
| ١٩ | ٥-٣-٢ مجاري النفايات السائلة ومخلفات المجاري الصلبة |
| ٢٠ | ٦-٣-٢ النبات والحيوان |
| ٢٢ | ٧-٣-٢ التعرض البشري |
| ٢٤ | ٤-٢ تقييم المخاطر عند نهايات سلسلة التفاعل ذات الأهمية |
| ٢٤ | ١-٤-٢ الدراسات التجريبية |
| ٢٧ | ٢-٤-٢ رصد بيانات التأثيرات |
| ٢٧ | ٣- تجميع المعلومات |
| ٣٠ | ٤- بيان الخلاصة |
| ٣١ | المراجع |

موجز تنفيذي

قدم الاتحاد الأوروبي ودوله الأعضاء الأطراف في اتفاقية استكهولم مقترحاً في تموز/يوليه ٢٠٠٦ بإدراج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في المرفق ألف من اتفاقية استكهولم وفقاً للفقرة ١ من المادة ٨ من الاتفاقية، وقد وافقت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة على أن المنتج التجاري الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري (c-OctaBDE) - وهو في الواقع عبارة عن خليط كما سيتبين أدناه - يستوفي معايير الفرز الواردة في المرفق دال من الاتفاقية. ويستعرض موجز بيانات المخاطر المعلومات المتاحة بشأن الخليط التجاري ومكوناته الرئيسية: الإثير ثنائي الفينيل سداسي وسباعي وثنائي وتساعي البروم.

وتستخدم الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بوجه عام كمثبطات لهب من النوع المضاف وهي تتحد فيزيائياً مع المادة المعالجة بدلاً من الاتحاد معها كيميائياً (مثلما هو الحال في مثبطات اللهب التفاعلية). وتغطي المنتجات التجارية العديد من المتجانسات ومستويات البرومة. وتشير المعلومات المقدمة من دوائر صناعة البروم أن الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري كان ينتج في هولندا، وفرنسا، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان، والمملكة المتحدة وإسرائيل، ولكنه توقف إنتاجه منذ عام ٢٠٠٤ في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية والبلدان المطلة على المحيط الهادي ولا توجد أي معلومات تشير إلى أنه يتم إنتاجه في البلدان النامية. وطبقاً لمنتدى علوم البروم والبيئة أنتج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل بشكل تجاري في أواسط سبعينات القرن الماضي تقريباً. وقد وصل الإنتاج من هذه المادة في أوائل الألفينيات إلى أقل من ٤٠٠٠ طن في السنة، وبمرور الوقت توقف الإنتاج فيما أصبح الطلب أقل من ٥٠ طناً؛ وبفرض إنتاج ٦٠٠٠ طن في السنة لمدة ٣٠ سنة إنتاج فإن حجم الإنتاج الكلي يصل إلى نحو ١٨٠ ٠٠٠ طن.

وعلى الرغم من أن الشواهد تشير إلى أن الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري لم يعد ينتج بعد، فإن الإطلاقات أثناء فترة عمل الأشياء المحتوية على الخليط التجاري وفي نهاية فترة عمل هذه الأشياء خلال عمليات التخلص لا تزال موجودة وأبلغت سويسرا عن انبعاثات من استخدام منتجات تحتوي على الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في هذه البلاد قدرها نحو ٠,٣٧ طن/هواء (استناداً إلى تقديرات أشد الحالات سوءاً) بالنسبة لكمية إجمالية تبلغ ٦٨٠ طناً.

وثبات مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في البيئة موثق بشكل جيد. وتمثل مسارات التحلل ذات الصلة المحددة حتى الآن في التحلل الضوئي والتحلل الهوائي والأبيض في الحيوان والنبات فقط ويتم ذلك عبر إزالة البرومة وإنتاج إثيرات أخرى مبرومة ثنائية الفينيل قد تتسم بقدر أكبر من السمية وقدرة أكبر على التراكم الأحيائي.

ويشكل تقييم القدرة على التراكم الأحيائي لمكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري تحدياً رئيسياً في موجز بيانات المخاطر هذا. ولقد أظهر الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل قدرة عالية على التراكم الأحيائي (بما في ذلك القدرة على متوسطة التركيز الأحيائي) وتضخم أحيائي في الشبكة الغذائية، وهو ما يتفق اتفاقاً كاملاً مع معدلات التخلص المبلغه. كما تم رصد تضخم أحيائي في الشبكة الغذائية بالنسبة للإثيرات سباعي البروم ثنائي الفينيل وإن كان على مدى أقل من المتوقع من مكافئ تفريق الماء/أوكتانول، ويمكن تفسير هذه الحقيقة عبر الأيض الناجم عن فترة نصف العمر القصيرة نسبياً (وقد ثبت هذا الأمر من التجارب وفسرهُ المؤلفون من خلال إزالة البرومة). كما أن وجود الإثير ثنائي وسباعي البروم ثنائي الفينيل في النبات والحيوان موثق بشكل جيد وأن كانت قدرتهما على التراكم الأحيائي من الماء والغذاء أقل بكثير من المتوقع من معامل تفرق الماء/أوكتانول لكليهما. ويمكن للتوافر الأقل والأبيض أو كلاهما معاً أن يبررا

هذه الحقيقة. وتزايد باطراد الأوراق العلمية التي تبين عملية إزالة البرومة من الإثير ثماني إلى عشاري البروم ثنائي الفينيل وتحويله إلى إثيرات أخرى متعددة البروم ثنائي الفينيل، ويعد هذا أمراً حاسماً للتقييم حيث يشير إلى أن القدرة الأقل المفترضة على التراكم الأحيائي يمكن أن يكون في الحقيقة نتيجة لاستقلاب الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل المتراكمة أحياناً. ولا يمكن بعد تقديم تقدير كمي وإن كان ثم الإبلاغ بالفعل عن عملية إزالة البرومة بالنسبة للكائنات المائية والثدييات والطيور. ويعد هذا المجال مجالاً نشطاً للأبحاث غير أن النتائج الجديدة تحتاج إلى التقييم من جانب لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة بمجرد ظهورها في المؤلفات ذات الصلة.

وتقدم بيانات رصد الحيوان والنبات في المناطق النائية أفضل دليل على القدرة على الانتقال بعيد المدى لمكونات الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري، والإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل. ويتأكد دور الانتقال الجوي استناداً إلى اكتشافه في بحيرات الألب. وقد تم رصد القدرة على الانتقال بعيد المدى بالنسبة للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل. وقد يرجع عدم تأكيد إمكانيته بالنسبة إلى الإثير ثماني وتساعي ثنائي الفينيل إلى الإسهام النسبي الأقل و/أو الأيض عبر إزالة البرومة.

ولم يتم رصد تأثيرات ذات صلة على الكائنات المائية والرسوبيات والتربة في الدراسات المعملية، بيد أن من الواضح أن نهايات سلسلة التفاعل المقاسة وظروف التعرض المستخدمة في تلك الدراسات غير كافية للخروج بتقييم سليم لمواد كيميائية على غرار الإثير سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل.

وتقدم المعلومات الخاصة بالتدييات والطيور معلومات ذات صلة. ويبلغ أدنى مستوى للتأثيرات الضارة غير الملحوظ المبلغ عنه بالنسبة لنهايات سلسلة التفاعل التقليدية ٢ - ٥ ميلليغرام/كغ وزن جسم/يوم. ولهذا التأثيرات صلة بالصحة والتقييمات الإيكولوجية وبالتالي فهي تفيد في تقييم المخاطر بالنسبة للبشر والحياة البرية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن التأثيرات السمية المناعية وبصفة خاصة تأثيرات السمية العصبية المتأخرة التي تم رصدها بعد جرعة واحدة تحتاج إلى عناية خاصة. وقد تم تقدير التركيز في الجسم بالنسبة للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل - ١٥٣ بنحو ٢٠٠٠ ميكروغرام/كغ؛ وتجدر الإشارة إلى أنه عثر على تركيزات للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل - ١٥٣ تقترب من هذه القيمة في العديد من الأنواع والمواقع الجغرافية فيما تتجاوز التركيزات الإجمالية للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل عادة هذه العتبة بهامش كبير.

ولا يعتبر تقييم المخاطر على الإنسان وعلى البيئة للإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل التجاري المرتبطة بقدرته على الانتقال بعيد المدى عملاً هيناً نظراً لأن المنتج التجاري عبارة عن خليط من مكونات ذات خواص ومظاهر مختلفة حيث يمكنها أيضاً الانطلاق إلى البيئة نتيجة لوجودها كمكون في منتجات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل التجارية الأخرى كما أنها تنتج في البيئة عن طريق إزالة برومة الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل التجاري.

وتبدو الصعوبة الكبرى في تقدير الأخطار المحتملة للخلائط التجارية ومكوناتها. وهناك دراسات تقليدية للسمية الإيكولوجية والسمية لم يتم فيها رصد أي تأثيرات حتى في التركيزات العالية غير المنطقية. غير أن تقييماً عميقاً لهذه الدراسات ينظر بعين الاعتبار بوجه خاص إلى الخواص والحركية السمية للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل يشير إلى أن تصميم الاختبار وظروف التعرض ونهايات سلسلة التفاعل المقاسة في هذه الاختبارات غير مناسبة للخروج بتقييم سليم لمثل هذه الأنواع من المواد الكيميائية. ولذلك ينبغي النظر إلى النقص في التأثيرات المبلغ عنها في هذه الاختبارات بشيء من الحذر. وقد أبلغت دراسات محددة عن أخطار خاصة مثل السمية العصبية المتأخرة والسمية المناعية والتي قد تكون ذات

صلة بوجه خاص بتقييم المخاطر على صحة الإنسان وعلى النظم الإيكولوجية، وعلى الرغم من استحالة التقدير الكمي لهذه التأثيرات فيما يخص المخاطر على صحة الإنسان وعلى النظم الإيكولوجية استناداً إلى مستوى المعلومات الحالي، فإن هذا الأمر قد يكون ممكناً في القريب العاجل إذا تم إنتاج معلومات إضافية سليمة علمياً بمعدلات مماثلة لتلك المنتجة في السنوات الأخيرة.

واستناداً إلى الشواهد الحالية، والشواغل الإضافية المتعلقة بإزالة البرومة إلى إثيرات مبرومة ثنائية الفينيل سامة والأدلة المتزايدة المتعلقة بمقارنة هذه المواد الكيميائية مع الملوثات العضوية الثابتة الأخرى (أوجه التشابه بين الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل والمركبات ثنائية الفينيل متعددة الكلور؛ والعلاقات بينها وبين الديوكسينات والفيورانات)، فإنه طبقاً للمادة ٨، الفقرة ٧ (أ) من الاتفاقية، فإن عدم وجود يقين علمي كامل لا يمنع المقترح من المضي قدماً، ويُستنتج من ذلك أن مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري، من الإثير سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل تؤدي على الأرجح، نتيجة لانتقالها البيئي بعيد المدى، إلى تأثيرات ضارة كبيرة على صحة الإنسان و/أو البيئة. بما يبرر اتخاذ إجراء عالمي لإزائها.

١ - المقدمة

اتفاقية استكهولم عبارة عن معاهدة عالمية لحماية صحة الإنسان والبيئة من الملوثات العضوية الثابتة والمدرج أثنى عشر منها حالياً في الاتفاقية. وتعتبر الملوثات العضوية الثابتة مواداً كيميائية تظل على حالتها في البيئة لفترات طويلة ثم تنتشر جغرافياً على نطاق واسع وتتراكم في الكائنات الحية ويمكنها التسبب في إلحاق الضرر بالإنسان والبيئة. وقد قدم الاتحاد الأوروبي ودوله الأعضاء باعتبارهم أطراف في اتفاقية استكهولم مقترحاً في تموز/يوليه ٢٠٠٦ بإدراج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في المرفق ألف من اتفاقية استكهولم وفقاً للفقرة ١ من المادة ٨ من الاتفاقية وقد وافقت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة على أن المنتج التجاري للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري - وهو في الواقع عبارة عن خليط كما هو موضع أدناه - يفي بمعايير الفرز الواردة في المرفق دال من الاتفاقية.

١-١ الهوية الكيميائية للمادة المقترحة

يختص هذا المقترح بالإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري. وهناك العديد من المكونات في المنتج التجاري لها خواص ومخاطر محتملة مختلفة. لذا يركز موجز بيانات المخاطر هذا على تقييم المكونات الإفرادية للمنتج التجاري ثم التجميع النهائي لتقييم شامل للمنتج التجاري ذاته.

ويعتقد أن ما ينتج من الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري قليل إن كان هناك ما ينتج بالفعل منذ توقف المورد الرئيسي الموجود في أمريكا الشمالية عن الإنتاج في عام ٢٠٠٤. والإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل المورد تجارياً عبارة عن خليط معقد يتكون نمطياً من (طبقاً لبيانات عام ٢٠٠١ داخل الدول الأعضاء بالاتحاد الأوروبي) أقل من أو يساوي ٥,٠ في المائة أيزومرات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل وأقل من أو يساوي ١٢ في المائة أيزومرات الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل وأقل من أو يساوي ٤٥ في المائة من أيزومرات الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل وأقل من أو يساوي ٣٣ في المائة من أيزومرات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل وأقل من أو يساوي ١٠ في المائة من أيزومرات تساعي البروم ثنائي الفينيل وأقل من أو يساوي ٧,٠ في المائة من الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل. وقد يكون تركيب المنتجات الأقدم أو المنتجات في المنتجة في بلدان غير بلدان الاتحاد الأوروبي مختلفاً عن ذلك.

ويباع الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري كدرجة تقنية تحت الرقم المسجل في دائرة المستخلصات الكيميائية (CAS) لأيزومر الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل.

الاسم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية: الإثير ثنائي الفينيل ومشتقات ثنائي البروم (الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل)
(OctaBDE)

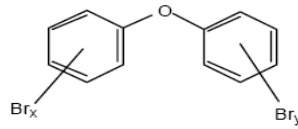
الترادفات: أكسيد ثنائي البروم ثنائي الفينيل؛ ثنائي البروم فينوكس البنزين والبتزين؛ 1,1'-oxybis، ومشتق ثنائي البروم

الرقم في دوائر المستخلصات الكيميائية: 32536-52-0

الصيغة الجزيئية: C12H2Br8O

الوزن الجزيئي: 801.38

التركيب الكيميائي:



كان هناك ثلاثة مثبطات لهب من الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل متاحة على نحو تجاري خلال الفترة الماضية. ويشار إليها بالإثير خماسي وثمانى وعشارى البروم ثنائي الفينيل ولكن كل منتج من الثلاثة عبارة عن خليط من الإثيرات ثنائية الفينيل بدرجات متفاوتة من البرومة. ويوجد مترادفات واختصاصات عديدة للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل وهي مبينة أدناه:

إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ≡ إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل – PBBEs
 أكاسيد متعددة البروم ثنائية الفينيل ≡ أكاسيد متعددة البروم ثنائية الفينيل – PBBOs
 إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ≡ إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل – PBDPEs
 أكاسيد متعددة البروم ثنائية الفينيل ≡ أكاسيد متعددة البروم ثنائية الفينيل – PBDPOs

وسيستخدم الاختصاران PBDE وBDE المسبوق بعدد ذرات البروم (مثل HeptaBDE) في هذه الوثيقة. فيما سيعرف الخليط التجاري بالحرف C (مثل c-OctaBDE).

ويرد في الجدول ١-١ أدناه تركيبات الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل التجارية استناداً إلى عينات تركيبية من موردي الاتحاد الأوروبي. وهذه هي المواد التي كانت تستخدم في الاختبارات الأخيرة واستخدمت كأساس لتقارير تقييم المخاطر الصادرة عن الاتحاد الأوروبي (RAR) للمواد التجارية الثلاث. وقد أبلغ La Guardia وآخرون (٢٠٠٦) مؤخراً عن معلومات إضافية بشأن تركيب الخلائط التجارية.

وبالتالي فإن الخليط التجاري الذي تغطيه هذه الوثيقة عبارة عن مجموعة مؤلفة معقدة من الإيزومرات والمتجانسات على النحو المحدد في لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة. وسيركز موجز بيانات المخاطر هذا على سلسلة السداسي والسباعي والثماني ومتماثلات التساعي في حين يتم تغطية الخماسي ومتماثلات العشارى من خلال الخلائط التجارية الخاصة بكل منها. وتميل المطبوعات العلمية إلى تقديم هويات متجانسات الإثير ثنائي الفينيل متعدد الكلور باستخدام نظام الترقيم القائم على نظام ثنائي الفينيل متعدد الكلور:

- الإثيرات سداسية البروم ثنائية الفينيل (بترين، 1,1'-oxybis، أحد مشتقات سداسي البروم، HexaBDE) (الرقم في دائرة المستخلصات الكيميائية 3-80-68928؛ الرقم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية يقع بين BDE-128 وBDE-169)
- الإثيرات سباعية البروم ثنائية الفينيل (بترين، 1,1'-oxybis، أحد مشتقات سداسي البروم، HeptaBDE) (الرقم في دائرة المستخلصات الكيميائية 0-60-36483؛ الرقم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية يقع بين BDE-170 وBDE-193)

- الإثيرات ثمانية البروم ثنائية الفينيل (بترين، 1,1'-oxybis، أحد مشتقات سداسي البروم، OctaBDE) (الرقم في دائرة المستخلصات الكيميائية 0-52-32536؛ الرقم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية يقع بين BDE-194 و BDE-205)
- الإثيرات تساعية البروم ثنائية الفينيل (بترين، 1,1'-oxybis، أحد مشتقات سداسي البروم، NonaBDE) (الرقم في دائرة المستخلصات الكيميائية 1-56-63936؛ الرقم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية يقع بين BDE-206 و BDE-208)

الجدول ١-١ تركيب الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل كما هو مبين في تقارير تقييم المخاطر الصادرة عن الاتحاد الأوروبي

| النسبة المئوية لتركيب المنتج التجاري | | | | المكون |
|--------------------------------------|--------|--------|------|-----------------------------------|
| عشاري- | ثماني- | خماسي- | | |
| ١٩٩٧ | ١٩٩٧ | ٢٠٠٠ | ١٩٩٧ | |
| | | ٠,٢٣ | | الإثير ثلاث البروم ثنائي الفينيل |
| | | ٣٦,٠٢ | ٣٣,٧ | الإثير رباعي البروم ثنائي الفينيل |
| | | ٥٥,١٠ | ٥٤,٦ | الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل |
| | ٥,٥ | ٨,٥٨ | ١١,٧ | الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل |
| | ٤٢,٣ | | | الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل |
| ٠,٠٤ | ٣٦,١ | | | الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل |
| ٢,٥ | ١٣,٩ | | | الإثير تساعي البروم ثنائي الفينيل |
| ٩٧,٤ | ٢,١ | | | الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل |

لقد تم بالفعل مناقشة التعقيد بالنسبة لوضع موجز بيانات مخاطر خليط معقد من جانب لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة فيما يتعلق بالخليط التجاري من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل. ولا توجد مجموعة بيانات كاملة لإنجاز موجز بيانات مخاطر بالنسبة للخليط التجاري أو مكوناته الإفرادية. لذا تم إدراج القدر المتاح من المعلومات في موجز بيانات المخاطر هذا. وقد كانت المعلومات شحيحة بوجه خاص بالنسبة للإثيرات من سباعي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل ولكن هناك اهتمام متزايد في المجتمع العلمي لتغطية هذه المتجانسات. ولا يزال التقدير الكمي غير ممكن هذه الأيام ولكنه قد يكون ممكناً في القريب العاجل في حال إنتاج معلومات إضافية سليمة علمياً بمعدل مماثل لما تم إنتاجه في السنوات الأخيرة.

٢-١ النتيجة التي خلصت إليها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة بشأن المعلومات الواردة في المرفق دال

قامت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة بتقييم المعلومات الواردة في المرفق دال وخلصت إلى أن المقترح يفرض متطلبات المادة ٨ والمرفق دال من الاتفاقية (مقرر لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة - ٦/٢).

٣-١ مصادر البيانات

كان كل من تقرير تقييم المخاطر للاتحاد الأوروبي (EC, 2003)، والتقييم الكندي (Environment Canada, 2004)، ومقتطفات من تقرير منظمة الصحة العالمية (١٩٩٤) هم المصدر الرئيسي للمعلومات التي استخدمتها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في فرز المرفق دال. وقد قدمت معلومات أخرى من كندا والجمهورية التشيكية وألمانيا واليابان وليتوانيا والنرويج وسويسرا وتركيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية ومن منظمة غير حكومية وهي صندوق الصحة البيئية بالنيابة عن الشبكة الدولية للتخلص من الملوثات العضوية الثابتة (IPEN) ومن المنظمة الصناعية، منتدى علوم البروم والبيئة، علاوة على ما تم أثناء الفترة التشاورية. وبالنظر إلى كم المعلومات العلمية الجديدة الضخمة الذي ينتج هذه الأيام تم عمل استعراض للمؤلفات العلمية الجديدة وتم استخدامه كمصدر أساسي للبيانات في هذا التقرير.

٤-١ حالة هذه المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية

- اتفاقية حماية البيئة البحرية لشرق المحيط الأطلسي OSPAR: تم إدراج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في قائمة المواد المنتقاة بقوائم اتفاقية OSPAR (رقم ٢٣٦). وفي إطار القائمة المراجعة أدرج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل تحت القسم جيم - ويخص المواد التي تم تعليقها لأنه لا يتم إنتاجها و/أو استخدامها في مناطق نفوذ اتفاقية OSPAR أو تستخدم في نظم محتواه بشكل واف بما يجعلها لا تشكل تهديداً للبيئة البحرية.
- لجنة الأمم المتحدة الاقتصادية لأوروبا UNECE، الاتفاقية المعنية بانتقال تلوث الهواء العابر للحدود بعيد المدى (LRTAP) وبروتوكولها المعني بالملوثات العضوية الثابتة (POPs): يجري النظر في إدراج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري طبقاً لإجراءات البروتوكول.

٢-٢ معلومات موجزة مهمة لموجز بيانات المخاطر

١-٢ المصادر

تشير المعلومات المقدمة من دوائر صناعة البروم إلى أن المنتج التجاري كان ينتج في هولندا وفرنسا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان وإسرائيل ولكنه لم يعد ينتج منذ عام ٢٠٠٤ في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية والمناطق المطلة على المحيط الهادي ولا توجد معلومات تشير إلى أنه يتم إنتاجه في البلدان النامية. وتستخدم الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل بوجه عام كمثبطات للهب من النوع المضاف. حيث يتم اتحادها فيزيائياً مع المادة المعالجة بدلاً من اتحادها معها كيميائياً (مثلما هو الحال في مثبطات اللهب التفاعلية). ويعني ذلك أن هناك قدرة على انتشار مثبط اللهب خارج المادة المعالجة لمسافة معينة. وتشير دوائر الصناعة إلى أن الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل يستخدم عادة بالتوافق مع ثالث أكسيد الأنتيمون. وفي أوروبا، يستخدم هذا الإثير أساساً في بولمرات الاكربولونتريل - بيتادين - سترين (ABS) بنسبة وزن ١٢ - ١٨ في المائة في المنتج النهائي. ويستخدم ٩٥ في المائة من إجمالي الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل المورد في الاتحاد الأوروبي في بولمرات (ABS). وتشمل الاستخدامات الفرعية الأخرى والتي تمثل النسبة الباقية ٥ في المائة بولمرات البولي سترين عالي التأثير (HIPS) والبولي بيوتيلين تيرافثالات (PBT)

والبولي أميد ونسب وزن نموذجية بين ١٢ - ١٥ في المائة في المنتج النهائي. وفي بعض التطبيقات تتحد مثبطات اللهب مع البولمر لتكوين كريات (خليط مطاط ولدائن) بنسب أعلى قليلاً من مثبطات اللهب. وتستخدم هذه الكريات فيما بعد في خطوة لمعالجة البولمر لإنتاج منتجات بنسب مماثلة للنسب الواردة أعلاه.

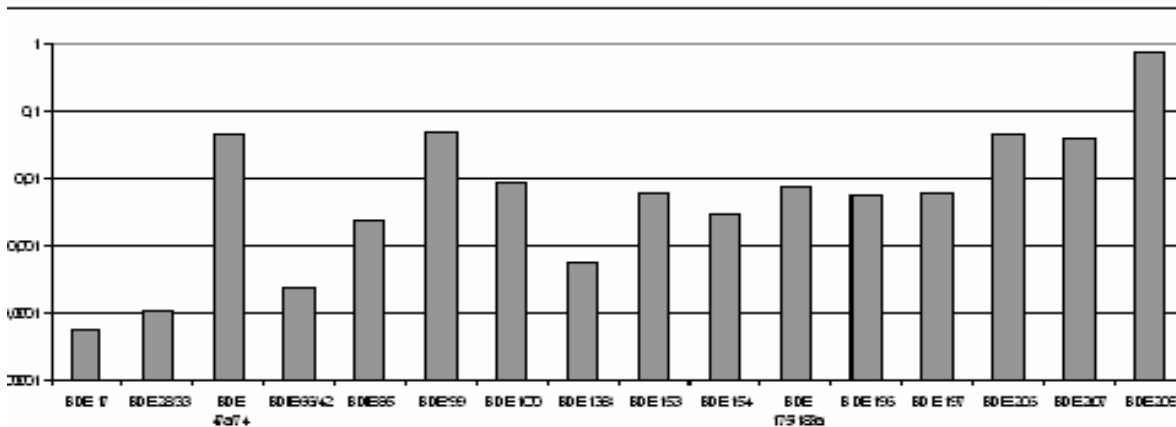
وتستخدم المنتجات من البولمرات الموهنة بالنسبة للهب نمطياً في اللعب الخارجية لمعدات المكاتب وماكينات الأعمال التجارية. وتشمل الاستخدامات الأخرى المبلغ عنها بالنسبة للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل النايلون والبولي إيثيلين منخفض الكثافة (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٤) والبولي كربونات وراتنجات الفينول - نورمالدهايد والبوليستر غير المشبع (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ١٩٩٤) وفي المواد اللاصقة وطبقات الطلاء (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٤).

وبفرض أن الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري لم يعد ينتج بعد، فإن الإطلاقات إلى البيئة لا بد وأن تكون مرتبطة بالعمليات التي تمت في الماضي إضافة إلى الإطلاقات خلال فترة عمل الأصناف المحتوية على الخلائط التجارية وفي نهاية فترة عمل وعمر هذه الأصناف أثناء عمليات التخلص. ويوفر استعراض المعلومات المقدم من لاجوارديا وآخرون (٢٠٠٦) تقديرات للمساهمة النسبية لكل منتج في أسواق مختلفة وخلال فترات زمنية متباينة. ومن أمثلة ذلك، يعرض الشكل ١-١ حسابات خاصة بالمنتجات التجارية الأوروبية في عام ٢٠٠١.

وعلى الرغم من وجود بعض الأرقام بشأن إنتاج سنوي من هذا الخليط، لا توجد قيم دقيقة بشأن كمية الثماني التجاري و/أو المتماثلات الإفرادية في الأصناف الموجودة في الخدمة ويتم التخلص منها على الصعيد العالمي، ولكن بالنظر إلى الرقم المقدر من الإنتاج والبالغ ٦ ٠٠٠ طن/سنة (منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٤) فإنه ينبغي توقع كمية إجمالية في حدود ١٠^٠ - ١٠^٦ طن. وطبقاً لمنتدى علوم البروم والبيئة، فإن الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل تم طرحه تجارياً في منتصف سبعينات القرن الماضي تقريباً. وبحلول أوائل الألفينيات وصل الإنتاج إلى أقل من ٤ ٠٠٠ طن/سنة وبمرور الوقت توقف الإنتاج وقدر الطلب بأقل من ٥٠٠ طن. وعلى هذا وبفرض ٣٠ عاماً من الإنتاج بمعدل ٦ ٠٠٠ طن في السنة نحصل على ١٨٠ ٠٠٠ طن وهذا الرقم في حدود المدى المعروض.

الشكل ١-١ المساهمة النسبية المقدرة لمنتجات الإثيرات المبرومة ثنائية الفينيل في المنتجات في الأسواق الأوروبية في عام ٢٠٠١. وقد تم حسابها من البيانات التي نشرها لاجوارديا وآخرون، ٢٠٠٦. يرجى مراعاة القياس اللوغاريتمي.

المساهمة النسبية للإثيرات متعددة البروم ثنائية البروم ثنائية الفينيل في المركبات التجارية الأوروبية من عام ٢٠٠١



وقد أبلغ مورف وآخرون (٢٠٠٢)، عن انتشار انبعاثات في سويسرا من جراء استخدام منتجات تحتوي على الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل تقدر بنحو ٠,٣٧ طن/هواء (استناداً إلى تقديرات الحالة الأسوأ) لإجمالي مخزون قدره ٦٨٠ طناً.

٢-٢ المال البيئي

١-٢-٢ الثبات

يتوقع عدم حدوث تحلل أحيائي هوائي للإثيرات من سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل استناداً إلى تقديرات شبكة BOWIN كاستثناء بالنسبة للتحلل الأحيائي كما أنه لا يحدث تحلل استناداً إلى امتصاص الأكسجين لمدة ٢٨ يوماً في قنينة اختبار مغلقة (OECD 301D).

وأبلغ جيريك وآخرون (٢٠٠٥) عن تحلل للإثير تساعي البروم ثنائي الفينيل ٢٠٦ و ٢٠٧ والإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل إلى إثيرات ثمانية البروم ثنائية الفينيل في ظروف لاهوائية باستخدام تربة من رواسب المحاري وقد تأكد هذا التحلل في دراسات أخرى (جول وآخرون، ٢٠٠٦؛ وهي وآخرون، ٢٠٠٦).

وتتوقع شبكة AOPWIN فترات نصف عمر للتفاعل مع جذور الهيدروكسيل الجوي تتراوح من ٤,٣٠ إلى ١٦١ يوماً للإثيرات من سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل على التوالي. إلا أنه يتوقع امتصاص الإثيرات من سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل في الجو بواسطة الجسيمات العالقة في الهواء ثم تترع عبر الترسيب الرطب و/أو الجاف ويلاحظ أن فترات نصف العمر المتوقعة لم يتم إثباتها تجريبياً وإنما تقدم للأغراض المرجعية.

وقد تمت دراسة التحلل الضوئي للعديد من الإثيرات المبرومة ثنائية الفينيل في مصفوفات مختلفة مثل ميثانول/ماء ٨٠:٢٠ (إريكسون وآخرون، ٢٠٠١) حيث تم تعريض أنبوب من البولي إثيلين محكم الغلق لضوء الشمس الطبيعي لما يقرب من ١٢٠ دقيقة بيترمان وآخرون، ٢٠٠٣) أو ماء (سانشيز برادو وآخرون، ٢٠٠٦)؛ وبوجه عام كان التحلل أسرع بالنسبة للإثيرات ثنائية الفينيل الأعلى في البرومة منها في المتجانسات الأقل برومة. وقد أفاد (رين وآخرون، ٢٠٠٦) بفترة نص عمر كيميائية ضوئية قصيرة للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣ في النظم المائية مع عملية تحلل ضوئية مائية سريعة لإزالة البرومة له وتحويله إلى بعض المتجانسات الأكثر شيوعاً من الإثير خماسي ورباعي البروم ثنائي الفينيل.

٢-٢-٢ التراكم الأحيائي

تختلف القدرة على التراكم الأحيائي اختلافاً كبيراً فيما بين مكونات الخليط التجاري وللتيسير سيتم تقديم التقييم الخاص بعمليات التراكم الأحيائي المختلفة لكل مكون على حدة.

١-٢-٢-٢ التركيز الأحيائي من الماء

يعتقد أن التركيز الأحيائي من الماء ذو صلة فقط بالإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل. وقد قامت المملكة المتحدة بإعادة تحليل بيانات التركيز الأحيائي الصادرة عن المعهد الكيميائي للتفتيش والاختبار وتوصلت إلى معاملي تركيز أحيائي يصلان إلى ٥,٦٤٠ لتر/كغ و ٢,٥٨٠ لتر/كغ تقريباً للمكونين D و E (كلاهما إثير سداسي البروم ثنائي الفينيل).

وقد تم الإبلاغ عن قيم لمعامل التركيز الأحيائي بالنسبة لسماك الشبوط (الجماعة الأوروبية، ٢٠٠٣). وبفرض أن التركيزات الفعلية لمكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري عند أو بالقرب من القيمة المبلغت لتحلل المادة في الماء والتي تبلغ ٠,٥ ميكروغرام/لتر فإن معامل التركيز الأحيائي للإثيرات ثنائي البروم ثنائي الفينيل يكون أقل من ٩,٥؛ ويكون بالنسبة للإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل أقل من ١,١ - ٣,٨ تقريباً وبالنسبة للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري يكون المعامل أقل من ١٠ - ٣٦ تقريباً. وقيم معامل التركيز الأحيائي تلك أقل مما هو متوقع من قيم معامل فصل الأكتانول عن الماء للمادة ويمكن تفسير ذلك على أنه نتيجة لانخفاض التوافر الأحيائي أو الأيض أو كليهما.

٢-٢-٢-٢ التراكم والتضخم الأحيائيان من جراء تعرض الغذاء

يتوقع أن يكون التعرض بالبلع عن طريق الفم هو أكثر مسارات التعرض صلة بالنسبة لهذه المواد الكيميائية وقد أبلغ فان بيوسكوم وآخرون (٢٠٠٦) عن معاملات تراكم في رسوبيات نباتية وحيوانية بين ١ و ٣ بالنسبة للإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل في صنفين من أسماك المياه العذبة في إسبانيا وكان الاستنتاج أن ١٠٠ في المائة من التعرض يرتبط بالغذاء أو بالغذاء زائد الرسوبيات بالنسبة للسماك الأبيض (*Alburnus alburnus*) وسماك البريس (*Barbus graellsii*) على التوالي.

وتم تقييم الانتقال والتراكم بالنسبة للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل عن طريق تجربة تغذية مقننة لأسماك مزارع من نوع سلمون الأطلسي (*Salmo salar*). وكان ٩٥ في المائة في المتوسط من إجمالي محتوى الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في الغذاء المتراكم في السلمون ككل عبارة عن إثير سباعي البروم ثنائي الفينيل (إيزوزاري وآخرون، ٢٠٠٥).

وقد ظهرت القدرة على التضخم الأحيائي بالنسبة للإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل (بيرو وآخرون، ٢٠٠٤؛ ٢٠٠٦؛ وسورمو وآخرون، ٢٠٠٦؛ وتومي وآخرون، ٢٠٠٤) كما ظهرت نفس القدرة مؤخراً بالنسبة للإثير عشاري ثنائي الفينيل (لو وآخرون، ٢٠٠٦).

ولم يتم رصد التضخم الأحيائي في الشبكة الغذائية بالنسبة للإثير ثنائي وسباعي البروم ثنائي الفينيل في نظام إيكولوجي مائي ولكن تم اكتشاف المتجانسات في النبات والحيوان بدءاً من العوالق البحرية إلى أصناف الأسماك (بيرو وآخرون، ٢٠٠٦).

٣-٢-٢-٢ التراكم الأحيائي من جراء التعرض للرسوبيات

أبلغ سيباريس وهال (٢٠٠٥) عن تراكم أحيائي سريع للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل في الديدان الحلقيّة المائية (*Lumbriculus variegates*) عن طريق التعرض عبر الرسوبيات مع اختلافات بين الإيزومرات وفي مسار التلوث. كما تم رصد معامل تراكم للرسوبيات النباتية والحيوانية قدره ٩,١ ± ١,١ بالنسبة إلى الإثير المبروم ثنائي الفينيل ١٥٤ وتم رصد أقصى قيمة للتركيزات في اليوم ١٥ وكان ثابت معدل التطهير نحو ٠,٠٣٢ ± ٠,٠١٦ يوم^{-١}.

٤-٢-٢-٢ الحركية السمية والعلاقة بالأيض

يمكن حساب القدرة على التراكم الأحيائي والتضخم الأحيائي لهذا النوع من الجزئيات باستخدام نماذج الحركية السمية استناداً إلى الأيض والتخلص. وتثير الاختلافات بين الإيزومرات والعمليات المبلغ عنها لإزالة البرومة المزيد من عدم اليقين عند استعراض البيانات الميدانية.

وقد توصل ستابلتون وآخرون (٢٠٠٤) في دراسة غذائية على أسماك الشبوط إلى معدلات تطهير بقيمة 0.051 ± 0.036 يوماً⁻¹ وكفاءة امتصاص قيمتها ٤ في المائة ± 3 للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣. ولاحظ ستابلتون وبيكر (٢٠٠٣) وستابلتون وآخرون (٢٠٠٤ب) في دراسات غذائية على سمك الشبوط الشائع (*Cyprinus carpio*) عملية واضحة وسريعة لإزالة برومة الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل ١٨٣ إلى الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٤ وأيزومر آخر غير معروف من الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل داخل الأنسجة المعوية لسمك الشبوط بعد تناوله واستهلاكه لغذائه. وقد ثبت في دراسات مختبرية حدوث إزالة برومة ميكروسومية في الأسماك (ستابلتون وآخرون، ٢٠٠٦).

وقام تومي وآخرون (٢٠٠٤) بتعرض أسماك تروته من بحيرة جوفينيل (*Salvelinus namaycush*) لثلاثة تركيزات غذائية من ١٣ متجانساً للإثيرات المبرومة ثنائية الفينيل (٣-١٠ ذرات بروم) في المختبر لمدة ٥٦ يوماً وأعقبها ١١٢ يوماً بغذاء نظيف. وقد كانت فترات نصف العمر (t1/2's) لبعض متجانسات الإثير المبروم ثنائي الفينيل (مثل المتجانسان ٨٥ و١٩٠) أقل بكثير من المتوقع استناداً إلى مكافئ تفريق الماء من الأوكتانول لهذين المتجانسين، في حين كانت فترات نصف العمر للمتجانسات الأخرى للإثير المبروم ثنائي الفينيل (مثل المتجانسات ٦٦ و٧٧ و١٥٣ و١٥٤) أطول بكثير من المتوقع استناداً إلى مكافئ تفريق الماء عن الأوكتانول لتلك المتجانسات. ويفسر ذلك بعملية إزالة البرومة. وقد كان اكتشاف ثلاثة متجانسات للإثير المبروم ثنائي الفينيل (متجانس غير معروف للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل والمتجانس ١٤٠ ومتجانس غير معروف للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل) في أسماك لم تكن ضمن عملية التغذية أو ضمن أسماك خاضعة للمراقبة دليلاً آخر على إزالة البرومة للإثيرات المبرومة ثنائية الفينيل.

ولقد تمت دراسة دور مستويات التعرض في معدلات التخلص للعديد من المواد الكيميائية بما فيها الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣ من جانب مختبر LPTC، جامعة بوردو I ومختبر INIA للسمية الأيكولوجية ضمن سياق مشروع ECO-1AINIA-1100 التابع لأبحاث LRI-Cefic. وقد تم الحصول على معدلات تطهير لكل من سمك الإبراميس *Sparus aurata* وبلح البحر الأزرق *Mytilus edulis* (الونسو وآخرون، ٢٠٠٦).

كما تم اكتشاف إزالة البرومة للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الثدييات مثل تكون للإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري في الجرذان (كيو وآخرون، ٢٠٠٧) وتكون الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل في الأبقار (كيركيغارد وآخرون، ٢٠٠٧).

وأفادت دراسة حديثة (درويلارد وآخرون، ٢٠٠٧) عن ثابت المعدل التطهير للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل قدره 0.016 يوماً⁻¹ في صقر أمريكي يافع (*Falco sparverius*) مع الاحتفاظ بحوالي ٥٠ في المائة من الجرعة المعطاة.

واستخدم فان دين ستين وآخرون (٢٠٠٧) أنسجة حية مزروعة سيلوستيكياً لتعرض طائر الزرزور الأوروبي (*Sturnus vulgaris*) للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل ٢٠٩ ووجدوا متجانسات للإثير الثماني البروم ثنائي الفينيل (١٩٦ و١٩٧) والإثيرات تساعي البروم ثنائي الفينيل (٢٠٦ و٢٠٧ و٢٠٨) في العضلات والكبد إضافة إلى الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل ٢٠٩ وهو ما أعطى مؤشرات على إزالة البرومة في الطيور.

٢-٢-٥ تقييم متكامل للقدرة على التراكم الأحيائي

تبين أن هناك قدرة كبيرة على التراكم الأحيائي (بما في ذلك قدرة متوسطة على التركيز الأحيائي) والتضخم الأحيائي في الشبكة الغذائية للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل؛ وهي تتسق تماماً مع معدلات التخلص المبلغة. كما ثبت حدوث تضخم أحيائي في الشبكة الغذائية بالنسبة للإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل وإن كان على مدى أقل من المتوقع من مكافئ فصل الماء عن الأوكتانول؛ ويمكن تفسير ذلك بأن مرجعه الأبيض الناتج في فترة نصف عمر قصيرة نسبياً (ثبت ذلك تجريبياً وأرجعه المؤلفون إلى إزالة البرومة).

ووجود الإثير ثنائي وتساعي البروم ثنائي الفينيل في الحيوان والنبات موثق بشكل جيد ولكن القدرة على تراكمهما أحيائياً من الماء والغذاء أقل بكثير من المتوقع من مكافئ فصل الماء عن الأوكتانول لكليهما. ويمكن للتوافر الأحيائي أو الأبيض أو لكليهما معاً تبرير هذه الحقيقة. وتزايد باطراد أعداد الورقات العلمية التي تثبت إزالة برومة الإثير ثنائي وتساعي البروم ثنائي الفينيل إلى إثيرات أخرى متعددة البروم ثنائية الفينيل؛ ويعد هذا أمراً حاسماً للتقييم حيث يشير إلى أن القدرة المنخفضة المفترضة على التراكم الأحيائي يمكن أن تكون في الواقع نتيجة للاستقلاب إلى إثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل متراكمة أحيائياً. ولا يمكن حتى الآن تقديم تقدير كمي وإن كان تم الإبلاغ بالفعل عن عملية إزالة البرومة بالنسبة للكائنات المائية والثدييات والطيور.

٢-٢-٣ الانتقال البيئي بعيد المدى

يعتبر وجود مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في المناطق النائية (مثال ذلك المعلومات الواردة من قاعدة معلومات النرويج وقاعدة معلومات النرويج ٢؛ وقاعدة معلومات كندا ٢؛ وقاعدة معلومات سويسرا ٢؛ وقاعدة معلومات اليابان) أفضل دليل على قدرة هذه المواد الكيميائية على الانتقال البيئي بعيد المدى. وحيث أنه ثبت حدوث إزالة البرومة في البيئة وفي الحيوان والنبات فإنه يمكن افتراضاً تفسير وجود الإثيرات من سداسية إلى تساعية البروم ثنائية الفينيل إلى إنه يرجع إلى الانتقال بعيد المدى للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل وما يستتبعه من إزالة البرومة، بيد أنه من غير المرجح إلى حد كبير افتراض حدوث الانتقال بعيد المدى للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل فقط وليس للمتجانسات التساعية والسداسية أيضاً.

وقد أظهرت تنبؤات النماذج السابقة قدرة منخفضة على الانتقال الجوي بعيد المدى للإثيرات ثنائية الفينيل عالية البرومة. (ومثال ذلك ما أورده واينا ودوغان، ٢٠٠٣). بيد أن بريفيك وآخرون، (٢٠٠٦) أفادا في ورقة حديثة أن المواد الكيميائية سواء الممتص منها في الجسيمات والثابت في الجو مثل المتجانس BDE-209 قد يكون لها قدرة أكبر على الانتقال البيئي عما هو متوقع استناداً إلى تقديرات النماذج السابقة. ويمكن أن ينطبق هذا التفسير أيضاً على مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري.

وقام وايمان وآخرون (٢٠٠٧) مؤخراً بتطبيق وسيلة فرز النبات Pov والقدرة على الانتقال البيئي بعيد المدى LRTP خاصة منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي على الملوثات العضوية الثابتة المرشحة للإدراج في مرفقات الاتفاقية في الوقت الراهن بما في ذلك الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل. وأشار المؤلفون إلى أنهم يعتقدون أن قيم خواص المادة بالنسبة للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري الواردة في نموذج واينا ودوغان (٢٠٠٣) أكثر دقة من القيم الواردة

في وثائق لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة ومن ثم أدرجوا قيم نموذج وانيا ودوغاني في التحاليل التي قاموا بها بشأن عدم اليقين باستخدام طريقة تحليل مونت كارلو. وعلى الرغم من وجود قدر كبير من عدم اليقين فقد أشارت النتائج إلى أن للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري خاصية ثابتة Pov وقدرة على الانتقال بعيد المدى LRTP تماثل قرينيهما في العديد من الملوثات العضوية الثابتة المعروفة.

٢-٣-٢ التعرض

٢-٣-٢-١ الجو

قام ستراندبرغ وآخرون (٢٠٠١) بتحليل عينات هواء من مواقع حضرية وريفية ونائية في الولايات المتحدة بالقرب من البحيرات العظمى. وقد تراوحت الكمية المتوسطة الكلية لمتحسسات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل (أي مجموع المتحسسات ١٥٣ و ١٥٤ و ١٩٠) الموجودة في العينات من ٠,٢ إلى ٠,٩ بيكوغرام/م^٣ تقريباً.

وقام بيرغاندر وآخرون (١٩٩٥) بتحليل عينات هواء من منطقتين في السويد بعيدتين عن أماكن الصناعة، وعثر على الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل والإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل في الصورة الهوائية للعينات.

وفي دراسة للرصد أجريت في المناطق الساحلية من كوريا لمدة سنة، تم العثور على ٢٠ متجانساً إفرادياً من الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في عينات جوية جمعت من مواقع حضرية وشبه حضرية وريفية. وكان متجانس الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل (BDE 209) هو السائد (أقل من ٩٣ في المائة). وتراوحت التدفقات التحليلية بين ١٠,١ إلى ٨٩ ميكروغرام/سنة (مون وآخرون، ٢٠٠٧). وفي شمال غرب الصين كانت القياسات الخاصة بالإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل ككل (٨,٣ ± ٤ بيكوغرام/م^٣) في العينات التي تم جمعها عند مرصد والنغوان الأساسي (من نيسان/أبريل إلى أيار/مايو ٢٠٠٥) في نفس مستوى تركيزات المناطق النائية الأخرى (تشيغ وآخرون، ٢٠٠٧).

كما تم اكتشاف الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل عبر المحيط الهندي (بمتوسط تركيزات ٢,٥ بيكوغرام/م^٣) وعبر الخط الساحلي بجاوة، إندونيسيا (بقيم تبلغ ١٥ بيكوغرام/م^٣). ويقترح إجراء تحليل لمسار عودة الهواء بشأن قدرة الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل على الانتقال الجوي بعيد المدى من مناطق بعيدة من جهات تتسم بالصبغة الصناعية بشكل أكبر. (وارك وآخرون، ٢٠٠٦).

وأبلغ وانغ وآخرون (٢٠٠٥) عن تركيزات جوية لمكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في عدد كبير من المواقع النائية كما يمكن العثور على مزيد من المعلومات عن وجود الإثير من خماسي إلى سباعي البروم ثنائي الفينيل في الهواء في العديد من المواقع بورقة الاستعراض المقدمة من وايت وآخرون (٢٠٠٦).

٢-٣-٢-٢ الماء

قام لوكي وآخرون (٢٠٠٢) بقياس تركيزات إجمالية للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل (من متجانسات الإثير أحادي إلى سباعي البروم ثنائي الفينيل) تقدر بنحو ٦ بيكوغرام/لتر في المياه السطحية لبحيرة أونتاريو في عام ١٩٩٩، مع مساهمة من كل من متجانس الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل BDE153 و BDE154 بنحو من ٥ إلى ٨ في المائة من الإجمالي.

ولم يتم اكتشاف الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري في عام ١٩٨٧ في ٧٥ عينة من مياه سطحية في اليابان عند حد اكتشاف قدره ٠,١ ميكروغرام/لتر أو في عام ١٩٨٨ في ١٤٧ عينة من المياه عند حد اكتشاف قدره ٠,٠٧ ميكروغرام/لتر (وكالة البيئة اليابانية ١٩٩١). وطبقاً لبيانات الجماعة الأوروبية (٢٠٠٣) تعتبر التركيزات ممثلة للمناطق الصناعية والحضرية والريفية في اليابان ولكنه ليس معروفاً ما إذا كان أي من مواقع أخذ العينات مجاوراً لموقع إنتاج إثير متعدد البروم ثنائي الفينيل أو لموقع لمعالجة البولمرات.

٢-٣-٣ الرسوبيات

تراوحت تركيزات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في رسوبيات المملكة المتحدة من أقل من ٠,٤٤ إلى ٣٠,٣٠ ميكروغرام/كغ وزن جاف (اولتشن وآخرون، ١٩٩٩؛ ولو وآخرون، ١٩٩٦؛ ووكالة البيئة بالمملكة المتحدة، ١٩٧٧). وقد كانت أعلى مستويات التركيز في رسوبيات نفايات سائلة من مستودع يخزن فيه الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري. كما تم اكتشاف الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري في ثلاث من بين ٥١ عينة لرسوبيات من اليابان في عام ١٩٨٧ بتركيزات تتراوح من ٨ إلى ٢١ ميكروغرام/كغ (حد الاكتشاف قيمته ٧ ميكروغرام/كغ؛ ولم يحدد ما إذا كان الوزن الرطب أو جاف) وفي ثلاث من بين ١٣٥ عينة تم جمعها في عام ١٩٨٨ بتركيزات تتراوح من ١٥ إلى ٢٢ ميكروغرام/كغ (قيمة حد الاكتشاف ٥ ميكروغرام/كغ؛ ولم يحدد ما إذا كان الوزن الرطب أم جاف) (وكالة البيئة باليابان ١٩٩١).

وعرض كوليتش وآخرون (٢٠٠٤) مستويات للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في رسوبيات من روافد تصب في بحيرة أونتايبو ومنطقة لمخلفات مجاري صلبة في جنوب أونتاريو. وتراوحت الكمية الإجمالية المقاسة للإثيرات سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل (أي الإثير ثنائي الفينيل المبروم ١٣٨ و ١٥٣ و ١٥٤ و ١٨٣) في عينات لرسوبيات أخذت من ١٤ موقعاً رافداً (تم الإبلاغ عن ٦ مواقع منها فقط) من ٠,٥ إلى ٤ ميكروغرام/كغ وزن جاف تقريباً.

وقد تحددت النزعات السابقة للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في الرسوبيات في بحيرة إيلاس جون بالمنطقة القطبية الشمالية بالنرويج، حيث يعود التلوث إلى كل من الانتقال الجوي والأحيائي. وقد اكتشفت المستويات القصوى من الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في عام ٢٠٠١ (٠,٧٣ نانوغرام/غرام وزن جاف) (ايفنست وآخرون، ٢٠٠٧) وأبلغ مارفن وآخرون عن نزعات زمنية للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في رسوبيات معلقة بنهر نياجرا من عام ١٩٨٨ إلى عام ٢٠٠٤. وقبل عام ١٩٨٨، واكتشفت الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل (ما مجموعه ١٦ متجانساً بما فيها الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل) بوجه عام بتركيزات منخفضة لكل جزء من المليون ولكنها أظهرت نزعة نحو تركيزات متزايدة خلال الفترة ١٩٨٠ - ١٩٨٨. وبعد عام ١٩٨٨ أظهرت تركيزات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في نهر نياجرا نزوعاً أسرع للزيادة (بحد أقصى قيمته ٣٥ نانوغرام/غرام تقريباً في عام ١٩٩٥). وكان المتجانس السائد المكتشف هو الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل وقد تلاحظ وضع مماثل في أوروبا (البحارات وآخرون، ٢٠٠٥) وآسيا (مون وآخرون، ٢٠٠٧ ب).

٢-٣-٤ التربة

حدد حسنين وآخرون (٢٠٠٤) وجود الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في تربة سطحية متصلة (بسمك صفر - ٥ سم) وتربات شبه سطحية من مواقع غابات ومواقع عشبية نائية/ريفية عند خط عرض يمر عبر المملكة المتحدة والنرويج. وإجمالاً، تم تحليل ما مجموعه ٦٦ تربة سطحية لعدد ٢٢ متجانساً من الإثريات من ثلاثي إلى سباعي البروم ثنائي الفينيل. وتراوحت تركيزات الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل ككل في التربات السطحية من ٠,٠٦٥ إلى ١٢ ميكروغرام/كغ وزن جاف. وقد سادت تركيزات متوسطة للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في التربات السطحية تراوحت بين ٠,٦١ إلى ٢,٥ ميكروغرام/كغ وزن جاف لمتجانسات الإثريات المبرومة ثنائية الفينيل ٤٧ و ٩٩ و ١٠٠ و ١٥٣ و ١٥٤ بين إجمالي التركيزات. وتراوحت التركيزات المتوسطة لمجموع هذه المتجانسات الخمسة بين ٠,٤٤ إلى ١,٨ ميكروغرام/كغ وزن جاف. وأشارت الأبحاث إلى أن أنماط المتجانسات في التربات الأساسية الأوروبية توافق بشكل كبير تلك المبلغه بالنسبة لخليط الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري. وكانت هناك زيادة في المساهمة النسبية للمتجانس BDE 47 وغيره من الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل الأخف مقارنة بتلك الأثقل المقاسة في العينات كلما اتجهنا شمالاً من خط العرض.

٢-٣-٥ مجاري النفايات السائلة ومخلفات المجاري الصلبة

قدم كوليتش وآخرون (٢٠٠٤) مستويات للإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في رسوبيات مأخوذة من روافد تصب في بحيرة أونتاريو ولمخلفات صلبة من مرافق لمعالجة المياه المستعملة في الجوار من جنوب أونتاريو. وتراوحت كمية الإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل الإجمالية المقاسة في المخلفات الصلبة (أي الإثريات المبرومة ثنائية الفينيل ١٣٨ و ١٥٣ و ١٥٤ و ١٨٣) من ١١١ إلى ١٧٨ ميكروغرام/كغ وزن جاف تقريباً.

وقام لاجوارديا (٢٠٠١) بتحليل ١١ عينة من مخلفات المجاري الصلبة قبل خلطها بالأرض من كندا ومن الولايات المتحدة ووجد أن تركيزات متجانسات الإثير من سداسي إلى ثماني البروم ثنائي الفينيل ككل تتراوح من ٤٠ إلى ٢٠٨٠ ميكروغرام/كغ وزن جاف. وقام كوليتش وآخرون (٢٠٠٣) بدراسة مستويات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في مخلفات المجاري الصلبة من ١٢ موقعاً في جنوب أونتاريو ووجدوا تركيزات لمتجانسات الإثير من سداسي إلى ثماني البروم ثنائي الفينيل إجماليتها ١٢٤ إلى ٧٠٥ ميكروغرام/كغ وزن جاف. ولم يتم اكتشاف متجانسات الإثير سداسي إلى ثماني البروم ثنائي الفينيل في عينات السماد وكانت بمستويات منخفضة جداً في المخلفات الصلبة لمصنع من مصانع لباب الورق (حتى ٣ ميكروغرام/كغ وزن جاف تقريباً).

وأبلغ مارتينيز وآخرون مؤخراً (٢٠٠٦) عن تركيزا لمجموع الإثريات من سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل في حدود ١٥,٥ إلى ١٦٠ ميكروغرام/كغ وزن جاف في مخلفات صلبة من مرافق معالجة مياه مستعملة بلدية في إسبانيا ووصلت إلى ٢٦٨ ميكروغرام/كغ وزن جاف في المرافق الصناعية.

وقام جيفاو وآخرون (٢٠٠٦) بقياس الإثريات متعددة البروم ثنائية الفينيل في رسوبيات ساحلية تستقبل نفايات سائلة صناعية وبلدية في الكويت. واختلفت التركيزات الإجمالية من ٨٠ إلى ٣ ٨٠٠ بيكوغرام/غرام وزن جاف مع

شروع الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل ١٨٣ في توزيع المتجانسات الذي يشابه التركيبة التجارية، بروم كال 8DE-79. ويبدو أن تصريف المياه المستعملة من الأنشطة الصناعية هو المصدر الأساسي للمركبات.

٢-٣-٢ النبات والحيوان

قام لو وآخرون (٢٠٠٣). بمراجعة تركيبات مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري التي عثر عليها في النبات والحيوان. وقد تراوحت تركيبات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري (مبلغ عنها باسم الخليط التجاري DE-79) في أنواع النبات والحيوان المختلفة الموجودة في البيئات المائية في المملكة المتحدة حتى ٣٢٥ ميكروغرام/كغ وزن رطب في كبد أسماك الداب (التشين وآخرون، ١٩٩٩). وتراوحت التركيزات للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في الأنسجة العضلية لأسماك من المملكة المتحدة من أقل من ١ حتى ١٢ ميكروغرام/كغ وزن رطب (التشين وآخرون، ١٩٩٩). وفي اليابان لم يتم اكتشاف الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في ٧٥ عينة لأسماك أخذت في عام ١٩٨٧ (حد اكتشاف ٥ ميكروغرام/كغ وزن رطب) ولا في ١٤٤ عينة لأسماك أخذت من ٤٨ موقعاً في الفترة ١٩٨٨ - ١٩٨٩ (حد اكتشاف ٤ ميكروغرام/كغ وزن رطب) دون تحديد ما إذا كان الوزن رطباً أم جافاً) (وكالة البيئة باليابان، ١٩٩١). وتم اكتشاف الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل جنباً إلى جنب مع المتجانسات الأخرى للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في بيض صقر الباز الجوال، *Falco peregrinus*، من السويد، بتركيزات من ٥٦ إلى ٣٠٠ ميكروغرام/كغ وزن المحتوى الدهني (ليندبرغ وآخرون، ٢٠٠٤).

وقام الابي وآخرون (١٩٩٩) بجمع عينات لأسماك تروثة البحيرات من بحيرات سويبريور وهيورون وأونتاريو ووجدوا أن إجمالي متجانسات الإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل فيها تتراوح بين ١١ إلى ٥٣ ميكروغرام/كغ وزن المحتوى الدهني تقديرياً.

وقام رايس وآخرون (٢٠٠٢). بمقارنة مستويات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل وأنماط المتجانسات في عينات لأسماك الشبوط والقاروس أخذت من منطقتين صناعيتين في شرق الولايات المتحدة. وكان السمك قد تم جمعه من نهر دوترويت بولاية ميتشجان ونهر دوبلان بولاية إلينوي في أيار/مايو وحزيران/يونيه ١٩٩٩ وتم تحليله للكشف عن وجود الإثيرات المبرومة ثنائية الفينيل ٤٧ و ٩٩ و ١٠٠ و ١٥٣ و ١٥٤ و ١٨١ و ١٨٣ و ١٩٠. وكان المعروف أن كلاً من نظامي النهرين يستقبلان مساهمات كبيرة من النفايات السائلة البلدية والصناعية. وكان الإثير المبروم ثنائي الفينيل ٤٧ هو السائد في الأسماك المأخوذة من نهر دوترويت حيث شكل متوسط قيمته ٥٣ إلى ٥٦ في المائة من إجمالي الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل مقدرة بالوزن الرطب. فيما ساهمت الإثيرات المبرومة ثنائية الفينيل ٩٩ و ١٠٠ و ١٥٣ و ١٥٤ كل منها بما بين ٨ و ٩ في المائة وشكل كل من الإثير المبروم ثنائي الفينيل ١٨١ و ١٨٣ نحو ٥ في المائة من إجمالي الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ولم يتم اكتشاف الإثير المبروم ثنائي الفينيل ١٩٠ في نوعي السمك كليهما. وقد أظهرت أسماك الشبوط التي تم جمعها من نهر دوبلان فقط مظهراً مختلفاً إلى حد كبير للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل الذي تم رصده في أسماك نهر دوترويت ساد فيه كل من الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل ١٨١ و ١٨٣ وساهما بنحو ٢١ في المائة و ١٩ في المائة على التوالي. وكان الإثير المبروم ثنائي الفينيل ٤٧ هو الثالث في الترتيب مشكلاً نحو ١٧ في المائة من إجمالي الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. وكانت مستويات متجانسي الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣ و ١٥٤ نحو ٨

إلى ١٣ في المائة مقارنة بنحو ٥ في المائة لكل متجانس من متجانسات خماسي البروم ثنائي الفينيل ٩٩ و ١٠٠ و ١٩٠ والتي لم تكتشف في أسماك نهر ديترويت موجودة بنسبة تبلغ نحو ١٢ في المائة من إجمالي الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل.

وقام نورستروم وآخرون (٢٠٠٢) بتقييم الانتشار الجغرافي والترعات الزمنية (خلال الفترة من ١٩٨١ إلى ٢٠٠٠) للإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في بيض نورس الرنجة (*Larus argentatus*) في شبكة من المستعمرات تنتشر عبر البحيرات العظمى والقنوات المتصلة بها في عام ٢٠٠٠ (أنظر القسم ٢-٦-١-٦ والتذييل دال). وعلى الرغم من أن العينات حللت بشأن الإثير من ثماني إلى عشاري البروم ثنائي الفينيل، فإنه لم يتم اكتشافها داخل حدود الكشف الخاصة بها (٠,٠١ - ٠,٠٥ ميكروغرام/كغ وزن رطب). إلا أن التركيزات الإجمالية لمتجانسات الإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل (أي الإثيرات المبرومة ثنائية الفينيل ١٥٣ و ١٥٤ و ١٨٣) زادت من ٦ إلى ٣٠ مرة أكثر من الفترة من ١٩٨١ إلى ٢٠٠٠ عند مواقع بحيرة ميتشجان (من ٦,٧ إلى ١٩٥,٦ ميكروغرام/كغ وزن رطب) وعند مواقع بحيرة هيورون (من ١٣٨ إلى ٨٧,٦ ميكروغرام/كغ وزن رطب) وعند مواقع بحيرة أونتااريو (من ٣,٨ إلى ١١٢,١ ميكروغرام/كغ وزن رطب). بيد أن هذه الزيادة ليست مثيرة مقارنة بالزيادة التي لوحظت على متجانسات الإثير رباعي وخماسي البروم ثنائي الفينيل.

وقد أخذ واكفورد وآخرون (٢٠٠٢) عينات لبيض طائر بري في غرب وشمال كندا بين عام ١٩٨٣ وعام ٢٠٠٠. وقد حددوا أن إجمالي متجانسات الإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل تتراوح من ٠,١٤٨ إلى ٥٢,٩ ميكروغرام/كغ وزن رطب في بيض طائر البلشون الأزرق (*Ardea herodias*) (على الساحل الغربي لكندا) ومن ٠,٠٣ إلى ٠,٦٨ ميكروغرام/كغ وزن رطب في بيض طائر الفلمار الشمالي (*Fulmarus glacialis*) (في منطقة القطب الشمالي بكندا) ومن ٠,٠٠٩ إلى ٠,٤٩٩ ميكروغرام/كغ وزن رطب في بيض طائر المور ذو المنقار الغليظ (*Uria lomvia*) (في منطقة القطب الشمالي بكندا). وكانت متجانسات الإثير ثماني وتساعي وعشاري البروم ثنائي الفينيل خاضعة للتحليل من جانب الباحثين بيد أنه لم يتم اكتشافها في أي من العينات (حد الاكتشاف لم يتحدد).

وتم تحديد نزعات زمنية ومكانية وفيما بين الأنواع في الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في أنواع طيور بحرية ومياه عذبة من إقليم كولومبيا البريطانية بكندا. وقد تم بحث الترعات الزمنية في مصب نهر فراسر، ١٩٨٣ - ٢٠٠٢، عن طريق تحليل بيض طائر البلشون الأزرق (*Ardea herodias*) ومن النظم الإيكولوجية البحرية بمضيق جورجيا، ١٩٧٩ - ٢٠٠٢، في بيض طائر الغاق ذي العرفين (*Phalacrocorax auritus*). وقد زادت الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل أسياً مع مضاعفة زمن قدره ٥,٧ سنة في بيض كل من البلشون والغاق. وقد كانت أنماط الإثير متعددة البروم ثنائي الفينيل متوافقة نسبياً في غالبية السنوات والمواقع، حيث كانت كمية متجانس الإثير المبروم ثنائي الفينيل ٤٧ أكبر من المتجانس ١٠٠ أكبر من المتجانس ٩٩ أكبر من المتجانس ١٥٣ أكبر من المتجانس ١٥٤ أكبر من المتجانس ٢٨ أكبر من المتجانس ١٨٣. وقد أعتبر ذلك دليلاً على وجود تركيبات تقنية للإثيرات متعددة البروم ثنائي الفينيل كمصدر أساسي للتلوث في حين كانت تركيبات الإثير ثماني البروم ثنائي الفينيل مصدراً ثانوياً لهذا التلوث. وقد كشف تحليل أكثر دقة لعينة فرعية من البيض عن وجود نحو تسعة متجانسات أصلية أخرى بما في ذلك المتجانس BDE209 (في حدود ٠,٩ - ١,٨ ميكروغرام/كغ) مما يشير إلى التعرض إلى وامتصاص متجانسات أصلية للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل في السلاسل الغذائية بأمريكا الشمالية (إليوت وآخرون، ٢٠٠٥).

وقد أظهرت دراسة حديثة (بيورو وآخرون، ٢٠٠٦) عن وجود الإثير من سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل في النبات والحيوان (العواقل الحيوانية، وسمك الرنكة الصغير، والرنكة والسلمون) من بحر البلطيق وشمال الأطلسي.

٢-٣-٧ التعرض البشري

يقدم الاتحاد الأوروبي (٢٠٠٣) بعض المعلومات عن مستويات مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري في العينات البشرية بما في ذلك لبن الأم، والدم ونسيج الجسم الدهني. وقد لوحظ بصورة عامة وجود تباينات كبيرة فيما بين الأفراد إلا أنه أبلغ أيضاً عن وجود اختلافات كبيرة بين سكان المراقبة والفئات المعرضة مهنيًا.

وفي دراسة أجريت مؤخراً (تومز وآخرون، ٢٠٠٧) كانت تركيزات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل (١٨) متجانساً من الإثير المبروم ثنائي الفينيل (١٧ إلى ١٨٣-) في لبن الأم في أستراليا أقل من تلك التي أبلغ عنها من أمريكا الشمالية إلا أنها أعلى من تلك التي أبلغت من أوروبا وآسيا.

وقد بحث تومسون وآخرون، ٢٠٠٧، مستويات الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في ٢١ عينة لأمصال مجمعة ومسجلة من عموم السكان النرويجيين (من ١٩٧٧ إلى ٢٠٠٣). وفي الأمصال المأخوذة من الرجال (متوسط العمر ٤٠ إلى ٥٠ سنة) زادت تركيزات مجموع سبعة متجانسات للإثير المبروم ثنائي الفينيل (٢٨ و ٤٧ و ٩٩ و ١٠٠ و ١٥٣ و ١٥٤ و ١٨٣) من (٥ نانوغرام/غرام من وزن النسيج الدهني) في ١٩٧٧ إلى (٤,٨ نانوغرام/غرام من وزن النسيج الدهني) في ١٩٩٨. في حين بدت تركيزات الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل مستقرة في الفترة من ١٩٩٩ إلى ٢٠٠٣ دون زيادة أو نقصان.

وأبلغ فيرنانديز وآخرون، ٢٠٠٧، عن دراسة لرصد مركبات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في أنسجة الجسم الدهنية في النساء من إسبانيا، وكان متوسط مجموع مستويات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل (BDE 28، 75، 71، 47، 66، 77، 100، 119، 99، 85، 154، 153، 138، و 183) هو ٣,٨٥ و ٠,٣٦ نانوغرام/غرام من الدهون على التوالي. ومن بين الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل كانت المتجانسات (١٥٣، ٤٧، ١٨٣، ٩٩ و ١٠٠) هي الأكثر وتيرة ووفرة، وكانت تشكل معاً ٩٦ في المائة من مجموع كمية هذه المركبات في أنسجة الجسم الدهنية. وكانت تركيزات هذه المركبات في هؤلاء السكان ماثلة لتلك التي أبلغت عن أجزاء أخرى من إسبانيا فضلاً عن السكان في السويد وبلجيكا إلا أنها أقل من تلك التي وجدت في البلدان الغربية الأخرى.

وقد قيست مركبات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في عينات من مصل الدم البشري المأخوذة من ٢٣ متبرعاً في ويلنجتون، نيوزيلندا. وقد حسبت التركيزات لكمية من المتجانسات (٤٧، ٩٩، ١٠٠، ١٥٣ و ١٨٣) (مجموع الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل) بمستوى متوسط بلغ ٧,١٧ نانوغرام (من مجموع الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل) غرام من الدهون^١ ضمن المدى المبلغ عنه في الأنسجة البشرية في أوروبا إلا أنه يقل عن ذلك في أستراليا وأمريكا الشمالية (هاراد وآخرون).

واستناداً إلى المستويات المقاسة من الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل التي رصدت في مختلف أنواع اللحوم والأسماك ومنتجات الألبان الغذائية، حسب تقدير متوسط المتحصل اليومي الغذائي من هذه المركبات في دراسة أجريت في بلجيكا. وقدرت حسابات المتحصل من الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل بين ٢٣ و ٤٨ نانوغرام/يومياً من مجموع هذه المركبات.

وكانت الأسماك هي المساهم الرئيسي في مجموع المتحصل اليومي من هذه المركبات (نحو ٤٠ في المائة) نتيجة لارتفاع مستويات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في هذا النوع من الأغذية وإن كان لا يشكل سوى مكوناً صغيراً من النظام الغذائي في بلجيكا. وتشكل منتجات اللحوم نحو ٣٠ في المائة من مجموع المتحصلات الغذائية من مركبات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل وتسهم منتجات الألبان والبيض بدرجة أقل (أقل من ٣٠ في المائة، فورسبويل وآخرون، ٢٠٠٧).

وأجرى شوماخر وآخرون، ٢٠٠٧، دراسة لمقارنة مستويات مركبات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل نتيجة للمتحصلات الغذائية والسكان الذين يعيشون بالقرب من محارق النفايات الخطرة في اليابان. وتشير هذه الدراسة إلى أن المتحصلات الغذائية أكثر صلة بالتعرض البشري لمركبات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل من العيش بالقرب من محارق النفايات الخطرة. وكانت المتحصلات الغذائية من مركبات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل بالنسبة للنساء البالغات العاديات ٧٢ و ٦٣ نانوغرام/يوم من هذه المركبات بالنسبة للقاطنات في المناطق الحضرية والصناعية على التوالي. وكان متوسط تركيزات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل ٢,٢ و ٢,٥ نانوغرام/غرام من الدهون في النساء اللاتي يعشن في المناطق الحضرية والصناعية على التوالي. وأبلغ عن نتائج مماثلة في دراسة أجريت في كوريا (لي وآخرون، ٢٠٠٧).

وقد تأكد التعرض لمكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري في المناطق النائية، وينبغي أن تعزى استناداً إلى المعلومات المتوافرة إلى توليفة من إطلاقات وعمليات نقل الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري، ومركبات الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل التجاري (بالنسبة لسداسي البروم ثنائي الفينيل) والإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل (بالنسبة للإثير تساعي البروم ثنائي الفينيل) وإلى إزالة البرومة من الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل، في البيئة بما في ذلك النباتات والحيوانات في المنطقة. ولا تتوفر معلومات كافية عن تقييم هذه العمليات من الناحية الكمية. ومسار التعرض هو أساساً عن طريق الغذاء. وعلاوة على استراتيجية التغذية، فإن هناك العديد من العوامل المختلطة الإضافية ترتبط بالأنواع فيما يتصل بالاختلافات النوعية الملاحظة في نمط التوزيع الأيزوميري للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في الحياة البرية وتشمل هذه العوامل، بين جملة أمور، الاختلاف الفرعية بين الأنواع في التماثل، الأيض وتطهير مختلف الأيزومرات حتى بنفس مستوى عملية البرومة.

ويبدو أن المستويات المقاسة من المكونات السداسية والسباعية من ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري في النباتات والحيوانات من المناطق النائية تمثل أفضل المعلومات المتاحة لتقدير حجم التعرض نتيجة للانتقال البيئي بعيد المدى لهذه المواد الكيميائية. وقد استعرض نودسون وآخرون (٢٠٠٥) مؤخراً الاتجاهات الزمنية للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في البيض من ثلاثة أنواع من الطيور، من ثلاثة مواقع وفي ثلاثة أوقات لأخذ العينات (من ١٩٨٣ إلى ٢٠٠٣) من شمالي النرويج. ولم تلاحظ الفروق المكانية إلا بالنسبة للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣ ولوحظ حدوث زيادة في التركيزات المقاسة من ١٩٨٣ إلى ٢٠٠٣ بالنسبة للإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣ و ١٥٤ والإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل ١٨٣. وكانت القيم المتوسطة في حدود ١ ميكروغرام/كغ من الوزن الرطب لكل أيزومر، فيما لوحظت قيم قصوى تزيد على ١٠ ميكروغرام/كغ من الوزن الرطب لكل من الإثير، المبروم ثنائي الفينيل ١٥٤ و ١٨٣. ويمكن أن تعزى الفروق فيما بين الأنواع إلى سلوك التغذية والهجرة. وعموماً، كانت التركيزات أقل مما أبلغ عنه بالنسبة للأنواع المماثلة في المناطق الصناعية وتلك التي لوحظت في الطيور الجارحة الأرضية. وذكر أن وجود الإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل في

الأسماك من بحيرات الألب البعيدة في سويسرا (شميد وآخرون، ٢٠٠٧) الذي ذكر أنه يتعلق بالترسيب الجوي يؤكد القدرة على الانتقال بعيد المدى عن طريق الجو.

ويشكل تقييم الإثير ثنائي وتساعي البروم ثنائي الفينيل قدراً أكبر من عدم اليقين. فقد تم رصدتهما في النباتات والحيوانات دون أن يكون ذلك في المناطق النائية. غير أن المساهمة المنخفضة لهذه المتجانسات في الخلائط التجارية (يبين الشكل ١ أن مساهمة التساعي والثماني تنخفض درجة أو اثنتين من حيث الحجم عن الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل)، وإن القدرة المحدودة على التراكم الأحيائي نتيجة للأبيض (الذي يمكن أن يعزى إلى إزالة البرومة) قد يتطلب خفض حدود الكشف لإجراء التقييم السليم عن ذلك المستخدم في الدراسات السابقة.

وعلى الرغم من كبر حجمه الجزيئي، تبين القرائن قدرة مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري على عبور الأغشية الخلوية وعلى التراكم في النباتات والحيوانات. وعلى الرغم من محدودية المتاح من المعلومات، فإن عمليات الامتصاص والأبيض لكل أيزومر قد تتباين تبايناً كبيراً فيما بين الأنواع، وكذلك فيما يتعلق بالجرعة المستخدمة. ونتيجة لذلك فإن من المهم فهم السمات السمية لهذه المواد الكيميائية في التركيزات ذات الصلة البيئية. وسوف تبرز هذه الاختلافات التباينات الملاحظة في تقييم القدرة على التضخم الأحيائي لمختلف السلاسل الغذائية.

وكما هو الحال بالنسبة للمواد الكيميائية الأخرى ذات الخصائص المماثلة، يتوقع أن تخفض عمليات التقادم من التوافر الأحيائي، وتوفر التجارب التي أجريت على الكائنات التي تقطن الرسوبيات والتي تجري مقارنة بين التراكم الأحيائي في الرسوبيات الشائكة والمواد الصلبة الأحيائية الملوثة هذا الافتراض وتدعمه.

٢-٤ تقييم المخاطر عند نهايات سلسلة التفاعل ذات الأهمية

٢-٤-١ الدراسات التجريبية

٢-٤-١-١ الكائنات المائية

يقدم تقرير الاتحاد الأوروبي عن تقييم المخاطر (الجماعة الأوروبية، ٢٠٠٣)، مجموعة من الدراسات بشأن الخليط التجاري، ويخلص إلى أنه يبدو بالنسبة للماء أن من المنطقي الافتراض بأن من غير المحتمل حدوث تأثيرات معاكسة على الكائنات المائية بالتركيزات حتى ذوبان المادة في الماء. غير أنه تجدر الملاحظة أولاً بأن الكائنات المائية تتعرض أيضاً للأغذية و/أو الرسوبيات، وثانياً، أن تحديد هذه النتيجة القوية بالنسبة لمواد كيميائية مثل مركبات الإثير متعددة البروم ثنائية الفينيل تتطلب عدة أجيال أو على الأقل تقييم دورة حياة كاملة على ثلاث فئات تصنيفية تغطي قائمة واسعة من التأثيرات دون المميته، وهي معلومات ليست متوفرة في الوقت الحالي.

٢-٤-١-٢ الكائنات القاعية

تتوافر دراسات لمدة ٢٨ يوماً عن الرسوبيات الشائكة لنوع *Lumbriculus variegatus* باستخدام منتج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري (مؤسسة البحيرات العظمى للمواد الكيميائية ٢٠٠١، أ، ب). وقد وجدت هذه الدراسات عدم وجود تأثيرات هامة من الناحية الإحصائية ذات صلة بالبقاء على الحياة والتكاثر أو النمو في أعلى درجات التركيزات الخاضعة للاختبار (١٢٧٢ ميليغرام/كغ بالوزن الجاف و ١٣٤٠ ميليغرام/كغ بالوزن الجاف المقاسة

للسويبات بنسبة ٢,٤ في المائة و ٥,٩ في المائة OC على التوالي). وتؤكد البيانات الحركية من سيباريس وهال (٢٠٠٥) التعرض المتوقع والتراكم الأحيائي في ظل هذه الظروف.

٢-٤-١-٣ كائنات التربة

لم يتأثر بقاء ونمو دود الأرض *Eisenia fetida* من التعرض لمدة ٥٦ يوماً للتركيبية التجارية للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل في تربة صناعية بتركيز حتى ١٤٧٠ ميلليغرام/كغ بالوزن الجاف (تركيز مقاس في الرسوبيات بنسبة ٤,٧ في المائة OC) مؤسسة البحيرات العظمى للمواد الكيميائية ٢٠٠١ (ج).

وقد جرى تقييم سمية الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري على الذرة (*Zea mays*)، والبصل (*Allium cepa*)، وحشائش (*Lolium perenne*)، والخيار (*Cucumis sativa*)، وفول الصويا (*Glycine max*)، والطماطم (*Lycopersicon esculentum*) في دراسة استغرقت ٢١ يوماً عن الظهور والنمو باستخدام تربة طفيلية صلبة صناعية (مؤسسة البحيرات العظمى للمواد الكيميائية ٢٠٠١ د). ولم تلاحظ أية تأثيرات ذات أهمية إحصائية في أي نوع من الأنواع النباتية فيما بين الضوابط والمعالجات للظهور والبقاء أو النمو في أي تركيزات مختبرية (حتى ١١٩٠ ميلليغرام/كغ بالوزن الجاف، من التركيز المقاس).

٢-٤-١-٤ الثدييات والطيور

كان أقل مستوى للتأثيرات الضارة الملاحظة في نهايات سلسلة التفاعل التقليدية هو مستوى التأثيرات الضارة الملاحظة البالغ ٢ ملغ/كغ/يوم استناداً إلى سمية طفيفة للأجنة عند ٥ ميلليغرام/كغ/يوم (تعتبر ذات صلة، في تقرير الاتحاد الأوروبي) أو ٥ ميلليغرام/كغ من وزن الجسم/يوم استناداً إلى زيادة أوزان الكبد وانخفاض نسب وزن الجسم بين مجموعة معالجة الحمل وتأخر تعظم الهيكل العظمي للأجنة عند ١٥ ملغ/كغ من وزن الجسم/يوم (بالنسبة لأولئك القائمين على الاستعراض والذين لا يرون أي تأثيرات للسمية الطفيفة للأجنة ذات صلة) التي وصفها بريسلين وآخرون (١٩٨٩) في دراسة عن سمية النمو مع Saytex 111 بشأن الفئران البيضاء في نيوزيلندا التي تعرضت عن طريق اللثة لمدة ٧ أيام إلى ١٩ يوماً من الهضم.

ووصفت التأثيرات عند نهايات سلسلة التفاعل بتركيزات منخفضة بما في ذلك:

- زيادة كبيرة في إزالة سموم EPN و *p*-nitroanEROD وإزالة الميثيل من ذكور فئران براغ دادلي بجرعة عن طريق الفم تبلغ ٠,٦٠ ميلليغرام/كغ من وزن الجسم/يومياً من تركيبات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل لمدة ١٤ يوماً.
- استنفاد معتمد على الجرعة لمصل لمجموع البشروتسين T4 وانخفاض أنشطة البنتوكسيرسوردين أو ديثيلز (PROD) في الفئران التي تتلقى ١٠ أو أكثر ملغ/كغ/وزن جسم/يوم من الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري (زهو وآخرون ٢٠٠١).
- تأخير التأثيرات السمية العصبية. فقد أظهرت الفئران الحديثة الولادة المعرضة لجرعة واحدة من ٠,٤٥ ميلليغرام من الإثير المبروم ثنائي الفينيل ١٥٣ /كغ وزن جسم في اليوم العاشر بعد الولادة، عند اختبارها

بعد ٢، ٤، و٦ أشهر من العمر تغييراً في السلوك الحركي. كما تأثرت قدرة التعلم المكاني ووظائف الذاكرة في الفئران البالغة (فايرغ وآخرون ٢٠٠١).

▪ أكد إريكسون وآخرون (٢٠٠٢) التأثيرات السمية العصبية (الاستجابة السلوكية الشاذة) على نمو الفئران الذكور المعرضة للجرعة ٠,٤٥، إلى ٩ ميلليغرام/كغ وزن الجسم من الإثير المبروم ثنائي الفينيل ١٥٣ في اليوم العاشر من النمو. وكانت التأثيرات ماثلة لتلك التي لوحظت بالنسبة لمركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور ١٥٣ مما دفع المؤلفون إلى التكهن بأن الإجراء السمي العصبي التفاعلي قد يكون ممكناً فيما بين المركبين.

▪ كما لوحظت هذه التأثيرات السمية العصبية بعد جرعة واحدة بالفم من الإثير تساعي البروم ثنائي الفينيل ٢٠٦ أو الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل ٢٠٣ التي تعطى في اليوم ٣ أو ١٠، بعد الميلاد أو الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل-١٨٣ مع اضطرابات في السلوك التلقائي مما يؤدي إلى تسكين يعاني من الاضطراب وظروف مفرطة النشاط في البالغين في عمر شهرين (فايرغ وآخرون ٢٠٠٦).

▪ أبلغ عن تأثيرات تشكيل المناعة في الصقور الأمريكية المرباة في الأسر، فيرني وآخرون (٢٠٠٥). وقد جرى حقن البيض في كل مجموعة بعد تقسيمه بحسب تتابع وضع البيض بزيت عباد الشمس أو المتجانسات -٤٧، -٩٩، -١٠٠، و-١٥٣ من الإثير خماسي البروم ثنائي الفينيل الذي يذوب في زيت عباد الشمس (١٨,٧ ميكروغرام من مركبات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل/بيضة). وظلت الصقور المولودة تستهلك لمدة ٢٩ يوماً نفس الخليط من الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل (١٥,٦ +/ -٠,٣ نانوغرام/غرام من وزن الجسم يومياً)، حيث وصل إلى تركيز عبء جسم هذه المركبات أعلى ١٢٠× في طيور المعالجة (١,٨٦ +/ -٢٩,١ نانوغرام/غرام بالوزن الرطب) عن الخاضعة للضوابط (٠,٧٣ +/ -٠,٥ نانوغرام/غرام بالوزن الرطب). وكانت للطيور التي تعرضت للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل استجابة أكبر من PHA (المناعة متوسطة للخلية T) التي كانت ترتبط سلبياً بالزيادة في تركيزات الإثير المبروم ثنائي الفينيل-٤٧ إلا أنها كانت استجابة منخفضة متوسطة للأجسام المضادة التي كانت ترتبط إيجابياً بالزيادة في تركيزات الإثير المبروم ثنائي الفينيل 183-. كما كانت هناك تغييرات هيكلية في الطحال (عدد أقل من المراكز الجينية) الأكياس (خفض الإصابة بالسكتة) الغدة الصعترية (زيادة كبر حجم المجموعة والارتباطات السلبية بين الرقم الدليلي لحجم الطحال والإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل والرقم الدليلي لحجم الأكياس للإثير المبروم ثنائي الفينيل-٤٧ تعديل المناعة نتيجة للتعرض للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل قد يتفاقم في الطيور البرية التي تتعرض لقدر أكبر من الإجهاد البيئي.

▪ وذكر فيرني وآخرون ٢٠٠٦ أيضاً بالنسبة لنفس الأنواع وظروف الاختبار، أن التعرض لم يؤثر في الفقس أو نجاح الولادة. وكانت الصقور الصغيرة التي تعرضت للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل (الوزن والنظام الريشي) مع اكتسابها الوزن بصورة أسرع وتتناول قدر أكبر من الأغذية، وهذا الأخير بالارتباط مع أعباء جسمها من الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل. وكان الإثير المبروم ثنائي الفينيل-١٠٠ الأكثر تأثيراً على نمو الصقور الصغيرة حيث أنها ترتبط إيجابياً بالحجم واكتساب الوزن واستهلاك الأغذية. وكانت

الزيادة في تركيزات الإثير المبروم ثنائي الفينيل - ١٥٣ و ١٨٣ ترتبط بالعظام الطويلة و99- بالريش الطويل. وقد يكون الجسم الأكبر للطيور المعرضة للإثير متعدد البوم ثنائي الفينيل محمداً لبنيتها العظمي ولها تكاليف مفرطة من الطاقة.

▪ تشير الدراسات المخبرية إلى أن الإثير المبروم ثنائي الفينيل (كما في ذلك الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل) قد أثرت في كيتاز البروتين (PKC) الكالسيوم في زراعة الأنسجة العصبية المخية الحبية بنفس الطريقة التي لمادة ثنائي الفينيل متعدد الكلور (PCB) (كودافاني وآخرون ٢٠٠٥).

وعلى الرغم من أن هذه الدراسات لا تتيح التقييم الكمي، فإنها تشير إلى الحاجة إلى التأثيرات طويلة الأجل والمتأخرة فضلاً عن آليات محددة للعمل في تقييم التأثيرات الصحية والبيئية المعاكسة المحتملة.

٢-٤-٢ رصد بيانات التأثيرات

تتوافر عدة أوراق علمية تعقد مقارنات بين التأثيرات على السكان الملاحظة في الميدان والتركيزات المقاسة من النفايات العضوية الثابتة مثل المواد الكيميائية بما في ذلك الإثير سداسي وتساعي البروم ثنائي الفينيل في الأفراد من مختلف الأنواع.

وللأسف فإن العشائر البرية تتعرض لخليط من الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل فضلاً عن الملوثات الثابتة المبرومة والمكلورة الأخرى ذات الصلة ومع المستوى الحالي من المعارف، فإن الفحوصات الوبائية قد تعرض ارتباطات ولكن دون علاقات السبب والأثر فيما بين التعرض والتراكم لمكونات خللاط الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري والتأثيرات المعاكسة المحتملة الملاحظة في الحياة البرية.

ويلاحظ وضع مماثل فيما يتعلق بالبيانات الخاصة بصحة البشر، ولا توجد دراسات تقدم قرائن قاطعة على أخطار الإثير من سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل في البشر عند مستويات التعرض ذات الصلة بالبيئة التي وجدت.

٣ - تجميع المعلومات

من المستبعد إجراء تقدير كمي للمخاطر النوعية للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري وذلك نتيجة لوجود مكوناته في خللاط الخماسي والعشاري التجارية ونقص المعلومات، ويشمل ذلك انعدام المعلومات عن عمليات التقدير الكمية المؤيدة للدور الخاص بإزالة البرومة ونقص المجموعة الأكيدة من معلومات السمية والسمية البيئية عن الخللاط ومكوناتها مع تغطية المستوى المنخفض طويل الأجل لظروف التعرض ونهايات سلسلة التفاعل دون المميتة التي تعتبر ذات صلة بتقييم أحد النفايات العضوية الثابتة المرشحة.

وفي موجز بيانات المخاطر هذا، أعتبر أن الإثير سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل هما المكونان ذا الصلة بالإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري. وتجدر الملاحظة بأن أنواع أخرى من الإثير المبروم ثنائي الفينيل قد وجدت في الخللاط التجارية بما في ذلك تلك الموجودة في الإثير خماسي وعشاري البروم ثنائي الفينيل التجاريين. وتركز المعلومات المتوفرة على أقل من عشر متجانسات وبعض الخللاط من بين ٨٠ متجانساً محتملاً مختلفاً من الناحية النظرية.

وثبات هذه الإثباتات متعددة البروم ثنائية الفينيل في البيئة مسألة موثقة توثيقاً جيداً. ومسارات التحلل الوحيدة ذات الصلة المحددة حتى الآن هي التحلل الضوئي والتحلل اللاهوائي والأبيض في النباتات والحيوانات التي تعمل من خلال إزالة البرومة وإنتاج إثباتات مبرومة ثنائية الفينيل أخرى. قد تكون ذات سمية وقدرة أكبر على التراكم الأحيائي.

وتعتمد القدرة على التراكم الأحيائي على مستوى البرومة. ويظهر الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل قدرة كبيرة على التركيز الأحيائي والتضخم الأحيائي. ويتضخم الإثير سباعي البروم ثنائي الفينيل من خلال الشبكة الغذائية وإن كان بدرجة من الامتداد أقل مما كان متوقعاً من مكافئ فصل الأوكتانول عن الماء Kow وقد عثر على إثير ثنائي وتساعي البروم ثنائي الفينيل في النباتات والحيوانات إلا أنه لم يلاحظ أي تضخم أحيائي ذي صلة بالشبكة الغذائية. وتفسر عمليات الأبيض و/أو انخفاض التوافر الأحيائي الاختلافات بين المشاهدات وتوقعات Kow. وتدعم القرائن العلمية المتزايدة مساهمة الأبيض من خلال إزالة البرومة في الإثباتات المبرومة ثنائية الفينيل الأخرى.

وتغطي بيانات رصد النباتات والحيوانات في المناطق النائية كلاً من إثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل وتقدم أفضل دليل على القدرة على الانتقال بعيد المدى لمكونات إثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري. ويمكن من الناحية النظرية أن يفسر ذلك أيضاً من خلال انتقال الإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل وما يحدث له من إزالة للبرومة فيما بعد. بيد أنه من غير المنطقي افتراض أن إزالة البرومة للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل يمكنه أن يفسر هذه العملية دون نقل إضافي من متجانسات أخرى. ويتأكد دور النقل الجوي للإثير سداسي وسباعي البروم ثنائي الفينيل استناداً إلى رصده في بحيرات الألب.

وللأسف فإن المعلومات المتاحة بشأن السمية والسمية البيئية للإثير سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل هي معلومات محدودة للغاية، ولا تقدم معلومات كافية لتقديم مواجيز بيانات سليمة عن السمية والسمية البيئية لكل إيزومر وخلائط الأيزومرات والخلائط التجارية.

ولم تلاحظ أية تأثيرات ذات صلة في الدراسات المخبرية المائية والمتعلقة بالرسوبيات والتربة إلا أن نهايات سلسلة التفاعل المقاسة وظروف التعرض المستخدمة في هذه القياسات ليست كافية بحيث تسمح بإجراء تقييم سليم للمواد الكيميائية مثل الإثير سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل. وينبغي أن تغطي اختبارات السمية البيئية لهذه الأنواع من المواد الكيميائية، إن أمكن، عدة أجيال أو على الأقل دورة حياة كاملة وينبغي أن تتضمن نهايات سلسلة التفاعل المقاسة تأثيرات كبيرة مرتبطة بالتراكم وإعادة تعبئة مركبات خلال فترات النمو الحرجة والتكاثر فضلاً عن الانعكاسات الإيكولوجية ذات الصلة بالتغيرات الأيضية. وعلاوة على ذلك، لأبد من معالجة جميع مسارات التعرض البيئية الصلة غير أن الاختبارات المتاحة لا تستوفي هذه الشروط.

وتوفر المعلومات المتوفرة عن الثدييات والطيور معلومات مفيدة. فأقل مستوى للتأثير الملاحظ لنهايات سلسلة التفاعل التقليدية هو 2-5 ميلليغرام/كغ وزن الجسم/يوم استناداً إلى السمية الجنينية الطفيفة أو الزيادة في أوزان الكبد والانخفاض في كسب وزن الجسم فيما بين الفئة المعالجة الأمومية والتأخر في تعظم الهيكل العظمي. وتنطبق هذه التأثيرات على تقييم الصحة والإيكولوجيا ومن ثم فهي مفيدة في تقييم المخاطر على البشر والحياة البرية. ومع ذلك، فإن المعلومات الإضافية المتوفرة تثير أيضاً القلق إزاء قدرة نهايات سلسلة التفاعل التقليدية تلك على تقييم الملامح السمية للإثير ثنائي وتساعي البروم ثنائي الفينيل في الثدييات وغيرها من الفقريات.

وتتطلب تأثيرات السمية - المناعية وخاصة تأثيرات السمية العصبية المتأخرة الملاحظة بعد جرعة واحدة اهتماماً خاصاً. فعلى الرغم من أن التقدير الكمي لهذه التأثيرات من حيث مخاطرها المحتملة على صحة البشر والنظم الإيكولوجية ليس بالأمر الممكن استناداً إلى مستوى المعلومات المتوافر حالياً. ينبغي تحليل المشاهدات المبلغة بعناية. فمن المؤكد أن الجرعات التي لوحظت عندها التأثيرات كانت أعلى كثيراً من مستويات التعرض في المناطق النائية المقدره من بيانات الرصد الحالية بالنسبة لمتجانس واحد. غير أن هذه التأثيرات لوحظت في متجانسات مختلفة، وتحدث حالات التعرض البيئي المعقولة بالنسبة لخليط من الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل. ولا تتوافر معلومات كافية للنظر فيما إذا كانت هذه التأثيرات إضافة أو حتى أكثر من إضافة في عمليات التعرض المتكاملة إلا أن الهوامش بين التأثيرات الملاحظة في المختبر ومستويات التعرض التقديرية عن طريق الفم في الميدان (استناداً إلى بيانات الرصد) ليس مرتفعاً بهذه الدرجة عندما يجري تقدير مختلف الأيزومرات والمتماثلات. وقدر ماكدونالد (٢٠٠٥) عبء الجسم الحرج بالنسبة لإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣ بنحو ٢٠٠٠ ميكروغرام/كغ من الدهون استناداً إلى مستوى تأثيرات غير ملاحظة قدره ٠,٤٥ ميلليغرام/كغ الذي أبلغ عنه فايرغ وآخرون عام ٢٠٠٣، ويغطي هامش سلامة قدره ٧ بين هذا المستوى والنسبة ٩٥ في المائة لمجموع مستويات الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل في السكان من البشر في الولايات المتحدة. وتجدد الملاحظة بأن تركيزات الإثير سداسي البروم ثنائي الفينيل ١٥٣ القريبة من هذه القيم قد وجدت في العديد من الأنواع والمواقع الجغرافية (أنظر ورقة معلومات كندا ٢ للاستعراض) وتتجاوز التركيزات الإجمالية للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل عادة بدرجة كبيرة هذا العتبة.

ويمثل تحلل الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في البيئة والنباتات والحيوانات مسألة رئيسية حيث تتحول المتجانسات الأعلى إلى متجانسات أدنى وربما أكثر سمية. وقد تم إظهار هذا الاحتمال بالنسبة لإزالة البرومة للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل، والعديد من مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري (أنظر المراجع أعلاه) إلا أن المدى الذي يمكن أن يصل إليه تحلل الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل في ظل مختلف الظروف ودور الأيض في معالجة القدرة على التراكم الأحيائي وهوية أية متجانسات دنيا قد يتم إنتاجها تعتبر كلها مجالاً من مجالات البحث النشطة. وسوف يتعين معالجة النتائج الجديدة بواسطة لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة عند ظهورها في المؤلفات المشار إليها.

وثمة قرائن متزايدة تشير إلى ملامح سمية مماثلة ومن ثم أخطار مكافئة وشواغل فيما بين الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل والمركبات المتعددة الكلور ثنائية الفينيل على الرغم من أنه يبدو أن من الأفضل تقسيم أسلوب العمل إلى فئات من خلال الآليات المستقلة عن AhR حيث أن الإثيرات متعددة البروم ثنائية الفينيل تربط إلا أنها لا تنشط مركب - XRE البروتيني المحول النووي AhR-AhR (بيترز وآخرون ٢٠٠٦) ويبدو أنها قادرة على الارتفاع بتنظيم CYP2B وCYP3A في الفئران بجرعات مماثلة لتلك الخاصة بالمركبات المتعددة الكلور ثنائية الفينيل ١٥٣ غير المماثلة للديوكسين (ساندرز وآخرون ٢٠٠٥). ونظراً لأن الثبات والقدرة على التراكم الأحيائي والانتقال البيئي بعيد المدى لمكونات للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري موثقة بصورة جيدة، فإن تأكيد المستوى المكافئ للأخطار في هاتين الفئتين ينبغي أن يكون كافياً لتأكيد المخاطر المرتبطة بالانتقال بعيد المدى.

٤ - بيان الخلاصة

إن تقييم المخاطر البشرية والبيئية للإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري المرتبطة بقدرته على الانتقال البعيد المدى ليس بالمهمة السهلة بالنظر إلى أن المنتج التجاري عبارة عن خليط من مكونات بخصائص وملامح مختلفة مما يمكن إطلاقه أيضاً في البيئة نتيجة لوجوده كمكونات للمنتجات التجارية الأخرى من الإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل، وأنه ينتج أيضاً في البيئة من خلال إزالة البرومة للإثير عشاري البروم ثنائي الفينيل التجاري.

وعلى الرغم من أن إنتاج الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري قد توقف في البلدان المتقدمة، ولا تتوفر معلومات تشير إلى أن المادة الكيميائية تنتج في أماكن أخرى، ينبغي ملاحظة أن المنتج مازال حاضراً ويطلق من السلع المستخدمة وخلال التخلص منها. وتشير التقديرات النموذجية والمستويات المقاسة من المواد الصلبة من الصرف الصحي أن الانبعاثات الحالية مازالت كبيرة.

ومن ناحية أخرى فإن ثبات الإثير سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل مسألة موثقة بصورة جيدة، وأن الطريق الرئيسي إلى التحلل هو إزالة البرومة مما يشكل إثباتات أخرى مبرومة ثنائية الفينيل، الأمر يثير القلق أيضاً - كذلك فإن قدرة بعض مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري على التراكم الأحيائي والتضخم الأحيائي في بعض سلاسل الأغذية موثقة بصورة كافية، وتؤكد بالتوافق الجيد بين المشاهدات الميدانية في برامج الرصد ودراسات السمية. وتؤكد بيانات الرصد في المناطق النائية القدرة على الانتقال بعيد المدى، وبالنسبة لبعض المتجانسات على الأقل، هناك صلة بالانتشار عن طريق الجو في هذه العملية.

يبدو أن أكبر صعوبة تكمن في تقدير الخطر المحتمل للخليط التجاري ومركباته. فهناك دراسات عن السمية الإيكولوجية والسمية حيث لم تلاحظ أية تأثيرات حتى عند التركيزات العالية بصورة غير معقولة. غير أن التقييم المتعمق لهذه الدراسات التي تنظر على وجه الخصوص في خواص والحركية السمية للإثير متعدد البروم ثنائي الفينيل يشير إلى أن تصميم الاختبارات وظروف التعرض وهمايات سلسلة التفاعل المقاسة ليست ملائمة للتقييم السليم لهذه الأنماط من المواد الكيميائية. وعلى الرغم من ذلك فإنه ينبغي دراسة نقص التأثيرات المبلغ عنها في تلك الاختبارات بعناية. وعلاوة على ذلك، فإن بعض الدراسات المحددة أبلغت عن أخطار معينة مثل السمية العصبية المتأخرة والسمية المناعية التي قد تكون ذات صلة بصورة خاصة في تقييم المخاطر على صحة البشر والنظام الإيكولوجي.

واستناداً إلى القرائن المتوافرة، والشواغل الإضافية المتعلقة بإزالة البرومة إلى إثباتات مبرومة ثنائية الفينيل سامة، وزيادة القرائن التي تربط هذه المواد الكيميائية بالملوثات العضوية الثابتة الأخرى (التمائل بين هذه المركبات والمركبات المتعددة الكلور الثنائية الفينيل، والعلاقات مع الديوكسينات والفيورانات)، وأن نقص اليقين العلمي الكامل، طبقاً للمادة ٨، الفقرة ٧ (أ) من الاتفاقية، لا يمنع من المضي بالاقتراف قدماً، يستنتج أن مكونات الإثير ثنائي البروم ثنائي الفينيل التجاري، الإثير سداسي إلى تساعي البروم ثنائي الفينيل تؤدي على الأرجح، نتيجة للانتقال البيئي بعيد المدى، إلى تأثيرات معاكسة كبيرة على صحة الإنسان و/أو البيئة مما يقتضي معه اتخاذ إجراء عالمي.

- Alaee M, Luross J, Sergeant DB, Muir DCG, Whittle DM, Solomon K, 1999. Distribution of polybrominated diphenyl ethers in the Canadian environment. *Organohalogen Compounds*. 40: 347-350.
- Allchin CR, Law RJ, Morris S, 1999. Polybrominated diphenylethers in sediments and biota downstream of potential sources in the UK. *Environmental Pollution* 105: 195-207.
- Alonso E, Tapie N, Budzinski H, Tarazona, JV 2006. Calibration of biomagnification model. Kinetic Behaviour Of Several Compounds In *Mytilus edulis* and *Sparus aurata* After Oral Exposure. LRI Programme Environment: persistence, bioaccumulation & toxicity. Project No: ECO-1AINIA-1100. Milestone Report.
- Bergander L, Kierkegaard A, Sellström U, Widequist U, de Wit C, 1995. Are brominated flame retardants present in ambient air? Poster presentation, 6th Nordic Symposium on Organic Pollutants, Smygehuk, September 17-20.
- Breivik K, Wania F, Muir DC, Alaee M, Backus S, Pacepavicius G, 2006. Empirical and modeling evidence of the long-range atmospheric transport of decabromodiphenyl ether. *Environ Sci Technol*. 40:4612-8.
- Breslin WJ, Kirk HD, Zimmer MA, 1989. Teratogenic evaluation of a polybromodiphenyl oxide mixture in New Zealand White rabbits following oral exposure. *Fundamental and Applied Toxicology* 12:151-157.
- Burreau S, Zebuhr Y, Broman D, Ishaq R, 2004. Biomagnification of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) studied in pike (*Esox lucius*), perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) from the Baltic Sea. *Chemosphere* 55:1043-52.
- Burreau S, Zebuhr Y, Broman D, Ishaq R, 2006. Biomagnification of PBDEs and PCBs in food webs from the Baltic Sea and the northern Atlantic Ocean. *Sci Total Environ*. 366:659-72
- Cheng H, Zhang G, Jiang JX, Li X, Liu X, Li J, Zhao Y, 2007. Organochlorine pesticides, polybrominated biphenyl ethers and lead isotopes during the spring time at the Waliguan Baseline Observatory, northwest China: Implication for long-range atmospheric transport. *Atmospheric Environment* 41: 4734-47.
- Ciparis S, Hale RC, 2005. Bioavailability of polybrominated diphenyl ether flame retardants in biosolids and spiked sediment to the aquatic oligochaete, *Lumbriculus variegatus*. *Environ Toxicol Chem*. 24:916-25.
- CITI, 1982. The bioaccumulation of compound S512 by carp. Chemical Biotesting Center, CITI, Tokyo.
- de Wit CA, Alaee M, Muir DCG, 2006. Levels and trends of brominated flame retardants in the Arctic. *Chemosphere* 64:209-233
- Drouillard KG, Chan S, O'rourke S, Douglas Haffner G, Letcher RJ, 2007. Elimination of 10 polybrominated diphenyl ether (PBDE) congeners and selected polychlorinated biphenyls (PCBs) from the freshwater mussel, *Elliptio complanata*. *Chemosphere*. [Epub ahead of print].
- Drouillard KG, Fernie KJ, Letcher RJ, Shutt LJ, Whitehead M, Gebink W and Bird DM, 2007. Bioaccumulation and biotransformation of 61 polychlorinated biphenyl and four polybrominated diphenyl ether congeners in juvenile american kestrels (*Falco sparverius*). *Environ. Toxicol. Chem*. 26:313-324.
- EC. 2003. European Union risk assessment report. Diphenyl ether, octabromo derivative. CAS No.: 32536-52-0. EINECS No.: 251-087-9. Risk assessment. Final report, ECB-JRC, Ispra.
- Eljarrat E, De La Cal A, Larrazabal D, Fabrellas B, Fernández-Alba AR, Borrull F, Marce M, Barceló D, 2005. Occurrence of polybrominated diphenylethers, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in coastal sediments from Spain. *Environ. Pollut*. 136:493-501.
- Elliot JE, Wilson LK, Wakeford B, 2005. Polybrominated diphenyl ether trends in eggs of marine and freshwater birds from British Columbia, Canada 1979-2002. *Environ. Sci. Technol*. 39:5584-91.

- Environment Agency Japan, 1991. Chemicals in the Environment. Report on Environmental Survey and Wildlife Monitoring of Chemicals in F.Y. 1988 & 1989. Office of Health Studies, Department of Environmental Health, Environment Agency Japan. March 1991.
- Environment Agency UK, 1997. Report on the Monitoring of Brominated Flame Retardants in the Environment. The Environment Agency, Bath, United Kingdom.
- Environment Canada, 2004. Environment Screening Assessment Report on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). Draft for public comments, February 2004.
- Eriksson J, Jakobsson E, Marsh G, Bergman Å, 2001. Photo decomposition of brominated diphenyl ethers in methanol/water. Abstracts. The Second International Workshop on Brominated Flame Retardants. BFR 2001 Stockholm. May 14-16. Stockholm University, Sweden. p. 203-206.
- Eriksson P, Viberg H, Fischer C, Wallin M, Fredriksson A, 2002. A comparison on developmental neurotoxic effects of hexabromocyclododecane, 2, 2', 4, 4', 5, 5'-hexabromodiphenyl ether (PBDE 153) and 2, 2', 4, 4', 5, 5'-hexachlorobiphenyl (PCB 153). *Organohalogen Compounds* 57: 389-390.
- Evenset A, Christensen GN, Carroll J, Zaborska A, Berger U, Herzke D, Gregor D, 2007. Historical trends in persistent organic pollutants and metals recorded in sediment from Lake Ellasjøen, Bjørnøya, Norwegian Arctic. *Environ. Pollut.* 146:196-205.
- Fernandez MF, Araque P, Kiviranta H, Molina-Molina JM, Rantakokko P, Laine O, Vartiainen T, Olea N, 2007. PBDEs and PBBs in the adipose tissue of women from Spain. *Chemosphere* 66:377-383.
- Fernie KJ, Laird Shutt J, Ritchie IJ, Letcher RJ, Drouillard K, Bird DM, 2006. Changes in the growth, but not the survival, of American kestrels (*Falco sparverius*) exposed to environmentally relevant polybrominated diphenyl ethers. *J Toxicol Environ Health A.* 69:1541-54.
- Fernie KJ, Mayne G, Shutt JL, Pekarik C, Grasman KA, Letcher RJ, Drouillard K, 2005. Evidence of immunomodulation in nestling American kestrels (*Falco sparverius*) exposed to environmentally relevant PBDEs. *Environ Pollut.* 138:485-93.
- Gaul S, Von der Recke R, Tomy G, Vetter W, 2006. Anaerobic transformation of a technical brominated diphenyl ether mixture by super-reduced vitamin B12 and dicyanocobinamide. *Environ Toxicol Chem.* 25:1283-90.
- Gerecke, AC, Hartmann PC, Heeb NV, Kohler H-PE, Giger W, Schmid P, Zennegg M, Kohler M, 2005. Anaerobic degradation of decabromodiphenyl ether. *Environ. Sci. Technol.* 39:1078-1083.
- Gevao B, Beg MU, Al-Ghadban AN, Al-Omair A, Helaleh M, Zafar J, 2006. Spatial distribution of polybrominated diphenyl ethers in coastal marine sediments receiving industrial and municipal effluents in Kuwait. *Chemosphere.* 62:1078-86.
- Great Lakes Chemical Corporation. 2001a. Octabromodiphenyl ether: A prolonged sediment toxicity test with *Lumbriculus variegatus* using spiked sediment with 2% total organic carbon. Final Report. Wildlife International Ltd. Project Number: 298A-112, February 2001.
- Great Lakes Chemical Corporation. 2001b. Octabromodiphenyl ether: A prolonged sediment toxicity test with *Lumbriculus variegatus* using spiked sediment with 5% total organic carbon. Final Report. Wildlife International Ltd. Project Number: 298A-113, February 2001.
- Great Lakes Chemical Corporation. 2001c. Effect of octabromodiphenyl oxide on the survival and reproduction of the earthworm, *Eisenia fetida*. ABC Laboratories, Inc. Report. ABC Study No. 46419, December 2001.
- Great Lakes Chemical Corporation. 2001d. Octabromodiphenyl oxide: A toxicity test to determine the effects of the test substance on seedling emergence of six species of plants. Final Report. Wildlife International, Ltd. Project Number: 298-103, August 2001.
- Harrad S, Porter L, 2007. Concentrations of polybrominated diphenyl ethers in blood serum from New Zealand. *Chemosphere* 66:2019-2023.

Hassanin A, Breivik K, Meijer SN, Steinnes E, Thomas GO, Jones KC, 2004. PBDEs in European background soils: levels and factors controlling their distribution. *Environmental Science and Technology* 38:738-745.

He J, Robrock KR, Alvarez-Cohen L, 2006. Microbial reductive debromination of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs). *Environ Sci Technol.* 40:4429-34.

Isosaari P, Lundebye AK, Ritchie G, Lie O, Kiviranta H, Vartiainen T, 2005. Dietary accumulation efficiencies and biotransformation of polybrominated diphenyl ethers in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Addit Contam.* 22:829-37.

Kierkegaard A, Asplund L, de Wit CA, McLachlan MS, Thomas GO, Sweetman AJ, Jones KC, 2007. Fate of higher brominated PBDEs in lactating cows. *Environ Sci Technol.* 41:417-23.

Kodavanti PR, Ward TR, Ludewig G, Robertson LW, Birnbaum LS, 2005. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) effects in rat neuronal cultures: 14C-PBDE accumulation, biological effects, and structure-activity relationships. *Toxicol Sci.* 88:181-92.

Kolic TM, MacPherson KA, Reiner EJ, Ho T, Kleywegt S, Payne M, Alae M, 2003. Investigation of brominated diphenyl ethers in various land applied materials. Abstract. 5th Annual Workshop on Brominated Flame Retardants in the Environment, August 22-23, 2003, Boston, MA.

Kolic TM, MacPherson KA, Reiner EJ, Ho T, Kleywegt S, Dove A, Marvin C, 2004. Brominated diphenyl ether levels: a comparison of tributary sediments versus biosolid material. *Organohalogen Compounds* 66: 3830-3835.

Knudsen LB, Gabrielsen GW, Vereault J, Barret R, Utne Skare J, Polder A, Lie E, 2005. Temporal trends of brominated flame retardants, cyclododeca-1,5,9-triene and mercury in eggs of four seabird species from Northern Norway and Svalbard. SPFO-Report 942/2005.

La Guardia MJ, Hale RC, Harvey E, Mainor TM, Gaylor MO, 2001. Polybrominated diphenyl ethers in land-applied sewage sludge (biosolids). Poster presented at the Society of Environmental Toxicology and Chemistry 22nd Annual Meeting. November 2001.

La Guardia MJ, Hale RC, Harvey E, 2006. Detailed polybrominated diphenyl ether (PBDE) congener composition of the widely used penta-, octa-, and deca-PBDE technical flame-retardant mixtures. *Environ Sci Technol.* 40:6247-54.

Law RJ, Allchin CR, Morris S, Reed J, 1996. Analysis of brominated flame retardants in environmental samples. DFR No C956H108. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Directorate of Fisheries Research, Burnham-on Crouch.

Law RJ, Alae M, Allchin CR, Boon JP, Lebeuf M, Lepom P, Stern GA, 2003. Levels and trends of polybrominated diphenylethers (PBDEs) and other brominated flame retardants in wildlife. *Environment International* 29:757-770.

Law K, Halldorson T, Danell R, Stern G, Gewurtz S, Alae M, Marvin C, Whittle M, Tomy G, 2006. Bioaccumulation and trophic transfer of some brominated flame retardants in a Lake Winnipeg (Canada) food web. *Environ Toxicol Chem* 25:2177-2186 (Erratum in: *Environ Toxicol Chem.* 2007 26:190).

Lee S-J, Ikonomou MG, Park H, Baek S-Y, Chang Y-S, 2007. Polybrominated diphenyl ethers in blood from Korean incinerator workers and general population. *Chemosphere* 67:489-497.

Lindberg P, Sellström U, Häggberg L, de Wit CA, 2004. Higher brominated PBDEs and hexabromocyclododecane found in eggs of peregrine falcon (*Falco peregrinus*) breeding in Sweden. *Environmental Science and Technology* 34:93-96.

Luckey FJ, Fowler B, Litten S, 2002. Establishing baseline levels of polybrominated diphenyl ethers in Lake Ontario surface waters. Unpublished manuscript dated 2002/03/01. New York State Department of Environmental Conservation, Division of Water, Albany, NY 12233-3508.

Martínez MA, De la Torre A, Sanz P, Navarro I, Concejero MA, 2006. Occurrence of brominated flame retardants in sewage sludges from Spain: Higher brominated diphenyl ethers contribution. *Organohalogenated compounds* 68:1804-1807.

- Marvin C, Williams D, Kuntz K, Klawunn P, Backus S, Kolic T, Lucaciu C, MacPherson K, Reiner E, 2007. Temporal trends in polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, dioxin-like PCBs, and polybrominated diphenyl ethers in Niagara river suspended sediments. *Chemosphere* 67:1808-1815.
- McDonald TA, 2005. Polybrominated Diphenylether Levels among United States Residents: Daily Intake and Risk of Harm to the Developing Brain and Reproductive Organs. *Integrated Environmental Assessment and Management* 1:343-354.
- Moon HB, Kannan K, Lee SJ, Choi M, 2007a. Atmospheric deposition of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in coastal areas in Korea. *Chemosphere*.66:585-93.
- Moon H-B, Kannan K, Lee S-J, Choi M, 2007b. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediment and bivalves from Korean coastal waters. *Chemosphere* 66:243-251.
- Morf L, Smutny R, Taverna R, Daxbeck H. Selected polybrominated flame retardants PBDE and TBBPA: Substance flow analysis. ENVIRONMENTAL SERIES No. 338, Environmentally hazardous substances. 2002. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL; now Federal Office for the Environment FOEN), Bern, Switzerland
- Norstrom RJ, Simon M, Moisey J, Wakeford B, Weseloh DVC, 2002. Geographical distribution (2000) and temporal trends (1981-2000) of brominated diphenyl ethers in Great Lakes herring gull eggs. *Environmental Science and Technology* 36:4783-4789.
- OECD, 1994. Selected brominated flame retardants. Risk Reduction Monograph No. 3, OECD Environment Monograph Series No. 102, Paris.
- Peterman PH, Orazio CE, Feltz KP, 2003. Sunlight photolysis of 39 mono-hepta PBDE congeners in lipid. *Organohalogen Compd.* 63:357-360.
- Peters AK, Nijmeijer S, Gradin K, Backlund M, Bergman A, Poellinger L, Denison MS, Van den Berg M, 2006. Interactions of polybrominated diphenyl ethers with the aryl hydrocarbon receptor pathway. *Toxicol Sci.* 92:133-42.
- Rayne S, Wan P, Ikonou M, 2006. Photochemistry of a major commercial polybrominated diphenyl ether flame retardant congener: 2,2',4,4',5,5'-hexabromodiphenyl ether (BDE153). *Environ Int.* 32:575-85.
- Rice CP, Chernyak SM, Begnoche L, Quintal R, Hickey J, 2002. Comparisons of PBDE composition and concentration in fish collected from the Detroit River, MI and Des Plaines River, IL. *Chemosphere* 49:731-737.
- Sanchez-Prado L, Lores M, Llompert M, Garcia-Jares C, Bayona JM, Cela R, 2006. Natural sunlight and sun simulator photolysis studies of tetra- to hexa-brominated diphenyl ethers in water using solid-phase microextraction. *J Chromatogr A.* 1124:157-66.
- Sanders JM, Burka LT, Smith CS, Black W, James R, Cunningham ML. Differential expression of CYP1A, 2B, and 3A genes in the F344 rat following exposure to a polybrominated diphenyl ether mixture or individual components. *Toxicol Sci.* 2005 Nov;88(1):127-33.
- Schmid P, Kohler M, Gujer E, Zennegg M, Lanfranchi M, 2007. Persistent organic pollutants, brominated flame retardants and synthetic musks in fish from remote alpine lakes in Switzerland, *Chemosphere*, doi:10.1016/j.chemosphere.2006.05.080.
- Schuhmacher M, Kiviranta H, Vartiainen T, Domingo JL, 2007. Concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in milk of women from Catalonia, Spain. *Chemosphere* 67:S295-S300.
- Sormo EG, Salmer MP, Jenssen BM, Hop H, Baek K, Kovacs KM, Lydersen C, Falk-Petersen S, Gabrielsen GW, Lie E, Skaare JU, 2006. Biomagnification of polybrominated diphenyl ether and hexabromocyclododecane flame retardants in the polar bear food chain in Svalbard, Norway. *Environ Toxicol Chem.* 25:2502-11.
- Stapleton HM, Baker JE, 2003. Debromination of BDE congeners by the common carp (*Cyprinus carpio*). 5th Annual Workshop on Brominated Flame Retardants in the Environment, August 22-23, Boston, MA.

Stapleton HM, Letcher RJ, Li J, Baker JE, 2004a. Dietary accumulation of polybrominated diphenyl ethers by juvenile carp (*Cyprinus carpio*). *Environ Toxicol Chem.* 23:1939-1946.

Stapleton HM, Letcher RJ, Baker JE, 2004b. Debromination of polybrominated diphenyl ether congeners BDE 99 and BDE 183 in the intestinal tract of the common carp (*Cyprinus carpio*). *Environ. Sci. Technol.*, 38:1054-1061.

Stapleton HM, Brazil B, Holbrook RD, Mitchelmore CL, Benedict R, Konstantinov A, Potter D, 2006. *In vivo* and *in vitro* debromination of decabromodiphenyl ether (BDE 209) by juvenile rainbow trout and common carp. *Environ Sci Technol.* 40:4653-8.

Strandberg B, Dodder NG, Basu I, Hites RA, 2001. Concentrations and spatial variations of polybrominated diphenyl ethers and other organohalogen compounds in Great Lakes air. *Environ. Sci. Technol.* 35:1078-1083.

Thomsen C, Liane VH, Becher G, 2007. Automated solid-phase extraction for the determination of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in serum—application on archived Norwegian samples from 1977 to 2003. *J. Chromatogr. B*, 846: 252-263.

Toms LM, Harden FA, Symons RK, Burniston D, Furst P, Muller JF, 2007. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in human milk from Australia. *Chemosphere.* Apr 11; [Epub ahead of print].

Tomy GT, Palace VP, Halldorson T, Braekevelt E, Danell R, Wautier K, Evans B, Brinkworth L, Fisk AT, 2004. Bioaccumulation, biotransformation, and biochemical effects of brominated diphenyl ethers in juvenile lake trout (*Salvelinus namaycush*). *Environ Sci Technol.* 38:1496-504.

van Beusekom OC, Eljarrat E, Barcelo D, Koelmans AA, 2006. Dynamic modeling of food-chain accumulation of brominated flame retardants in fish from the Ebro River Basin, Spain. *Environ Toxicol Chem.* 25:2553-60.

Van den Steen E, Covaci A, Jaspers VL, Dauwe T, Voorspoels S, Eens M, Pinxten R, 2007. Accumulation, tissue-specific distribution and debromination of decabromodiphenyl ether (BDE 209) in European starlings (*Sturnus vulgaris*). *Environ Pollut.* 148:648-653.

Wakeford BJ, Simon MJ, Elliott JE, Braune BM, 2002. Analysis of polybrominated diphenyl ethers (BDEs) in wildlife tissues - Canadian Wildlife Service contributions. Abstract. 4th Annual Workshop on Brominated Flame Retardants in the Environment, June 17-18, 2002, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario.

Wang XM, Ding X, Mai BX, Xie ZQ, Xiang CH, Sun LG, Sheng GY, Fu JM, Zeng EY, 2005. Polybrominated diphenyl ethers in airborne particulates collected during a research expedition from the Bohai Sea to the Arctic. *Environ Sci Technol.* 39:7803-9.

Wania F, Dugani CB, 2003. Assessing the long-range transport potential of polybrominated diphenyl ethers: a comparison of four multimedia models. *Environ Toxicol Chem.* 22:1252-61.

Wurl O, Potter JR, Durville C, Obbard JP, 2006. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) over the open Indian Ocean. *Atmospheric Environment* 40:5558-65.

Viberg H, Fredriksson A, Jakobsson E, Örn U, Eriksson P, 2001. Neonatal exposure to hexabromodiphenyl ether (PBDE 153) affects behaviour and cholinergic nicotinic receptors in brain of adult mouse. Abstracts. The Second International Workshop on Brominated Flame Retardants. BFR 2001 Stockholm. May 14-16. Stockholm University, Sweden. p. 275-278.

Viberg H, Fredriksson A, Eriksson P, 2003. Neonatal exposure to polybrominated diphenyl ether (PBDE 153) disrupts spontaneous behaviour, impairs learning and memory, and decreases hippocampal cholinergic receptors in adult mice. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 192:95-106.

Viberg H, Johansson N, Fredriksson A, Eriksson J, Marsh G, Eriksson P, 2006. Neonatal exposure to higher brominated diphenyl ethers, hepta-, octa-, or nonabromodiphenyl ether, impairs spontaneous behavior and learning and memory functions of adult mice. *Toxicol Sci.* 92:211-8.

Voorspoels S, Covaci A, Neels H, Schepens P, 2007. Dietary PBDE intake: A market-basket study in Belgium. *Environ. Inter.* 33:93-97.

Wegmann F, MacLeod M, Scheringer M, 2007. POP Candidates 2007: Model results on overall persistence and long-range transport potential using the OECD Pov & LRTP Screening Tool. Swiss Federal Institute of Technology,

<http://www.pops.int/documents/meetings/poprc/prepdocs/annexEsubmissions/All%20chemicals%20Switzerland.pdf> (OECD Pov & LRTP Screening Tool available at <http://www.sust-chem.ethz.ch/downloads>).

WHO 1994. Brominated diphenyl ethers. Environmental Health Criteria 162, International Programme on Chemical Safety, WHO, Geneva.

Zhou T, Ross DG, DeVito MJ, Crofton KM, 2001. Effects of short-term in vivo exposure to polybrominated diphenyl ethers on thyroid hormones
