

SC

UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.3

الأمم
المتحدة

Distr.: General
21 November 2006

Arabic
Original: English

برنامج الأمم المتحدة للبيئة



اتفاقية استكهولم بشأن الملوثات العضوية الثابتة
لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة
الاجتماع الثاني
جنيف، ٦-١٠ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦

تقرير لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة عن أعمال اجتماعها الثاني

إضافة

موجز بيان المخاطر لسداسي برومو ثنائي الفينيل

اعتمدت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في اجتماعها الثاني بيان المخاطر لسداسي برومو ثنائي الفينيل على أساس مشروعه الوارد في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.2/9. ويرد أدناه نص بيان المخاطر على النحو الذي عُدل به، ولم يتم تحريره رسمياً.

140207

K0653889

لدواعي الاقتصاد في النفقات يوجد عدد محدود من هذه الوثيقة ويرجى من المندوبين التفضل باصطحاب نسخهم إلى الاجتماعات وعدم طلب نسخ إضافية.

سداسي برومو ثنائي الفينيل

موجز بيان المخاطر

اعتمده لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة
أثناء اجتماعها الثاني

تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦

المحتويات

٤	موجز تنفيذي.....	
٦	١ - المقدمة	
٦	١-١ الهوية الكيميائية للمادة المقترحة	
٦	١-١-١ الأسماء وأرقام التسجيل	
٧	١-١-٢ التركيب	
٧	١-١-٣ الخصائص الفيزيائية والكيميائية	
	٢-١ النتيجة التي خلصت إليها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة بشأن المعلومات الواردة في المرفق دال عن سداسي برومو ثنائي الفينيل.....	٨
٩	٣-١ مصادر البيانات	
١٠	٤-١ حالة هذه المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية	
١٠	٢ - معلومات موجزة مهمة لموجز بيان المخاطر	
١٠	١-٢ المصادر	
١٠	١-١-٢ الإنتاج	
١٠	٢-١-٢ التجارة والمخزونات	
١١	٣-١-٢ الاستخدامات	
١٢	٤-١-٢ الإطلاقات في البيئة	
١٣	٢-٢ المآل البيئي.....	
١٣	١-٢-٢ الثبات	
١٥	٢-٢-٢ التراكم الأحيائي	
١٦	٣-٢-٢ القدرة على الانتقال البيئي بعيد المدى	
٢٠	٣-٢ التعرض	
٢٠	١-٣-٢ التركيزات في المحيط البيئي اللاأحيائي	
٢٠	٢-٣-٢ التركيزات في النبات والحيوان	
٢٣	٣-٣-٢ التركيزات في الأنسجة البشرية ولبن الرضاعة	
٢٥	٤-٣-٢ التعرض البشري	
٢٥	٤-٢ تقييم المخاطر في نهايات سلسلة التفاعل المعنية	
٢٥	١-٤-٢ السمية	
٣١	٢-٤-٢ السمية الإيكولوجية	
٣٢	٣ - تجميع المعلومات	
٣٣	٤ - بيان الخلاصة	
٣٦	المرفق ألف	
٤٢	المرفق باء	

موجز تنفيذي

اقترحت الجماعة الأوروبية ودولها الأعضاء، لكونها أطرافاً في اتفاقية استكهولم، إدراج مادة سداسي برومو ثنائي الفينيل في الاتفاقية. وخلصت لجنة استعراض المواد الكيميائية في اجتماعها المعقود في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٥ إلى أن هذه المادة مستوفاة لمعايير الفرز الواردة في المرفق دال من الاتفاقية، وأن مشروع موجز بيانات مخاطر ينبغي إعداده لمواصلة استعراض المقترح.

وينتمي سداسي برومو ثنائي الفينيل إلى مجموعة أوسع نطاقاً من ثنائيات الفينيل المتعددة البروم (PBBs). ويشير مصطلح "ثنائيات الفينيل المتعددة البروم" أو "ثنائيات الفينيل المتعددة البروم" إلى مجموعة هيدروكربونات مبرومة تتكون بإحلال البروم مكان الهيدروجين في ثنائي الفينيل. وتوجد متجانسات للنوع الواحد (congeners) لسداسي البروم في صورة ٤٢ شكل لمتشابهات النووية (الأيزومرات) المحتملة. وتفيد البيانات المتاحة أن إنتاج واستخدام سداسي برومو ثنائي الفينيل قد توقف لدى معظم البلدان إن لم يكن كلها. ومع ذلك فإن من المحتمل أن تكون هذه المادة ما فتئت تُنتج الآن لدى بعض البلدان.

ويستخدم سداسي برومو ثنائي الفينيل كمادة مثبطة للهب في اللدائن الحرارية المكونة من أكرينتريل - بوتادين - ستيرين (ABS) في أعمال التشييد والبناء، وأماكن إيواء الماكينات وفي المنتجات الصناعية والكهربية، وفي رغاوي البولي يوريثان لأعمال تنجيد السيارات. ولا بد أن جزءاً لا يستهان به من هذه المادة المنتجة يصل إلى البيئة على ما هو محتمل إن عاجلاً أو آجلاً بسبب ارتفاع ثبات هذه المركبات.

وتفيد البيانات المتوفرة، أن سداسي برومو ثنائي الفينيل يمكن اعتباره عالي الثبات في البيئة. وتتوافر دلائل على انخفاض تحلل هذه المادة في الماء والتربة والرسوبيات، وفي المختبر وفي الميدان أو على عدم تحللها فيها.

ومادة سداسي برومو ثنائي الفينيل أقل تطايراً من الكثير من مواد الملوثات العضوية الثابتة المدرجة حالياً. ومع ذلك فإن كماً كبيراً من بيانات الرصد تشير إلى وجود هذه المادة في أجسام الحيوانات البرية في القطب الشمالي، مما يدل على أن هذه المادة لها قدرة عالية على الانتقال بعيد المدى في البيئة.

ومع كون قيم معامل التركيز الأحيائي في نطاق ٤٧٠٠ - ١٨١٠٠، وتجاوز عوامل التضخم الأحيائي في سلسلة الغذاء المئوية لـ ١٠٠، فإن سداسي برومو ثنائي الفينيل ذو قدرة عالية على التراكم الأحيائي وذو قدرة عالية على التضخم الأحيائي. وقد دلت العديد من الباحثين على هذه الخواص التي تتشابه مع خواص سداسي برومو ثنائي الفينيل (مركب PCB) والتي توجد وثائق كاملة بشأن خصائصها الخاصة بالتراكم الأحيائي.

ويُمتص سداسي برومو ثنائي الفينيل في الجسم بسهولة، ويتراكم فيه عقب التعرض لفترة طويلة. وعلى الرغم من أن السمية الحادة لسداسي برومو ثنائي الفينيل منخفضة، فقد لوحظ عدد من التأثيرات السمية المزمنة ومن بينها سمية الكبد في حيوانات التجارب مع الجرعات التي تصل إلى نحو ١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم وذلك عقب التعرض طويل الأمد. وتشاهد التأثيرات على الغدة الدرقية للفئران عند جرعات منخفضة تصل إلى ٠,٠٥ مغ/كغ وزن جسم/يوم. وقد صنفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) سداسي برومو ثنائي الفينيل على أنه مسرطن بشري محتمل (IARC، المجموعة ٢ ب). ومادة سداسي برومو ثنائي الفينيل تُحدث احتلالاً في الغدد الصماء وتُظهر التأثيرات هذه على قدرة الفئران

والمينك والقروود على التوالد. وهناك دليل وبائي يشير إلى نقص إفرازات الغدة الدرقية لدى العمال الذين يتعرضون لثنائيات الفينيل المتعددة البروم، وزيادة حدوث سرطان الثدي لدى السيدات اللواتي يتعرّضن لها. وشحيحة هي المعلومات عن سمية هذه المادة بالنسبة للأنواع الأخرى غير ثدييات المختبر، وإن كانت تشير مع ذلك، إلى وجود سمية بيئية لسداسي برومو ثنائي الفينيل شبيهة بسمية سداسي كلورو ثنائي الفينيل.

واستناداً إلى البيانات المتوافرة، فإن مادة سداسي برومو ثنائي الفينيل، يحتمل أن تحدث آثاراً ضارة لا يستهان بها نتيجة للانتقال البيئي بعيد المدى على صحة الإنسان والبيئة، بحيث يغدو اتخاذ إجراء عالمي إزاءها عملاً له ما يبرره.

١ - المقدمة

إن الجماعة الأوروبية ودولها الأعضاء بصفتها أعضاء في اتفاقية استكهولم قد اقترحت إدراج سداسي برومو ثنائي الفينيل في المرفق ألف في الاتفاقية. ويرد المقترح الأصلي في الوثيقة UNEP/POPS/POPRC.1/7.

إن قبول المقترح الأصلي لمواصلة بحثه من جانب لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة ينطوي ضمناً على أن خصائص هذه المادة تفي بمعايير الفرز الواردة في المرفق دال من الاتفاقية. ولذا فإن معايير الفرز لا تتم مناقشتها في هذه الوثيقة. وقد أعد مشروع موحز بيان المخاطر هذا استجابة لمقرر اللجنة الذي اتخذته أثناء اجتماعها الأول في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٥ بإنشاء فريق عامل مخصص لمواصلة استعراض المقترح.

وتعرض البيانات في هذه الوثيقة طبقاً للنظام الدولي للوحدات (SI)، وبذلك أعيد حساب الكثير منها من وحدات أخرى موجودة لدى مصادر البيانات. يضاف إلى ذلك، أن جميع التركيزات تبني على الكيلوغرام أو اللتر (مثلاً ميكروغرام/كغ أو ميللتر/لتر).

١-١ الهوية الكيميائية للمادة المقترحة

١-١-١ الأسماء وأرقام التسجيل

ينتمي سداسي برومو ثنائي الفينيل إلى مجموعة أوسع من ثنائيات الفينيل المتعددة البروم. ويشير مصطلح "ثنائي الفينيل المتعدد البروم" أو "ثنائيات الفينيل المتعددة البروم" إلى مجموعة من الهيدروكربونات المبرومة التي تتشكل بإحلال البروم محل الهيدروجين في ثنائي الفينيل. وتوجد متجانسات النوع الواحد (congeners) لسداسي البروم في صورة ٤٢ شكل للمتشابهات النووية (الأيزومرات) المحتملة مدرجة برقم لهذه المادة الكيميائية في سجل المستخلصات الكيميائية CAS. ولدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية وفي الوكالة الأمريكية المعنية بالمواد السمية وسجلات الأمراض ATSDR (٢٠٠٤) وفي الوثيقة INF 2.

الاسم في سجل مستخلصات المواد الكيميائية: سداسي برومو - ١، ١ - ثنائي الفينيل

الترادفات:

سداسي برومو ثنائي الفينيل

ثنائي الفينيل، سداسي البروم

١، ١ - ثنائي الفينيل، سداسي البروم -

سداسي برومو ثنائي الفينيل

FireMaster^(R) BP-6

FireMaster^(R) FF-1

الأسماء التجارية:

وتشتمل الدرجة التقنية للـ PBBs (فايرماستر) (مكافح الحرائق) (FireMaster^(R)) على العديد من مركبات الـ PBB، والمتشابهات النووية (Isomers)، ومتجانسات النوع الواحد (congeners)، ويكون سداسي برومو ثنائي الفينيل أحد مكوناته الرئيسية. ويختلف تكوين FireMaster^(R) من مجموعة إلى أخرى، غير أن مكوناته الرئيسية هي 2,2',4,4',5,5' - hexabromobiphenyl (٦٠ - ٨٠ في المائة) و 2,2',3,4,4',5,5' heptabromobiphenyl (١٢ - ٢٥ في المائة) بالإضافة إلى مركبات أدنى مبرومة. وقد لوحظ وجود مزيج البرومو كلورو ثنائي الفينيل والنفثالين المتعدد البروم

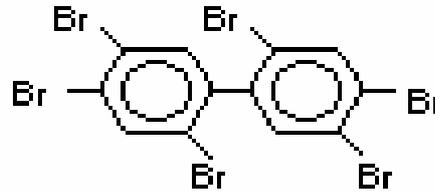
كمكونات أدنى من مكونات FireMaster^(R) (معياري الصحة البيئية EHC 152) البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية، (١٩٩٤). و FireMaster FF-1 (المسحوق الأبيض) هو FireMaster BP-6 (الرقائق البنية brown flakes) الذي أضيفت له نسبة ٢ في المائة من سليكات الكالسيوم كعامل مضاد للتكتل (معياري الصحة البيئية EHC 152) (البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية IPCS، ١٩٩٤).

وتوجد بيانات إضافية عن تكون متجانسات النوع الواحد congeners من ثنائي الفينيل متعدد البروم PBB في FireMaster^(R) BP-6 و FireMaster^(R) FF-1 مقدمة من الوكالة الأمريكية المعنية بالمواد السمية وسجلات الأمراض (ATSDR) (٢٠٠٤).

الرقم في سجل المستخلصات الكيميائية: 36355-01-8^(١) (اسم شائع لدى سجل المستخلصات الكيميائية لأيزومرات سداسي بروم وثنائي الفينيل)
(٢) 59536-65-1 (EHC 192 (IPCS, 1997))
(٣) 67774-32-7 (EHC 192 (IPCS, 1997))

وتقدم وكالة ATSDR (٢٠٠٤) الأرقام في سجل المستخلصات الكيميائية لعدد أكبر من أيزومرات سداسي بروم وثنائي الفينيل، كما هو مبين في المرفق باء.

٢-١-١ التركيب



التركيب 2,2',4,4',5,5'-سداسي بروم وثنائي الفينيل (الرقم في سجل مستخلصات المواد الكيميائية 59080-40-9 (CAS No. 153) PBB congener No. مصدر الصيغة التركيبية EHC 192 (IPCS, 1997))

٣-١-١ الخصائص الفيزيائية والكيميائية

الخصائص الفيزيائية والكيميائية لسداسي بروم وثنائي الفينيل في الجدول ١-١.

- (١) قُدم رقم التسجيل في سجل مستخلصات المواد الكيميائية CAS وهو 36355-01-8 كرقم جنيس لدى نفس السدائرة بـ PBBs في لائحة الاستيراد والتصدير لدى الاتحاد الأوروبي ١٩٩٨، ولدى اتفاقية روتردام/برنامج الأمم المتحدة للبيئة.
- (٢) تشير الوكالة الأمريكية المعنية بالمواد السمية وسجلات الأمراض (ASTDR) إلى 59536-65-1 as CAS No. BP-6 as FireMaster^(R) (مكافح الحرائق).
- (٣) تشير وكالة ATSDR الأمريكية إلى 67774-32-7 as CAS No. FireMaster^(R) FF-1 as (مكافح الحرائق).

الجدول ١ - ١ الخصائص الفيزيائية والكيميائية لسداسي برومو ثنائي الفينيل

الخصائص	الوحدة	القيمة	المراجع
الصيغة الجزيئية		C ₁₂ H ₄ Br ₆	
الوزن الجزيئي	غ/مول	627.58	
الشكل عند درجة الحرارة والضغط العاديين		مادة صلبة بيضاء	(أ)
ضغط البخار	باسكال	6.9*10 ⁻⁶ (25°) 7.5*10 ⁻⁴ (سائل مبرد)	(¹) Jacobs <i>et al.</i> (1976) (¹) Tittlemier <i>et al.</i> (2002)
القابلية للذوبان في الماء	ميكروغرام/لتر	11 3	(أ) (¹) Tittlemier <i>et al.</i> (2002)
نقطة الانصهار	درجة مئوية	72° C	(أ)
نقطة الغليان		لا توجد بيانات	
مكافئ تفريق الماء/أو كتانول Log K _{OW}		6.39	Doucette & Andren (¹) (1988)
مكافئ تفريق الكربون العضوي/الماء Log K _{OC}		3.33-3.87	محسوبة (¹)
ثابت قانون هنري	باسكال م ³ /مول	3.95*10 ⁻¹ 1.40*10 ⁻¹	(¹) Waritz <i>et al.</i> 1977 (¹) محسوبة

(أ) الوكالة الأمريكية المعنية بالمواد السمية وسجلات الأمراض (ASTDR)، ٢٠٠٤.

قد لا تكون بعض البيانات الواردة عن الخصائص المدرجة في الجدول ١-١ دقيقة لأن نواتج مشكوك في نقائها قد استخدمت من جانب باحثين سابقين لاستخراج هذه البيانات. وعليه، فإن بيانات الخصائص المادية والكيميائية الأخيرة التي أبلغت عن سداسي برومو ثنائي الفينيل عند تيتلمير وغيره (٢٠٠٢) (مأخوذة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤) مدرجة في الجدول ١-١.

٢-١ النتيجة التي خلصت إليها لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة بشأن المعلومات الواردة في المرفق دال عن سداسي برومو ثنائي الفينيل

استخدمت لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة في اجتماعها الأول ٧ - ١١ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٥ (^٤) معايير الفرز المحددة في المرفق دال من اتفاقية استكهولم، وقررت طبقاً للفقرة ٤ (أ)، من المادة ٨ من الاتفاقية أنهما مطمئنة لاستيفاء معايير الفرز الخاصة بسداسي برومو ثنائي الفينيل. وقررت، بالإضافة إلى ذلك، وطبقاً للفقرة ٦ من المادة ٨ من الاتفاقية، والفقرة ٢٩ من مقرر اتفاقية استكهولم - ٧/١ الصادر عن مؤتمر الأطراف في اتفاقية استكهولم إنشاء فريق عامل مخصص معني بمواصلة استعراض المقترح، وإعداد مشروع بيان مخاطر طبقاً للمرفق هاء من الاتفاقية. كما دعت الأطراف والمراقبين، طبقاً للفقرة ٤ (أ) من المادة ٨ من الاتفاقية، إلى أن تقدم إلى الأمانة المعلومات المحددة في المرفق هاء من الاتفاقية قبل حلول ٢٧ كانون الثاني/يناير ٢٠٠٦.

(٤) برجاء الإطلاع على تقرير الاجتماع www.pops.int/documents/meetings/poprc.

٣-١ مصادر البيانات

يُنْبَنِي مشروع موجز بيان المخاطر هذا بصورة رئيسية على المعلومات المستقاة من تقارير الاستعراض التالية:

- معيار الصحة البيئية رقم ١٥٢ (EHC): ثنائيات الفينيل المتعددة البروم. البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية (IPCS) برنامج الأمم المتحدة للبيئة، منظمة العمل الدولية، منظمة الصحة العالمية، جنيف، ١٩٩٤. (متوفرة على العنوان <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc152.htm>) على الانترنت.
 - معيار الصحة البيئية رقم 192 (EHC): مثبطات اللهب: مقدمة عامة: البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية (IPCS)، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، منظمة العمل الدولية، منظمة الصحة العالمية. جنيف ١٩٩٤. (متاحة على: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc192.htm>) على الانترنت.
 - وكالة ATSDR الأمريكية، موجز البيان السمي المبين لثنائيات الفينيل المتعددة البروم، وإثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم (PBBs and PBDEs) ٢٠٠٤. و متاح على العنوان: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp68.html>.
- في الحالات التي سبقت فيها الإشارة عاليه إلى الاستعراضات، فإن النص المقتبس (أو المقتبس مع التعديلات) يشمل المراجع المشار إليها في الاستعراض الأصلي. ولا تظهر هذه المراجع بصورة فردية في قائمة المراجع.
- ونزولاً على طلب لجنة استعراض الملوثات العضوية الثابتة للحصول على معلومات إضافية، على النحو المحدد في المرفق هاء من الاتفاقية، قُدمت معلومات عن سداسي برومو ثنائي الفينيل من جانب العديد من الأطراف والمراقبين. وقد استندت تلك المعلومات بصورة أساسية إلى النصوص المفتوحة أو المرتكرة على إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم .
- وقد اشتمل البحث الذي أجرى للحصول على معلومات أكثر حداثة على بحث في النصوص عبر مكتبة الجامعة التقنية الدانمركية أو قاعدة البيانات FINDit (ومصطلحات البحث هي: HBB، سداسي برومو ثنائي الفينيل، ثنائيات الفينيل المتعددة البروم) وكذلك بحث أجرته قاعدة بيانات في قواعد البيانات العامة. واشتملت قواعد البيانات على "Ecotox" وكالة حماية البيئة الأمريكية على العنوان <http://www.epa.gov/ecotox/>، "NITE" (اليابان، المعهد الوطني للتكنولوجيا والتقييم على العنوان <http://www.safe.nite.go.jp/english/db.html>، تقارير BUA على العنوان <http://www.gdch.de/taetigkeiten/bua/berichte.htm>، وقاعدة بيانات المآل البيئي على العنوان <http://esc.syrres.com/efdb.htm>. وقد استند ذلك البحث إلى مصطلحات البحث التالية: سداسي برومو ثنائي الفينيل، والأرقام في سجل مستخلصات المواد الكيميائية 77607091، 36355018، 82865892، 82865905، 59261084، 84303479، 120991482، 82865916، 67888997، 84303480 و 60044260. وبالإضافة إلى ذلك تمت استشارة برنامج رصد وتقييم القطب الشمالي.^(٥)

(٥) أنظر العنوان: <http://www.amap.no/>

١-٤ حالة المادة الكيميائية في الاتفاقيات الدولية

أدرج سداسي برومو ثنائي الفينيل في المرفق ألف من بروتوكول الاتفاقية المعنية بتلوث الهواء بعيد المدى العابر للحدود (CLRTAP). وتُلزم أحكام البروتوكول هذا الأطراف (٢٥ طرفاً حالياً) على التخلص التدريجي من جميع عمليات إنتاج واستخدام سداسي برومو ثنائي الفينيل. وسداسي برومو ثنائي الفينيل مدرج كذلك في اتفاقية روتردام بشأن تطبيق إجراء الموافقة المسبقة عن علم على مواد كيميائية ومبيدات آفات معينة خطيرة متداولة في التجارة الدولية.

٢ - معلومات موجزة مهمة لموجز بيان المخاطر

١-٢ المصادر

١-١-٢ الإنتاج

يشتمل الإنتاج التجاري لثنائيات الفينيل المتعددة البروم عامة على برومات المركبات ثنائية الفينيل، وهي عملية تنطوي على قدر من التفاعل النوعي وإنتاج عدد أصغر من مزائج النواتج الأكبر من الكلورة (سند ستورم وغيره، ١٩٧٦ أ) (مقتبس من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

وتتألف عملية تصنيع ثنائي الفينيل المتعدد البروم من عملية تفاعل من نوع "فريدل-كرافتس" (Friedel-Crafts) حيث يترك ثنائي الفينيل ليتفاعل مع البروم في وجود الكلوريد داخل مذيب عضوي وذلك باستخدام كلوريد الألومنيوم أو بروميد الألومنيوم أو الحديد كمادة حفازة (برنكام ودي كوك، ١٩٨٠) (مقتبسة من (EHC 152 (IPCS, 1994)).

٢-١-٢ التجارة والمخزونات

بدأ الإنتاج التجاري لثنائي الفينيل المتعدد البروم PBBs في عام ١٩٧٠. وأنتج نحو ٦ ملايين كيلوغرام من PBBs لدى الولايات المتحدة في الفترة من ١٩٧٠ إلى ١٩٧٦. ولم يُصنع سوى ثلاثة نواتج تجارية من PBBs هي سداسي برومو ثنائي الفينيل، وثنائي برومو ثنائي الفينيل وسداسي برومو ثنائي الفينيل. وقد اعتمدت هذه النواتج الثلاثة على عدد محدود من المتجانسات من النوع الواحد (هاردي ٢٠٠٢ ب). واستأثر سداسي برومو ثنائي الفينيل بنحو ٥,٤ مليون كغ (٨٨ في المائة تقريباً) وثنائي وعشاري برومو ثنائي الفينيل بـ ٠,٦٨ مليون كغ معاً من هذا المجموع (نيوفلد وغيره ١٩٧٧). وقد أوقفت سانت لويس ميتشيغان "مؤسسة ميتشيغان الكيميائية، وهي المنتج الوحيد لسداسي برومو ثنائي الفينيل في الولايات المتحدة، إنتاج ثنائي الفينيل المتعدد البروم PBBs في عام ١٩٧٥. (مقتبسة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). ويبدو أن الإنتاج اللاحق من PBBs قد اقتصر على مادتي ثنائي وعشاري البروم ثنائي الفينيل.

وقد استمر إنتاج ثنائي وعشاري البروم ثنائي الفينيل لدى الولايات المتحدة الأمريكية حتى ١٩٧٩ (الوكالة الدولية لبحوث السرطان IARC، ١٩٨٦؛ نيوفيلد وغيره ١٩٧٧). وبعد مرور وقت قصير ١٩٧٣ - ١٩٧٤ على حادث التلوث الزراعي في ميتشيغان، توقف طواعية إنتاج PBB في الولايات المتحدة الأمريكية (هاردي ٢٠٠٠)؛ ولم تعد PBBs تنتج في الولايات المتحدة الأمريكية (SRI 2001). وأن أي استئناف لتصنيع PBBs سوف يتطلب الموافقة عليه من جانب وكالة حماية البيئة الأمريكية (مقتبسة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

وتشير التقارير إلى أن شركتين بريطانيتين قامتا بتسويق أو إنتاج عشاري البروم ثنائي الفينيل الصالح للأغراض التقنية لدى المملكة المتحدة. وقد توقف إنتاج ثنائي الفينيل المتعدد البروم لدى المملكة المتحدة في ١٩٧٧. وإن ظل ثنائي الفينيل عالي

البروم ينتج في ألمانيا حتى منتصف ١٩٨٥ (برومكال ٨٠-٩٠ دال) وتحولت آنذاك الأنشطة المتعلقة بمثبطات اللهب المستخدمة من البروم إلى الولايات المتحدة الأمريكية. ولم يتم تحديد جهة إنتاج محلية واحدة في هولندا. وفي أوائل التسعينات أنكرت شركة إسرائيلية أن لديها مصنعين للبروم يقومان بإنتاج ثنائي الفينيل المتعدد البروم. (معدلة من EHC 152 (IPCS، ١٩٩٤)). ولا تتوفر معلومات تتعلق باحتمالات استخدام وإنتاج سداسي برومو ثنائي الفينيل في روسيا.

وحتى عام ٢٠٠٠ كانت مادة عشاري برومو ثنائي الفينيل decabromobiphenyl هي المادة الوحيدة في قطاع الإنتاج التجاري، وكانت تقوم بتصنيعها شركة واحدة هي Atochem (أتوشيم) في فرنسا (هاردي ٢٠٠٠). (معدلة من وكالة ATSDR الأمريكية ٢٠٠٤). وذكر أحد الباحثين هو (دارنيرد Darnerud، ٢٠٠٣) إنه بإغلاق إنتاج عشاري البروم ثنائي الفينيل في فرنسا يكون إنتاج ثنائي الفينيل المتعدد البروم قد توقف في العالم.

وليس من المعروف في الولايات المتحدة الأمريكية ما إذا كان ثنائي الفينيل المتعدد البروم لا يزال يستورد أو يصدر اللهم إلا بكميات صغيرة وذلك للاستخدامات المخبرية. ولم يتم استيراد PBBs من البلدان الأخرى إلى الولايات المتحدة فيما عدا المنتجات كاملة التصنيع (finished products) (نيوفيلد وغيره ١٩٧٧). أما الشركتان اللتان صنعتا ثنائي الفينيل وعشاري البروم ثنائي الفينيل octa- and decabromobiphenyl في الولايات المتحدة الأمريكية في الفترة من ١٩٧٦ (٠,٨٠٥ مليون رطل) ١٩٧٨ فقد صدرتا جميع منتجاتهما إلى أوروبا (نيوفيلد وغيره، ١٩٧٧). (مقتبسة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

سجلت قاعدة البيانات الأوروبية EXIDIM المعنية بصادرات وواردات المواد الكيميائية الخطرة في إطار اتفاقية روتردام ما مجموعه ٦ طلبات تصدير لـ PBBs (والتي لا تشمل مع ذلك سداسي برومو ثنائي الفينيل) في الفترة من ٢٠٠٣ - ٢٠٠٦ (طلب واحد في ٢٠٠٣ و ٢٠٠٤، وطلبين في كل من ٢٠٠٥ و ٢٠٠٦). ولم يتم تسجيل أي واردات لـ PBBs إلى الاتحاد الأوروبي إبان تلك الفترة.

أما المعلومات التي وردت حتى ٢٧ كانون الثاني/يناير ٢٠٠٦ نتيجة للطلب على المعلومات من جانب الأطراف والمراقبين في اتفاقية استكهولم، فقد اشتملت على ردود كل من البرازيل، أستراليا، اليابان، وجمهورية لبنان والولايات المتحدة الأمريكية، وكلها تفيد بعدم وجود إنتاج أو استخدام لسداسي برومو ثنائي الفينيل لدى تلك البلدان.

وخلاصة القول إنه طبقاً للمعلومات المتوفرة، فقد توقف إنتاج واستخدام سداسي برومو ثنائي الفينيل لدى معظم البلدان إن لم يكن كلها. ومع ذلك، فهناك احتمالات أن تكون مادة سداسي برومو ثنائي الفينيل لا تزال تُنتج لدى بعض البلدان النامية أو لدى البلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقال.

٢-١-٣ الاستخدامات

كان سداسي برومو ثنائي الفينيل (FireMaster^(R)) لدى الولايات المتحدة الأمريكية وكندا هو المنتج الرئيسي من الـ PBBs. حيث كان يستخدم كمثبط للهب في ثلاثة منتجات تجارية رئيسية هي: اكريلونيتريل - بوتادين - ستيرين (ABS) وفي اللدائن الحرارية thermoplastics لإقامة أماكن إيواء لماكينات أعمال التشييد، وفي المنتجات الصناعية (مثل إيواء المحركات)، والكهربية (مثل أجزاء الراديو والتليفزيون): كمثبط للهب في طبقات الطلاء واللاكيهات، وفي رغاوى البولي يوريثان التي تستخدم في تنجيد السيارات (نيوفيلد وغيره ١٩٧٧) (معدلة من EHC 152 (IPCS، ١٩٩٤)، والوكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

وتم إنتاج ٥ ملايين طن تقريباً من سداسي البروم ثنائي الفينيل في الولايات المتحدة الأمريكية في الفترة من ١٩٧٠ إلى ١٩٧٦؛ واستخدم ٩٨ في المائة منها كفايرماستر (مكافح الحريق) (FireMaster FF-1 (Hesse and Powers, 1978). ومن أصل الكمية التقديرية البالغة ٢٢٠٠ طن من سداسي برومو ثنائي الفينيل التي أنتجت في عام ١٩٧٤ (IARC, 1978) استخدم ٩٠٠ طن (Mumma & Wallace, 1975؛ نيوفيلد وغيره، ١٩٧٧؛ IARC, 1978) في منتجات اللدائن المصنوعة من الأكريلونيتريل - بوتاديين - ستيرين (ABS) وحتى كميات أكبر في طبقات طلاء الكابلات (موما وواليس، ١٩٧٥، نيوفيلد وغيره ١٩٧٧، IARC ١٩٧٨). ولم ينشر شيء عن الحجم الدقيق لكمية (FireMaster^(R)) الداخلة في رغاوي البولي يوريثان المستعملة في تنجيد السيارات. وقد توقفت الجهتان الكبريان المستخدمتان لسداسي برومو ثنائي الفينيل (إحدهما ١٩٧٢) لأن PBBs لا يتحلل في الحرق النهائي للسيارات المخردة (نيوفيلد وغيره ١٩٧٧). (مأخوذة من EHC 152 (IPCS, 1994).

وجاء في EHC 152 (IPCS, 1994)، أنه لم يتم وقتذاك تحديد لمستعملي سداسي برومو ثنائي الفينيل (نيوفيلد وغيره ١٩٧٧؛ دي كارلو وغيره، ١٩٧٨؛ برنكمان ودي كوك ١٩٨٠). (مقتبسة من EHC 152 (IPCS, 1994).

٢-١-٤ الإطلاقات في البيئة

تقتصر البيانات المنشورة عن الفقد في البيئة أثناء الإنتاج على الولايات المتحدة الأمريكية. وتشير المعلومات التالية إلى استعراضات أجراها نيوفيلد وغيره (١٩٧٧) ودي كارلو وغيره (١٩٧٨). ويمكن أن يبلغ مجموع الكميات المفقودة من PBBs في البيئة في مواقع تصنيعها ٥١ كغ/١٠٠٠ كغ من المنتج. وتحدث حالات الفقد التالية عن طريق:

(١) الانبعاثات في الهواء

وقدرت كميات الفقد القصوى في الهواء في عام ١٩٧٧ كمادة جسيمية في مواقع الإنتاج بـ ١,١ كغ من كل ١٠٠٠ كيلوغرام مصنعة من ثنائي الفينيل المتعدد البروم (1.1 kg of PBBs/1000 kg).

(٢) الكميات المفقودة في المياه المستعملة المتخلفة عن تسقية وغسل ثنائي الفينيل المتعدد البروم أثناء استعادة هذه المادة من كتلة التفاعل. وقدرت الكمية المفقودة من ثنائي الفينيل متعدد البروم في البوابع داخل مواقع التصنيع، في عام ١٩٧٧ بـ ٤,٦ ميكروغرام/كغ من الناتج.

(٣) الكميات الجامدة المفقودة إلى أماكن الطمر بسبب التجفيف والمناولة والنقل.

وجاء في تقدير للكميات المفقودة من ثنائي الفينيل المتعدد البروم كنفایات جامدة في أماكن الطمر ٥٠ غ/كغ من المنتج.

(٤) الكميات المفقودة إلى التربة

اشتملت عينات التربة من مناطق ملء الأجوالة والتحميل لدى مؤسسة ميتشيغان كيميكل على PBBs بتركيزات وصلت إلى ٣٥٠٠ إلى ٢٥٠٠ مغ/كغ على التوالي.

(مختصرة من EHC 152 (IPCS, 1994)

وفي عام ١٩٧٣ حدث إطلاق لثنائي الفينيل المتعدد البروم في ميتشيغان (يشار إليه باسم "كارثة ميتشيغان" في EHC 152) عندما تم الخلط خطأً بين منتجين من تصنيع شركة كيميكاك ميتشيغان بدون قصد، وأضيف ٢٠٥ - ٥٠٠ كغ (دي كارلو وغيره ١٩٧٨) من FireMaster^(R) بدلاً من إضافة هذا الكم من NutriMaster^(R) وهو إضافة علفية حيوانية تتكون قاعدياً من أكسيد الماغنسيوم، إلى علف الحيوان تم وزع على المزارع داخل الولاية. ويعتقد أن ذلك المركب كان هو FireMaster^(R) (مثلاً فرايز ١٩٨٥ ب) ويستخدم اسم فايرمان FF-1[®] حتى في بعض المطبوعات BP-6 (مثلاً نيوفيلد وغيره، ١٩٧٧، دي كارلو وغيره، ١٩٨٧). وقد أدى هذا المزج المغلوط إلى التلوث واسع النطاق لثنائي الفينيل المتعدد البروم. ويقدم كارتر (١٩٧٦)، تقارير أو استعراضات متسلسلة زمنياً عن كارثة الـ PBBs هذه، غيبي وغيره Getty et al (١٩٧٧)، كاي Key (١٩٧٧)، دي كارلو وغيره (١٩٧٨)، دامسترا وغيره (١٩٨٢)، زايبك (١٩٨٢)، وفرايز (١٩٨٥ ب) (مأخوذة من معايير الصحة البيئية EHC 152 (البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية ١٩٩٤، IPCS)).

واستخدم ٥٣٥٠ طناً من سداسي برومو ثنائي الفينيل في منتجات تجارية واستهلاكية في الولايات المتحدة، استخدم معظمها في إنتاج المنتجات البلاستيكية بعمر استخدام أقصى تقديري قدره ٥ - ١٠ سنوات (نيوفيلد وغيره ١٩٧٧). ومنذ توقف الإنتاج، ينتظر أن يكون جميع هذه المنتجات مثل أماكن إيواء ماكينات الأعمال وصناديق التلفزيون قد تم التخلص منها عن طريق الطمر في الأرض أو الترميد (نيوفيلد وغيره ١٩٧٧). (مأخوذة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

إن سداسي برومو ثنائي الفينيل يمكن أن يدخل إلى البيئة عن طريق الاستخدام الواسع النطاق لمنتجات تثبيط اللهب. ومن المحتمل أن يصل جزء لا يستهان به من هذه المادة إلى البيئة عاجلاً أو آجلاً بسبب الثبات العالي لهذه المركبات. يضاف إلى ذلك أن بعضاً من هذه المواد الكيميائية قد تشكل ثنائيات بترو الفوران متعددة البروم polybrominated dibenzofurans أثناء عمليات الاحتراق.

٢-٢ المآل البيئي

٢-٢-١ الثبات

خلص الاستعراض الذي أجرته هيئة معايير الصحة البيئية EHC (١٩٩٤) إلى أن ثنائيات الفينيل المتعددة البروم ثابتة ومستقرة في البيئة، وأن حدوث التحلل لثنائي الفينيل المتعدد البروم بفعل التفاعلات الكيميائية اللاأحيائية فقط (مع استثناء التفاعلات الضوئية الكيميائية) أمر غير محتمل.

أما في الهواء، فإن العمليتين اللتين قد تسفران عن تحلل ذي بال أو تحول لثنائي الفينيل المتعدد البروم هي التأكسد الضوئي بواسطة جذور الهيدروكسيل (OH) والتحلل الضوئي المباشر. واستناداً إلى علاقة التركيب - النشاط لتقدير أنصاف أعمار تفاعلات المرحلة الغازية لجذور الهيدروكسيل مع المركبات العضوية (اتكنسون ١٩٨٧ ب) فإن نصف العمر التقديري لسداسي برومو ثنائي الفينيل بسبب تفاعله مع جذور الهيدروكسيل هو ١٨٢ يوماً. وقد تسبب نقص المعلومات في عدم إمكانية تقدير أهمية التفاعل الضوئي الكيميائي في ظروف الإضاءة لضوء الشمس بالنسبة لتحلل/تحول لثنائي الفينيل المتعدد البروم في الهواء (موجز من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

وتشير هيئة المعايير الصحة البيئية ١٥٢ (البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية، (IPCS)، ١٩٩٤)، إلى التجارب المخبرية على الميثانول التي أظهرت تحللاً ضوئياً سريعاً قدره 2,2',4,4',5,5' - سداسي برومو ثنائي الفينيل (٩٠ في المائة تحلل بعد ٩ دقائق) مع كون النتيجة انخفاض ثنائي الفينيل المتعدد البروم PBBs. ومع ذلك فهناك تساؤل لدى وكالة ATSDR الأمريكية (٢٠٠٤)، عما إذا كان هذا التحلل الضوئي يحدث في الماء نتيجة لعدم وجود مجموعات نشطة. وهكذا يكون من غير المؤكد أن سداسي برومو ثنائي الفينيل يمكن أن يتحلل سريعاً في الهواء.

أما التحلل الأحيائي في الماء تحت ظروف توافر الهواء فهو منخفض بالرغم من أن ثنائيات الفينيل الأدين المستبدلة قد تتحلل أحيائياً في الماء والرسوبيات مع وجود الهواء (كونغ وسيلور ١٩٨٣؛ سوغورا ١٩٩٢؛ ياغي وسودو ١٩٨٠)، أما ثنائيات الفينيل الأعلى المستبدلة فهي مقاومة للتحلل الأحيائي الهوائي (كاواساكي ١٩٨٠؛ ساساكي ١٩٧٨؛ شيلتون وتيدجي ١٩٨١) (مقتبسة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). وهناك إثبات آخر يتوافر عن طريق القياس بقاعدة البيانات الحكومية اليابانية (بواسطة GC) الذي يظهر تحللاً أحيائياً لا يذكر لسداسي برومو ثنائي الفينيل في تجربة مدتها أربعة أسابيع لقابلية التحلل الأحيائي الجاهز (منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي)، المبدأ التوجيهي TG رقم ٣٠١ ج)، مما يؤدي إلى انخفاض التركيز الكلي بنسبة ٤ في المائة على النحو المقاس بواسطة GC (قاعدة البيانات NITE التابعة للحكومة اليابانية، ٢٠٠٦). مما يؤدي إلى تقدير بأن نصف عمر التحلل في الماء هو أكبر من شهرين.

وفي الظروف اللاهوائية، ظهر أن الكائنات الدقيقة في رسوبيات الأنهار المأخوذة من مناطق آهلة يمكن أن تُحلل أحيائياً لثنائي الفينيل المتعدد البروم الأعلى المستبدل، بما في ذلك مزائج فايرماستر (موريس وغيره ١٩٩٢) وذلك لتكوين منتجات أقل برومة (مأخوذة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). غير أن قدرة النباتات الدقيقة الموجودة في الرسوبيات والمأخوذة من مناطق نائية لم تتم دراستها وبحثها، ومن ثم لا يمكن تقييم ما إذا كانت إزالة البروم لاهوائياً سبباً كبيراً للتحلل في الظروف اللاهوائية.

وقد أفادت التقارير بأن ثنائي الفينيل المتعدد البروم PBBs يتمتع بالثبات في الظروف الميدانية. وقليلة هي المعلومات عن مصير ثنائي الفينيل المتعدد البروم في التربة. وظهر من عينات تربة مأخوذة من موقع سابق لتصنيع PBB، تم تحليلها عقب عدة سنوات من إطلاق عارض، أن التربة لا تزال تحتوي على ثنائي الفينيل المتعدد البروم. ومع ذلك فقد اختلف تكوين متجانسات النوع الواحد congener عند مزج الـ PBB الأصلي، مما يشير إلى تحلل جزئي لبقايا الـ PBB في عينات التربة. وطبقاً للاستعراض الذي أجرته هيئة معايير الصحة البيئية في عام ١٩٩٤، فإن دراسات المتابعة الاستقصائية خلال فترة ثلاث سنوات عقب انتهاء إنتاج PBB لم تظهر انخفاضاً ذا بال في مستويات هذه المادة في الرسوبيات المأخوذة من أحد الأنهار. وقد دلت الفحوص المخبرية على أن مزائج ثنائي الفينيل المتعدد البروم تبدو مقاومة بدرجة معقولة لتحلل الميكروبي (مأخوذة من هيئة معايير الصحة البيئية ١٥٢ (IPCS, 1994)). وهذا يعني ضمناً أن نصف عمر التحلل في التربة والرسوبيات هو أكثر من ٦ أشهر.

وتشير وكالة ATSDR الأمريكية (٢٠٠٤) إلى الدراسات التي أجريت على التربة بتركيزات عالية من الفاير ماستر، والتي كان تحلل سداسي برومو ثنائي الفينيل فيها "كبيراً" لعدة سنوات ولكنه لم يكن كاملاً. ومع ذلك ففي تربات أخرى حيث كانت التركيزات أقل، أو التي أضيف لها السماد البلدي، كان التحلل أبطأ. وقد عُزي التحلل إلى التحلل الضوئي، حتى وإن كانت عملية التحلل الضوئي هذه تحدث فقط على سطح التربة (وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

الخلاصة

على الرغم من التحلل الضوئي في الميثانول، فإنه من المشكوك فيه ما إذا كان سداسي برومو ثنائي الفينيل يمكن أن يتحلل سريعاً في الهواء. وهناك دليل على حدوث تحلل منخفض في الماء أو حتى على عدم حدوثه (نصف وقت التحلل أكثر من شهرين)، وفي التربة والرسوبيات نصف وقت التحلل (أكثر من ٦ أشهر) في المختبر وفي الميدان. لذلك تعتبر مادة سداسي برومو ثنائي الفينيل عالية الثبات.

٢-٢-٢ التراكم الأحيائي

تشير هيئة معايير الصحة البيئية EHC إلى أن ثنائي الفينيل المتعدد البروم ينحذب للدهون وقادر على التراكم الأحيائي. وتجدر هذه الإشارة سناً لها في نتائج الرصد التي خلصت إليها الدراسات التي أجريت على الحياة البرية. ونضرب مثلاً على ذلك بأسمك المنوة كبيرة الرأس *fathead minnows (Pimephales promelas)* الموضوعه داخل جواي (أقفاص معدنية) خلال شهر أقيمت مستويات ثنائي الفينيل متعدد البروم في مياهها عند قيمة ثابتة قدرها ٠,١ ميكروغرام/لتر، فقد تركزت تلك الملوثات في أجسام هذه الأسماك بأكثر من عشرة آلاف مرة في أسبوعين من التعرض (EHC 152; IPCS, 1994).

وكما هو متوقع من ميل هذه المادة الكيميائية إلى الانحذاب إلى الدهون، فقد أبدى ثنائي الفينيل المتعدد البروم اتجاهات ملحوظة نحو التراكم في أجسام الحيوانات، فإن وكالة ATSDR الأمريكية (٢٠٠٤) تقول إن مركبات ثنائي الفينيل متعدد البروم يمكن أن تنتقل من الماء إلى الأحياء المائية التي يمكن أن يحدث فيها التركيز الأحيائي. وتشير البيانات المأخوذة من مختلف المختبرات بشأن التركيز الأحيائي لثنائي الفينيل المتعدد البروم إلى وجود تفاوت لهذه المادة في الأسماك. وقد وصل عامل التركيز الأحيائي الثابت مختبرياً لسداسي برومو ثنائي الفينيل (مزائج من متجانسات النوع الواحد غير محددة) في الجسم بالكامل لأسماك المنوة كبيرة الرأس إلى ١٠٠ ١٨ خلال فترة تعرض مدتها ٣٢ يوماً (فايث وغيره ١٩٧٩) وفي اللحم الخالص *fillet* من أسماك المنوة كبيرة الرأس، بلغ عامل التركيز الأحيائي التقديري أكثر من ١٠٠٠٠ (هيس وباورز ١٩٧٨). وسجلت قيم عوامل تركيز أحيائي، حسب الوزن - في حدود ٤٧٠٠-١٦٠٠٠ في اختبار مدته ٦٠ يوماً على سمك الكارب *CARP (Cyprinus carpio)* كما سجلت تركيزات لسداسي برومو ثنائي الفينيل قدرها ٠,١ - ١ ميكروغرام/لتر على التوالي (قاعدة البيانات اليابانية الحكومية، ٢٠٠٦).

وبالإضافة إلى ذلك، أظهر جانسون وغيره (١٩٩٣)، قدرة التضخم الأحيائي الذي اكتشف عامل تضخم أحيائي (BMF) لـ 2,2',4,4',5,5' لسداسي برومو ثنائي الفينيل (متجانس P.B.B-153) قدره نحو ١٧٥ عن طريق مقارنة التركيزات في دهون الفرائس (الرنجة) والمفترس (فقمة البلطيق). وكانت قيمة هذا العامل الأحيائي للدهن عند نفس مستوى قيمة المتجانس ١٥٣ لثنائي الفينيل المتعدد الكلور. وقد أكد هذه النتائج فوركامب وغيره (Vorkamp et al (٢٠٠٤)^(٦) الذي وجد أن تركيزات ثنائي الفينيل المتعدد البروم ١٥٣ ذي القاعدة الدهنية لدى الدب القطبي عامل يزيد بنحو ١٠٠ عن الفقمة الحلقيّة من شرق غرينلاند. وهم يخلصون كذلك إلى أن مركبات سداسي البروم متعدد الفينيل (وإثر من ثنائي الفينيل المتعدد البروم) يبدو أنها تتضخم بيولوجياً على امتداد سلسلة الغذاء بطريقة متشابهة مع خصائص ثنائي الفينيل المتعدد الكلور، وأن سداسيات البروم ثنائية الفينيل تعطي مؤشرات على ارتفاع القدرة على التضخم الأحيائي عن مركبات إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم (فوركامب وغيره، ٢٠٠٤).

(٦) هذه البحوث جزء من برنامج الرصد والتقييم لمنطقة القطب الشمالي (AMAP).

الخلاصة

مع وجود قيم عامل التركيز الأحيائي حسب الوزن في حدود ٤٧٠٠-١٨٠٠٠ (والتي يتجاوز معظمها ٥٠٠٠) وعوامل تضخم أحيائي مثبتة في سلسلة الغذاء المائية، يعتبر سداسي البروم متعدد الفينيل ذا قدرة عالية على التراكم الأحيائي وذا قدرة عالية على التضخم الأحيائي. وقد أثبت العديد من الباحثين أن هذه الخصائص مشابهة لخصائص سداسي الكلور ثنائي الفينيل الذي تم توثيق خصائصه التراكمية الأحيائية توثيقاً جيداً. ويبدو أن الدلائل مرضية بحيث يخلص المرء إلى ارتفاع درجة التراكم الأحيائي والتضخم الأحيائي.

٢-٢-٣ القدرة على الانتقال البيئي بعيد المدى

إن تحلل سداسي برومو ثنائي الفينيل في البيئة يخضع لمكافئ تفريق الماء عن لأوكتانول الخاص به (٦,٣٩) وقابليته المنخفضة للذوبان في الماء (٣ ميكروغرام/لتر) مما ينتج عنه الامتصاص في المادة الجسيمية (التربة، التراب والترسيب) والمادة العضوية (بما في ذلك الكائنات الحية) يضاف إلى ذلك، أن اجتماع هذه الخصائص وضغط البخار المنخفض نسبياً (٦,٩ x ١٠^{-٦} إلى ٧,٥ x ١٠^{-٤} باسكال) من سداسي برومو ثنائي الفينيل تنتج عنه قدرة منخفضة على التطاير. وتبين وكالة ATSDR الأمريكية (٢٠٠٤) بالتحديد ما يلي: استناداً إلى ثابت قانون هنري المقدر البالغ ٩٥ x ١٠^{-٣} باسكال م^٣/مول (حيث ثابت قانون هنري يساوي ضغط البخار/القابلية للذوبان في الماء) ثم طريقة تقدير (توماس ١٩٩٠)، فإن نصف العمر المقدر للتطاير بالنسبة لسداسي برومو ثنائي الفينيل هو ٢٣ يوماً. لذلك فإن انتقال ثنائي الفينيل المتعدد البروم من الماء إلى الغلاف الجوي عن طريق التطاير لا ينتظر له أن يكون ذا بال.

ويمكن إجراء تقييم قدرة الانتقال بعيد المدى لسداسي برومو ثنائي الفينيل عن طريق مقارنة خصائصه بخصائص تلك المواد الكيميائية المدرجة حالياً كمملوثات عضوية ثابتة. وكنقطة بداية لإجراء تقييم سداسي برومو ثنائي الفينيل، استخدمت أعلى قيمتين وأدنى قيمتين واردتين في الجدول ١-١ (لضغط البخار، والقيمة فقط عند ٢٥ درجة مئوية)، ولأغراض المقارنة، استخدمت المعلومات الواردة في الصفحة الرئيسية الخاصة بالمملوثات العضوية الثابتة على الموقع الشبكي لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة. ومن بين المملوثات العضوية الثابتة المدرجة في الوقت الراهن، توافرت معظم الخصائص ذات الصلة بالنسبة للألدرين، الكلوردان، والديلدرين، والـ دي. دي. تي، سداسي الكلوروبتزين، الميركس، التوكسافين، الاندرين وسباعي الكلور. وبذلت محاولة للحصول على المعلومات الناقصة (عن قابلية ذوبان الميركس في الماء) لدى ATSDR الأمريكية (١٩٩٥) بحيث لا يتم إدخال ما يبدو أنها قيمة عزلاء في المقارنة عن طريق استخدام قيمة الـ ٦,٥ x ١٠^{-٥} مغ/لتر من AMAP (٢٠٠٤).

ويوجد موحز في الجدول ١-٢ لقابلية الذوبان في الماء، ولضغط البخار وكذلك لثابت قانون هنري محسوبة من تلك القيم الخاصة بالمملوثات العضوية الثابتة المدرجة في الوقت الراهن، إلى جانب معلومات عن سداسي برومو ثنائي الفينيل من الجدول ١-٢.

الجدول ٢-١ قابلية الذوبان في الماء (WS)، ضغط البخار (VP) وثابت قانون هنري (المحسوب) (HLC) (عند درجة حرارة ٢٥ مئوية) لسداسي برومو ثنائي الفينيل والملوثات العضوية الثابتة المدرجة في الوقت الراهن

المادة	قابلية الذوبان في الماء مغ/لتر	ضغط البخار باسكال	ثابت قانون هنري باسكال م ^٣ /مول
سداسي برومو ثنائي الفينيل - حد أدنى	٠,٠١١	$10^{-6} \times 6,9$	٠,٣٩
سداسي برومو ثنائي الفينيل - حد أقصى	٠,٠٠٣	$10^{-6} \times 6,9$	١,٤٤
ملوث عضوي ثابت - حد أدنى	٠,٠٠١٢ (دي. دي. تي)	$10^{-6} \times 2,5$ (دي. دي. تي)	٠,٠٤ (اندرين)
ملوث عضوي ثابت - حد أقصى	٣,٠ (توكسافين)	٢٧ (توكسافين)	٣٧٢٦ (توكسافين)
ملوث عضوي ثابت ثان - حد أقصى	٠,٥ (ديلدرين)	٠,٠٤ (سباعي الكلور)	٢٦٧ (سباعي الكلور)

يوضح الجدول ٢-١ قابلية سداسي برومو ثنائي الفينيل للذوبان في الماء عند مستوى أدنى قابلية للذوبان في الماء وهو مستوى (الـ دي. دي. تي)، من بين الملوثات العضوية الثابتة. وبذلك وعلى الرغم من أن ضغط بخار سداسي برومو ثنائي الفينيل يقل بدرجة حتمية عن ضغط بخار الـ دي. دي. تي. أما ثابت قانون هنري المحسوبان لسداسي برومو ثنائي الفينيل فيوجدان داخل حيز النطاق الذي تحتله الملوثات العضوية الثابتة في الوقت الراهن، وهو يعطى درجة حتمية على الأقل عن المستوى الأدنى الذي يستأثر به (الاندرين). وينبغي ملاحظة أنه لدى عرض البيانات في الجدول ٢-١، لا يستدل على أن المادة الكيميائية (وهي سداسي برومو ثنائي الفينيل هنا) تفي بمعيار الانتقال البعيد المدى في البيئة فقط مجرد كونها ضمن مجموعة القيم للملوثات العضوية الثابتة المدرجة حالياً.

وإذا قسنا بضغط البخار وحده، تغدو قدرة سداسي برومو ثنائي الفينيل على الانتقال طويل المدى وبالحمل جواً منخفضة إذا قورنت بمعظم الملوثات العضوية الثابتة المدرجة في الوقت الراهن، وإن كانت إحدى المقارنات من ثوابت قانون هنري تضع سداسي برومو ثنائي الفينيل في مرتبة قريبة جداً من الإيلدرين.

وتدفع هيئة معايير الصحة البيئية ١٥٢ (١٩٩٤) بأن ضغط بخار سداسي برومو ثنائي الفينيل هو $10^{-6} \times 6,9$ باسكال ومن ثم فإن قدرته على التطاير تكون منخفضة. ولا تتوافر معلومات عن نصف حياة سداسي برومو ثنائي الفينيل المقاس في الغلاف الجوي. وفي المختبر، كان التحلل الضوئي لسداسي برومو ثنائي الفينيل $2,2',4,4',5,5'$ سريعاً (٩٠ في المائة تحلل بعد تسع دقائق) مؤدياً بصورة رئيسية إلى ثنائيات فينيل أقل برومة PBBs (EHC 152 (IPCS, 1994)). ومن ناحية أخرى لم يتم أي تحديد تفصيلي لمعدلات أو لنطاق تفاعلات التحلل الضوئي لثنائيات الفينيل المتعددة البروم في البيئة. وتشير الملاحظات الميدانية القليلة المتوافرة إلى ارتفاع ثبات ثنائيات الفينيل المتعددة البروم الأصلية أو إلى التحلل الجزئي للنواتج الضوئية الأقل برومة والأكثر سمية غالباً.

ولدعم تقييم القدرة على الانتقال البيئي بعيد المدى، فإن بيانات الرصد تشير إلى أن هذه المادة قد تمكنت من الوصول إلى المناطق النائية مثل بحر برانتس وغرينلاندا. وفي منطقة القطب الشمالي يمكن قياس سداسي برومو ثنائي الفينيل في عينات من الحيوانات وذلك في بحوث عديدة. ويرد موجز للنتائج في المرفق ألف، الجدول ألف - ١.

وفي سمك الويتفيس (whitefish) من لايلاند (شمال اسكندنافيا) وفي الفقمة الحلقيه ringed seal من سفالبارد، أفاد جانسون وغيره (١٩٩٣) عن تركيزين قدرهما ٠,٢٩ و ٠,٤٢ ميكروغرام/كغ في الدهن، على التوالي (١٩٩٣). وفي ورقة أخرى ذكر جانسون وغيره (١٩٨٧) أن هناك تركيزات لسداسي برومو ثنائي الفينيل (فايرماستر، Firemaster BP- (6) في الفقمة الحلقيه المأخوذة من سفالبارد، وصلت إلى ٤ ميكروغرام/كغ عن الدهن، وتركيزات في عضلات الغلموت* تبلغ ٥٠ ميكروغرام/كغ في الدهن. وليس من الواضح ما إذا كانت هذه النتائج قد أخذت من فحوصات مختلفة. ومن أجل إجراء مقارنة، قام كروجر (Krüger) (١٩٨٨) بقياس ٠,٨ ميكروغرام/كغ من ثنائي الفينيل المتعدد البروم ١٥٣ في عينات غير محددة من الفقمة من نفس المنطقة (مأخوذة من وكالة ATSDR الأمريكية ٢٠٠٤).

وفي عينات من سمك العقرب (char) جمعت في ١٩٩٩-٢٠٠١ من بحيرة أو بحيرتين في جزيرة بير Bear Island في بحر نارنتس، قام إيفسيت Evenset وغيره (٢٠٠٥) بقياس تركيزات قدرها ٤,١١ - ٥١,٥ ميكروغرام/كغ دهون من سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB 153). وينبغي استخدام هذه الأرقام بقدر من الحذر ذلك أن مستويات الملوثات العضوية الثابتة الأخرى مرتفعة جداً على الدوام في سمك العقرب (char) في هذه البحيرة. وقد يعزى ذلك إلى عملية انتقال أحيائي محلية من خلال أنواع الطيور في الجوار. وهذه المستويات هي نفسها مستويات PBB 153 أو أعلى منها (٢,٠٤-٩,٤ ميكروغرام/كغ دهون) في سمك التروثة المأخوذ من البحيرات كعينات في ١٩٩٧ من بحيرات اوناريو وايري وهيرون وسويبيور والتي تولى قياسها لوروس Luross وغيره (٢٠٠٢) الجدول (٢-٢).

قام فوركامب وغيره (٢٠٠٤) بقياس تركيزات إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم في عينات أخذت من غرينلاند وجزر فارو من الرسوبيات ومن سبعة أنواع من الحيوانات تمثل مستويات التغذية المختلفة في السلسلة الغذائية وكفحص رائد أجريت تحليلات لحمسة من ثنائيات الفينيل متعدد البروم بما في ذلك ثنائي الفينيل المتعدد البروم - ١٥٣ وذلك على عينات منتقاة من الشحم الحيواني أو الدهن المأخوذة من الفقمة الحلقيه، وحوث مينك وعلى الدب القطبي من غرينلاند وكذلك على حوت رائد وطائر فولمار من جزر فارو. وقد أمكن اكتشاف ثنائي الفينيل المتعدد البروم في جميع العينات فيما عدا عينات الرسوبيات، وعينات من سمك الاسقليبين (Scalpin) قصير الشوك وعينات من الفقمة الحلقيه من غرب غرينلاند، وكان ثنائي الفينيل المتعدد البروم - ١٥٣ هو المتجانس الأكثر شيوعاً بصورة عامة. أما التركيزات التي قيست في العينات من (شرق) غرينلاند فكانت في حدود ٠,٣٤-٤٤,٢٦ ميكروغرام/كغ دهون مع وجود أقل القيم في عجل البحر (الفقمة) وأعلى القيم في الدب القطبي. أما مجال التركيزات بالنسبة لثنائي الفينيل المتعدد البروم - ١٥٣ فكان ٨,٧١-٢٥,٥٤ ميكروغرام/كغ محسوباً بوزن الدهن مع وجود أعلى القيم في جسم طائر الفولمار وهو طائر مفترس للأسماك (Vorkamp et al., 2004).

ولأغراض المقارنة، كانت تركيزات ثنائي الفينيل المتعدد البروم - ١٥٣ في الفقمة الرمادية والعقاب النساري osprey في بحر البلطيق، ٢٦ و ٢٢ ميكروغرام/كغ محسوبة بوزن الدهن، وذلك على التوالي (Jansson وغيره، ١٩٩٣). وهكذا تكون تركيزات ثنائي الفينيل المتعدد البروم - ١٥٣ تبعاً لوزن الدهن بالميكروغرام/كيلوغرام لدى الفقمة من القطب الشمالي (٠,٣٤-٠,٧٤) أقل كثيراً مما لدى الفقمة من بحر البلطيق (٢٦ ميكروغرام/كغ بوزن الدهن)، وإن كانت التركيزات في أجسام الطيور المفترسة من المنطقتين المذكورتين (الفولمارو fulmar والعقاب النسارية osprey) بنفس القدر من الحجم أي ٢٥ و ٢٢ ميكروغرام/كيلوغرام بوزن الدهن، على التوالي.

* الغلموت طائر من طيور البحار الشمالية (الترجم).

ويخلص فوركامب وغيره (٢٠٠٤) إلى أن ثنائيات الفينيل المتعددة البروم وإثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم تبدو أنهما لا تتضخمان أحياناً في سلسلة الغذاء البحرية بصورة مشابهة لثنائيات الفينيل متعددة الكلور. وتنطوي ثنائيات الفينيل المتعددة البروم على مؤشرات على قدرة التضخم الأحيائي حتى بدرجة أعلى مما هو الحال في إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم. حتى وإن كانت تركيزاتها المطلقة أقل من تركيزات إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم، فإن النسبة بين إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم /ثنائي الفينيل المتعدد البروم PBDE/PBB تضخم بالترتيب لدى الفقمة الحلقية أقل من الحوت الرائد أقل من حوت المينك أقل من الفولمار أقل من الدب القطبي، مما أدى تقريباً إلى تركيزات متساوية من إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم وثنائي الفينيل المتعدد البروم في الدب القطبي. ويبدو أن المركبات تسير في نفس الاتجاه المكافئ على ما سلفت ملاحظته بالنسبة لمركبات الكلور العضوي organochlorine، مع وجود تركيزات في شرق غرينلاند أعلى مما هو الحال في غرب غرينلاند (فوركامب وغيره، ٢٠٠٤). وهذا يشير إلى أن الانتقال بعيد المدى لسداسي برومو ثنائي الفينيل قد يكون بطيئاً.

إن معلومات الرصد لثنائيات البروم متعدد الفينيل الواردة من مناطق خارج منطقة القطب الشمالي وأوروبا الشمالية وأمريكا هي معلومات شحيحة حيث لم يتم العثور إلا على مرجع واحد ولم تكتشف مادة سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB 153) حيث (أقل وحدة يمكن ملاحظتها تتراوح بين ٠,٠٢ و ٠,١ بالوزن غير الجاف) في العينات المأخوذة من العضلات والكبد من العديد من أنواع الأسماك من منطقة تركيا بشرق البحر المتوسط (Erdogru، وغيره، ٢٠٠٥).

وموجز القول أن الاستعراض الذي أجرته هيئة المعايير الصحية البيئية في ١٩٩٤ خلص إلى أن انتقال PBBs طويل المدى في الغلاف الجوي لم تنهض أدلة عليه، غير أن وجود هذه المركبات في عينات فقمة منطقة القطب الشمالي يشير إلى توزيع جغرافي واسع النطاق (EHC 152 (IPCS, 1994)). وقد أفاد العديد من الباحثين بوجود مستويات سداسي برومو ثنائي الفينيل (وثنائيات فينيل مبرومة أخرى) في أجسام حيوانات القطب الشمالي ولا سيما في أجسام المفترسات الآكلة للأسماك والمفترسات ذات مستويات التغذية الأعلى.

وفي دراسة نمذجة تمت مؤخراً، بحث شيرنجر وغيره (٢٠٠٦) الثبات والقدرة على الانتقال بعيد المدى لأربعة ملوثات عضوية ثابتة محتملة من بينها الكلورديكون وسداسي برومو ثنائي الفينيل. واستنتجوا أن هذه الملوثات العضوية الثابتة المشرحة لديها خصائص الثبات والانتقال بعيد المدى شبيهة بخصائص العديد من الملوثات العضوية الثابتة المعروفة. يضاف إلى ذلك، أنها تشتمل على شكوك فيما يتعلق بنوعية البيانات في تحليل أجري في مونت كارلو والذي أشار إلى أن النتيجة سليمة على الرغم من وجود أوجه عدم يقين كثيرة بشأن الخصائص الكيميائية للملوثات العضوية الثابتة الأربعة المرشحة.

الخلاصة

على الرغم من أن سداسي برومو ثنائي الفينيل أقل تطايراً من أي من الملوثات العضوية الثابتة المدرجة في الوقت الراهن فإنه متواجد في جميع أشكال الحياة البرية بالقطب الشمالي، مما يشير إلى أن لديه القدرة على الانتقال بعيد المدى في البيئة. وهناك أدلة إضافية على الانتقال البيئي البعيد المدى لسداسي برومو ثنائي الفينيل ظهرت من دراسة النمذجة التي أجراها شيرنجر وغيره، ٢٠٠٦.

٢-٣ العرض

حيث أن من المفترض أن إنتاج سداسي برومو ثنائي الفينيل قد توقف (القسم ٢-١-٢)، فإن تقييم التعرض سوف يركز على التعرض بصفة عامة بدلاً من أن تقتصر على مواقع الإنتاج القائمة حالياً.

٢-٣-١ التركيزات في المحيط البيئي اللاأحيائي

إن بيانات الرصد الحديثة في التربة والماء والرسوبيات لثنائيات البروم متعددة الفينيل PBBs محدودة. وتشير بيانات الرصد الشاملة من الولايات المتحدة الأمريكية إلى أن تركيز الـ PBB في البيئة تنحصر في المناطق القريبة من مرافق التصنيع ومناطق ميتشيغان التي تأثرت بحادث المزرعة الذي وقع في أوائل فترة السبعينات (أنظر الجزء ٢-٢-٣) (وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

إن البيانات المتوافرة الوحيدة عن تركيزات الـ PBBs في البيئة في المناطق الواقعة خارج حيز مواقع الإنتاج السابقة هي البيانات المتعلقة بعينات الرسوبيات من غرينلاند (فور كامب وغيره، ٢٠٠٤)، حيث لم يتم اكتشاف الـ PBBs (بما فيها PBB-153) في أي عينة (غير أن حدود الكشف/الكمية ليست معروفة جيداً في الورقة).

٢-٣-٢ التركيزات في النبات والحيوان (biota)

على مقربة من ميتشيغان

تم قياس التركيزات في الكائنات الحية بالقرب من مواقع حادث التلوث ومواقع الإنتاج بالعديد من العينات أثناء العقد من الزمان اللاحق على توقف الإنتاج. وتضيف وكالة ATSDR الأمريكية ما يلي: في أواخر الثمانينات تم اكتشاف ثنائيات الفينيل المتعددة البروم PBBs في حدود تركيز قدره ١٥ - ١٥٠٠٠ ميكروغرام/كغ (على أساس الدهن) في الأسماك المأخوذة من الفجوات الخليجية وروافد بحيرة هورون، ولكن ليس من بحيرة سوبيريور. وقد قام لوروس وغيره مؤخراً (٢٠٠٢) بتحديد تركيزات العديد من متجانسات لنوع الواحد من ثنائي الفينيل المتعدد البروم في تروته Trout البحيرات من بحيرات هورون وسوبيريور وإيري وانتاريو. وقد وجدت المادتان 2,2',4,4',5,5' - سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB-153) و 2,2',4,5,5' - خماسي البروم ثنائي الفينيل (PBB-101) بأعلى المستويات التي تراوحت بين ٠,١٨٩ و ٢,٠٨٣ ميكروغرام/كغ بالوزن غير الجاف، ومن ٠,٠٤٢ إلى ٠,٦٣٣ ميكروغرام/كغ بالوزن غير الجاف على التوالي. واكتشف العديد من متجانسات النوع الواحد أيضاً في عينات أسماك التروته المأخوذة من هذه البحيرات. (مأخوذة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). أما التركيزات ثنائيات الفينيل متعددة الروم PBBs في بيض الطيور آكلة الأسماك (طائر الخرشنة العادي (common tern)، والنورس الصغير، ونورس الرنكة، وطيور اللقشة ذات ريش الصدر الأحمر) التي جمعت خلال الفترة من ١٩٧٥ - ١٩٨٠ من جزر بناء الأعشاش في بحيرة ميتشيغان في الشمال الغربي وغرين باي التي اشتملت على ثنائيات الفينيل المتعدد البروم PBBs بتركيزات تتراوح بين ٠,٠٢ - ٠,٢٥ مغ/كغ (ميكروغرام/غرام) بالوزن غير الجاف (هايتز وغيره، ١٩٨٣، ١٩٨٥) (مأخوذة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

المناطق الأخرى

نوجز في الجدول ألف - ٢ في المرفق ألف بيانات الرصد التي جمعت من مناطق خارج القطب الشمالي (أنظر الفصل ٢ - ٣) وهي أكثر المناطق تعرضاً في الولايات المتحدة الأمريكية.

وتضيف هيئة معايير الصحة البيئية (HEC 152) التحقيقات التالية بشأن مخلفات (سداسي) البروم ثنائي الفينيل في الكائنات الحية على النحو التالي:

- في أوروبا عشر على سداسي برومو ثنائي الفينيل - 2,2',4,4',5,5' (PBB 153) في الأسماك المصادة من أثمار ألمانيا والسويد بتركيزات تتراوح بين ٠,٣ إلى ٠,٦ ميكروغرام/كغ دهن (كروجر، ١٩٨٨، جانسون وغيره، ١٩٩٢). وفي عينة تروته مأخوذة من مزرعة تربية وجدت المستويات من PBBs فيها أكثر انخفاضاً بكثير عما وجد في عينات الأسماك المأخوذة من الأثمار (كروجر، ١٩٨٨).
- كشفت (العينات المجمعة) من غزلان الرنة السويدية عن مستويات من سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB 153) تصل في انخفاضها إلى ٠,٠٤ ميكروغرام/كغ دهن (جانسون وغيره، ١٩٩٢).
- ثنائيات الفينيل المتعددة البروم (كمجموعة) لم توجد في القضاة (otters) (*Lutra canadensis*) من منطقة نائية نسبياً عن المواقع الصناعية في شمال شرق البرتا (كندا) (سومرز وغيره، ١٩٨٧).
- عينات الأسماك (أنواع المياه العذبة والأنواع البحرية) التي جمعت في ١٩٨٣ من منطقة صناعية في اليابان (أوساكا) لم تشتمل على "PBBs" (غير محددة) (واتانابي وتاتسوكاوا، ١٩٩٠).
- في أوروبا، تم اكتشاف PBBs في الفقمات (*Phoca vitulina; Pusa hispida*)، الغلموت (*Uria aalge; U. lomvi*) ونسور البحر بيضاء والذيل (*Haliaeetus albicilla*). أما التركيزات (التي قدرت عن طريق المقارنة بالمنتج التقني فايرماستر BP-6، فقد تراوحت بين ٣ و ٢٨٠ ميكروغرام/كغ في الدهن (جانسون وغيره، ١٩٨٧). وكذلك تركيزات PBBs في عينات مماثلة مأخوذة من بحر البلطيق كانت كلها أعلى من التركيزات الموجودة في العينات المأخوذة من بحر القطب الشمالي. وينطبق نفس الشيء على إثير ثنائي الفينيل المتعدد البروم وPCBs (جانسون وغيره، ١٩٨٧).
- تراوحت تركيزات سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB 153) في الأسماك البحرية من ٠,٢ إلى ٢,٤ ميكروغرام/كغ دهن (كروجر، ١٩٨٨؛ جانسون وغيره، ١٩٩٢) ووجدت مستويات PBB 153 تبلغ ٠,٤-٢٦ ميكروغرام/كغ دهن في الفقمات (كروجر، ١٩٨٨؛ جانسون وغيره، ١٩٩٢).
- أجريت تحليلات تفصيلية خاصة بالأيزومرات تحديداً بواسطة كروجر (١٩٨٨) على PBB في الأسماك (أنواع عديدة) مأخوذة من بحر البلطيق وبحر الشمال ومن أقسام نهر لبي LIPPE ونهر رور AUR بشمال الراين - ويستفاليا، ألمانيا. وشمل ذلك الفرز كذلك عينات من الفقمات من سبيتسبيرغن (النرويج). وقد وجدت ثنائيات الفينيل المتعدد البروم في جميع العينات. ووجد أقل عدد من متجانسات النوع الواحد في PBB في الفقمة (ن = ٥) من منطقة نائية عن المواقع الصناعية. وتمثلت المكونات الرئيسية في مختلف الأيزومرات سداسية البروم. ومع سداسي برومو ثنائي الفينيل - 2,2',4,4',5,5'، واصلت تركيز متوسط قدره ٠,٨ ميكروغرام/كغ دهن. أما متوسط

التركيزات من متجانسات PBB وأيزومراتها (من خماسي إلى ثنائيات الفينيل غير المبرومة) المقاسة في الأسماك (ن = 35) فقد تراوحت في معظم الحالات بين 0,1 و 2 ميكروغرام/كغ دهن. واختلف نمط متجانسات PBB الموجودة في الأسماك من حيث الخصائص تبعاً لاختلاف أماكن الصيد. ومع وجود كميات عالية نسبياً من تساعي، وثمانى البروم ثنائي الفينيل (إضافة إلى إثباتات ثنائية الفينيل متعددة البروم)، في الأسماك المأخوذة من أهامر ألمانيا (ن=17) العديد من الأنواع، فإن ثنائيات الفينيل سداسية البروم كانت سائدة في الأسماك المأخوذة من بحر الشمال وبحر البلطيق (ن = 17، العديد من الأنواع). وفي جميع العينات من بحر البلطيق (ن=6) وجد سداسي برومو ثنائي الفينيل - 3,3',4,4',5,5' بتركيزات عالية نسبياً (حيث التركيز الأدنى 36 ميكروغرام/كغ دهن) ولكنه لم يشاهد في العينات المأخوذة من بحر الشمال والأهامر. أما التركيزات لثنائيات الفينيل الأخرى متعددة البروم فكانت في الأسماك المأخوذة من بحر البلطيق أعلى منها في معظم الحالات من الأسماك المأخوذة من بحر الشمال.

(مأخوذة من EHC 152 (IPCS، 1994))

وتضيف وكالة ATSDR الأمريكية (2004) المعلومات التالية:

- اشتملت ثلاثة دلافين من نوع بوتلنوز (*Tursiops truncatus*) جمعت أثناء الفترة من 1987 - 1988 من وسط الأطلنطي الأمريكي على ثنائيات الفينيل المتعددة البروم PBBs بتركيزات قدرها 14-20 ميكروغرام/كغ على أساس الدهن (كويهل وغيره، 1991). ولم يفصح عن مصدر الـ PBBs في الدلافين.
- بلغت التركيزات المتوسطة لثنائيات الفينيل المتعدد البروم في جثث وأمخاخ 10 عينات من النسور الصلعاء (*Haliaeetus leucocephalus*) جمعت من 29 ولاية في عام 1977 على 0,07 و 0,05 مغ/كغ على التوالي (كايسر وغيره، 1980). ولم تشتمل 22 عينة أخرى على مستويات يمكن اكتشافها (<0.03 mg/kg [µg/g]) من ثنائيات الفينيل المتعددة البروم.
- وفي الدلافين بيضاء المناقير من بحر الشمال كانت تركيزات ثنائي، خماسي، عشاري البروم ثنائي الفينيل BBs هي 13، 8، 3، وأقل من 0,9 µg/kg (µg/kg) بالوزن غير الجاف. وتراوحت تركيزات رباعي، خماسي، وعشاري PBBs بين 1,1-1,9، 0,4-0,9، أقل من 0,5 ميكروغرام/كغ بالوزن غير الجاف على التوالي في حيتان العنبر sperm whales من المحيط الأطلسي (دي بوير de Boer وغيره، 1999).
- وكذلك اشتملت عينات من سمك بحر البلطيق الألماني (وهي العينات الوحيدة في ذلك البحث) على ثنائي الفينيل المتعدد البروم 169 بتركيز قدره 15,16 ميكروغرام/كغ دهن ((IPCS، 1994) HEC 152).
- وفي العينات البلجيكية من جثث الطيور المفترسة، كان التفاوت في تركيزات سداسي برومو ثنائي الفينيل مرتفعاً. وهكذا كانت التركيزات القصوى المقاسة في العضلات والأكباد 150 و 180 ميكروغرام/كغ في الدهن، على التوالي (جاسبر وغيره، 2006).
- وقاس جانسون وغيره (1993) سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB 153) في عينات غزال الرنة (أكلات العشب) من شمال السويد فوجدها عند مستوى 0,037 ميكروغرام/كغ في الدهن. وفي حيوانين عاشبين آخرين هما (الأرنب والموس (moose)) من جنوب السويد لم يمكن اكتشاف ثنائيات الفينيل المتعدد البروم PBBs (حيث أن مستوى الاكتشاف لم يتحدد بوضوح).

٢-٣-٣ التركيزات في الأنسجة البشرية ولبن الرضاعة

ميتشيغان Michigan

جرت مناقشة التعرض البشري لسداسي برومو ثنائي الفينيل غداة وقوع حادث ميتشيغان في EHC 152 (١٩٩٤) وكذلك لدى وكالة ATSDR الأمريكية (٢٠٠٤). أما الاتجاهات العامة للنتائج فيأتي بيانها على النحو التالي في EHC 152 (1994):

- أن ١٠٠ في المائة تقريباً من العينات الدهنية التي اختيرت عشوائياً في جميع أنحاء الولاية كان بها تركيزات من الـ PBB يمكن اكتشافها. وهكذا فإن تعرض سكان ميتشيغان للـ PBBs على امتداد الولاية يمكن التدليل عليه.
- أن مستويات الـ PBBs في المصل (لاندريجان، ١٩٨٠؛ وولف وغيره، ١٩٨٢)، في لبن الأم (برلياني وغيره، ١٩٧٨؛ ميلر وغيره، ١٩٨٤) في الأنسجة الدهنية (وولف وغيره، ١٩٨٢) كانت هي الأعلى في منطقة الحادث (شبه الجزيرة السفلي) وكانت هي الأقل في شبه الجزيرة العليا، أي على أبعد مكان من المصدر.
- وبالمقارنة بسكان المزارع التي فرض عليها الحجر الصحي، وجدت في المنتجات ولدى المستهلكين المباشرين من مزارع الحجر، وعمال إنتاج الـ PBB، كانت نسب التركيزات في الأنسجة بين السكان بصفة عامة في ميتشيغان ١-٣ أمثال. يضاف إلى ذلك مثلاً، أن ٣٦ في المائة فقط من السكان العاملين كان لديهم تركيزات الـ PBB في أمصال دمائهم تزيد على ١ ميكروغرام/لتر، مقارنة بـ ٧٨ في المائة بين المزارعين (أندرسون وغيره، ١٩٧٩؛ وولف وغيره، ١٩٨٢).
- يبدو أن مستويات ثنائي الفينيل المتعدد البروم PBB عند الذكور أعلى منه عند الإناث (ميستر وماككوي، ١٩٧٦؛ لايدريغان وغيره، ١٩٧٩؛ لايدريغان، ١٩٨٠؛ وولف وغيره، ١٩٧٨، ١٩٨٠؛ كرايس وغيره Kreiss، ١٩٨٢؛ إيستر وغيره؛ ١٩٨٣) وأعلى عند الأطفال (تحت سن الـ ١٠ سنوات) منه عند البالغين (هفري وهايتز، ١٩٧٥؛ لاندريجان وغيره، ١٩٧٩؛ لاندريجان ١٩٨٠؛ بار Barr، ١٩٨٠؛ وولف وغيره، ١٩٨٢) (مأخوذة من EHC 152 (IPCS، ١٩٩٤)).

أما التطور التالي فيرد وصفه لدى EHC 152 (١٩٩٤)

- لم يظهر، في معظم الحالات أن تركيزات الـ PBB آخذة في النقصان بدرجة كبيرة مع مرور الوقت، وأن وولف وغيره (١٩٧٩ب) لم يعثروا على أي اختلاف ذي بال في مستويات الـ PBB في أمصال دماء تسعة عمال بمزارع إنتاج الألبان أثناء فترة الملاحظة وهي ١٨ شهراً.
- وتوفر أيضاً لاجتماع ميتشيغان المعني بـ PBB والذي ضم ١٤٨ عضواً عينات مصل مزدوجة، واحدة جمعت في ١٩٧٤ والأخرى في ١٩٧٧. وتشير البيانات إلى أن المستويات كانت مستقرة بصفة عامة خلال فترة ثلاث سنوات مع حدوث تغير متوسط قدره ١٦ ميكروغرام/لتر (لاندريجان وغيره، ١٩٧٩). وفي دراسة أخرى لاجتماع ميتشيغان المعني بالـ PBB، فإن حالات الانخفاض في مستويات الأمصال المتوصلة من الـ PBB فيما بين الأزواج المتوافقة خلال فترة سنة أو سنتين (١٩٧٧-١٩٧٨) و(١٩٧٧-١٩٧٩) كانت ١ ميكروغرام/لتر فقط (كرايس وغيره، ١٩٨٢). ولم يلاحظ أي تغييرات ذا بال في بلازما الدم خلال فترة ٥ أشهر على ٤١ من

القاطنين في مزارع مفروض عليها الحجر الصحي (همفري وهابنر، ١٩٧٥). وعلى النقيض من ذلك، أبلغ ميستر وماكوي McCoy، (١٩٧٦) عن انخفاض خلال ٣ سنوات (١٩٧٤ - ١٩٧٦) في مستويات الـ PBB في مصل الدم. ووجد الباحث كذلك أن متوسط الانخفاض في تركيزات الـ PBB في دهن ١٦ فرداً كان نحو ٤٠ في المائة خلال فترة ٦ أشهر. ولم تشاهد تغييرات في مستويات الـ PBB خلال فترة ١١ سنة (١٩٧٦ - ١٩٨٧) في عينات الدهن التي أخذت من مريض مصاب بالتعرض طويل الأجل للـ PBBs منذ أوائل السبعينات نتيجة لوقوع حادث ميتشيغان وكان المستوى المتوسط للدهن من الـ PBBs هو ٠,٨ مغ/كغ (شيرمان، ١٩٩١).

- وفي عام ١٩٨١ وجدت الـ PBBs في ١٣ - ٢١ في المائة من عينات الأمصال المأخوذة من أطفال في الرابعة من أعمارهم. وكانت أمهاتهم ينتمين إلى مجموعة أجري عليها مسح من حيث استهلاكهن لأسمك سورت فيش، من بحيرة ميتشيغان (مستوى متوسط من PBB كان ق اكتشف لدى الأطفال: ٢,٤ نانوغرام/مول) أو فيما يتعلق بتعرض سابق لمنتجات مزارع مفروض عليها الحجر الصحي (تم اكتشاف مستوى متوسط PBB لدى الأطفال: قدره ٣,٠ نانوغرام/ميللتر) (جاكوبسون وغيره، ١٩٨٩). (مأخوذة من EHC 152، IPCS، ١٩٩٤).

المناطق الأخرى

تشدد هيئة EHC 152 (١٩٩٤) على نقص دراسات الرصد المتوافرة خارج ميتشيغان حيث لا يتوافر إلا القليل من بيانات الرصد البشري عن السكان الأمريكيين خارج ميتشيغان. وتتناول إحدى الدراسات السكان القاطنين على مقربة من المناطق الصناعية والضالعين في إنتاج الـ PBB أو استعمالها (ستراتون وبتلوك، ١٩٧٩)، في حين تتناول الدراسة الأخرى مزارعي ولاية ويسكونسن الذين تم فحصهم كمجموعة قياسية control group فيما يتعلق بدراسات الـ PBB في ميتشيغان (وولف وغيره، ١٩٧٨).

وقد وجدت ثنائيات الفينيل المتعدد البروم في جميع الدراسات، ولكن نظراً لقلّة البيانات، لا يكون المضمون واضحاً. وقد وجدت أعلى تركيزات الـ PBB في شعر السكان الذين يعيشون بالقرب من صناعة الـ PBB. ومن العينات التسع التي تم تحليلها، فإن خمس عينات كان بها مستويات من الـ PBB الممكن اكتشافها. واشتملت كل من عينات الذكور والإناث على ثنائيات الفينيل المتعددة البروم PBBs (ستراتون وبتلوك، ١٩٧٩).

وهناك القليل جداً من بيانات رصد البشر من الـ PBBs في سكان البلدان غير الولايات المتحدة الأمريكية. وأفاد كروجر وغيره بوجود تلوث بالـ PBB في لبن المرضعات في أوروبا وذلك في دراسة مسحية من ألمانيا شمال الراين - ويستفاليا. واشتملت عينات اللبن (n=25) على متجانسات النوع الواحد من الـ PBB واشتملت على خماسي - إلى ثنائي البروم ثنائي الفينيل بتركيزات تتراوح بين ٠,٠٠٢ و ٢٨ ميكروغرام/كغ على أساس دهن اللبن. وكان أكثر المكونات هو سداسي برومو ثنائي الفينيل - 2,2',4',5',5',6' (PBB 153) تتلوه ذرّة مكونة من ايزومرين لسباعي البروم ثنائي الفينيل هما: سباعي البروم ثنائي الفينيل (2,2',3,4',5,5',6'- و 2,2',3,4',4',5,6'-) أي (PBB 182، PBB 187). واكتشفت الاختلافات في الشكل فقط في اللبن من أنداء السيدات الصينيات، وفي لبن امرأة تعرضت لعدة حرائق في الصناعة.

وكانت تركيزات PBB 153 في لبن الأمهات (البشر) والبقر والذي جمع من نفس المنطقة (شمال الراين - ويستفاليا) ١ ميكروغرام/كغ و ٠,٠٣ ميكروغرام/كغ على التوالي، مقاسة على أساس الدهون (كروجر Krüger، ١٩٨٨). (مأخوذة من EHC 153، IPCS، ١٩٩٤).

٢-٣-٤ التعرض البشري

تعتبر وكالة ATSDR الأمريكية (٢٠٠٤) التعرض البشري في الوقت الراهن لثنائيات الفينيل المتعدد البروم (PBBs) منخفضاً للغاية نظراً إلى أن هذه المواد لم تعد تنتج أو تستخدم. ومن ثم، سوف يكون تعرض السكان بصفة عامة لـ PBBs نتيجة لإطلاقات حدثت من قبل في وقت ما. أما بالنسبة للسكان الذين يقطنون شبة جزيرة ميتشيغان السفلي، ولاسيما في الجوار الملاصق للمناطق الملوثة بالـ PBB في هذه المنطقة، فإن التعرض لثنائي الفينيل المتعدد البروم قد يكون التعرض الذي لا يزال يحدث حتى يومنا هذا. إلا أن المستويات البيئية آخذة في الانخفاض منذ السبعينات، وأن التعرض الحالي، إن وجد، سيكون داخل حدود منخفضة. أما بالنسبة للمناطق الأخرى في الولايات المتحدة، فسوف تكون مستويات التعرض إما منخفضة للغاية أو غير موجودة (مأخوذة من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

وفي مناطق القطب الشمالي والمناطق الواقعة شمال الأطلسي، حيث يشتمل الغذاء التقليدي على المفترسات الكبيرة (مثل الفقمة في غرينلاند والحوت الرائد في جزر فارو). لم يتوقف التعرض. ويشير مستوى الـ PBBs في شحوم الحوت بايلوت بوجه خاص إلى نحو ١٧ ميكروغرام/كغ من الدهن، وهذا يشير إلى وجود سداسي برومو ثنائي الفينيل في الغذاء. ويستهلك شحم الحوت بايلوت كطعام شهبي في جزر فارو.

٢-٤ تقييم المخاطر في نهايات سلسلة التفاعل المعنية

٢-٤-١ السمية

وكما ورد بيانه في القسم ١-١-١، فإن الواصفة "سداسي برومو ثنائي الفينيل" تغطي ٤٢ من ثنائيات الفينيل المتعدد البروم أو من متجانسات النوع الواحد على النحو المدرج إفرادياً في المرفق باء. ويشير المسح الذي أجرته EHC (IPCS، ١٩٩٤) إلى أن ثنائيات الفينيل المتعددة البروم هي الأكثر سمية في الرتبة الكيميائية لثنائيات الفينيل المتعدد البروم، وأن المتجانسات الأعلى (سباعي، ثماني، تساعي، وعشاري البروم ثنائي الفينيل) ذات سمية متدرجة الانخفاض. أما دراسات السمية الإيكولوجية فقد أجريت بشكل رئيسي على سداسي برومو ثنائي الفينيل -2,2',4,4',5,5'-(PBB 153)، وهو المكون الرئيسي في مزيج الـ PBB المكون لفاير ماستر FireMaster® كما أجريت دراسة على FireMaster® ذاته. ويبدو أن سمية FireMaster® مرتبطة بالدرجة الأولى بالمكونات الأخرى وهي: سداسي برومو ثنائي الفينيل -2,3,3',4,4',5-، وسداسي برومو ثنائي الفينيل -2,3',4,4',5,5' وسداسي برومو ثنائي الفينيل -3,3',4,4',5,5'-(PBB 169) و-2,3',4,4',5,5' خماسي البروم ثنائي الفينيل (IPCS، ١٩٩٤). أما متجانسات نفس النوع السائدة في FireMaster® وهي (سداسي برومو ثنائي الفينيل -2,2',4,4',5,5'-(سباعي البروم ثنائي الفينيل -2,2',3,4,4',5,5' فهي أقل سمية (IPCS، ١٩٩٤). كذلك فإن الملوثات السمية الأخرى في مزائج الـ PBB التقنية فتشمل النفايات متعددة البروم (HBNS). وقد تم تعريف سداسي البروم نفتالين كملوث سمي في FireMaster® BP-6 بمستويات تقترب من ١٥٠ جزءاً من المليون (بيرنيوم وغيره، ١٩٨٣، على النحو الوارد من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). وتعزى التأثيرات السمية لثنائيات الفينيل المتعدد البروم بصورة رئيسية إلى التعرض للمتجانسات من نفس نوع سداسي برومو ثنائي الفينيل (مأخوذة من هيئة معايير الصحة البيئية EHC 152 (IPCS، ١٩٩٤) ووكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)، وذلك على الرغم من عدم إمكانية تجاهل المساهمة المحتملة من جانب سداسي النفثالين المتعدد البروم.

آلية الحركة

إن سداسي برومو ثنائي الفينيل بالاشتراك مع كل ثنائيات الفينيل المتعدد البروم هي مستحاثات قوية للإنزيمات الاستقلابية من الحويصلات الكبدية P-450 في الكبد. أما الآلية الحركية المسببة لعدد من التأثيرات السمية الإيكولوجية لبعض هذه المركبات بما فيها تحريض الأنزيمات الاستقلابية، وسمية الجهاز المناعي، والسمية الكبدية وسمية أجهزة التناسل، فيعتبر أن مرجعه هو التعامل مع المُستقبل Ah الخَلَوِيّ cellular Ah receptor (الذي هو هدف الديوكسينات متعددة الكلورة والفورانات ومركبات ثنائي الفينيل متعددة الكلورة PCBs الشبيهة بالديوكسينات)، مما يسبب اختلافات في التجسد الجيني (بولاند وغولوفر، ١٩٧٧، ١٩٨٠؛ بولند وغيره، ١٩٧٩؛ غولدستاين، ١٩٨٠؛ مور وغيره، ١٩٨٠؛ ماكينني McKinny وسينغ Singh، ١٩٨١؛ باركنسون وسيف وغيره، ١٩٨١؛ بانديرا وغيره، ١٩٨٢، ١٩٨٣، ماكينني وماكنول، ١٩٨٢؛ نيريت وغيره، ١٩٨٢؛ بولند وكانستون، ١٩٨٢؛ روبستون وغيره، ١٩٨٢؛ سيف وغيره، ١٩٨٢، ١٩٨٥؛ أوست Aust وغيره، ١٩٨٣؛ دانان Dannan وغيره، ١٩٨٣؛ ولاي Lai، ١٩٨٤ (ج، د)، سيف، ١٩٨٤ على النحو المأخوذ عن (IPCS، ١٩٩٤).

الحركية السمية

يمتص الجسم سداسي برومو ثنائي الفينيل جيداً، والغذاء هو طريق التعرض البشري الرئيسي وذلك نتيجة لتراكم والتضخم الأحيائيين في سلسلة الغذاء (IPCS، ١٩٩٤؛ وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). وقد استخدمت أغلبية دراسات السمية الإيكولوجية التي أجريت على الحيوان عن طريق البلع بالفم، ولا يتوافر إلا القليل من المعلومات عن التعرض عن طريق الاستنشاق أو عن طريق الجلد، على الرغم من أن تعرض العمال يشمل له أن يحدث بصورة رئيسية من خلال هاتين الطريقتين (وولف وغيره، ١٩٧٩، على النحو المنقول عن البرنامج الدولي للسلامة الكيميائية (IPCS)، ١٩٩٤). وعقب الامتصاص يتوزع سداسي البروم متعدد الفينيل على الجسم على نطاق واسع ويتراكم بأعلى التركيزات في الأنسجة الدهنية، وفي الكبد ولكن بدرجة أقل (IPCS، ١٩٩٤).

أما التعرض الرحمي (داخل الرحم) (*in utero*) فيتم عن طريق انتقال ثنائيات الفينيل المتعدد البروم إلى الذرية وذلك بالانتقال عبر الحبل السري، ناهيك عن أن المواليد يتعرضون لهذه المادة عن طريق لبن الرضاعة. وقد وجد أن لبن الرضاعة عند الإنسان يحتوي على مستويات من سداسي الفينيل ثنائي البروم - 2,2',4,4',5,5' تزيد مائة مرة عن تلك المستويات الموجودة في دم الأمهات (بريليتانت وغيره، ١٩٧٨؛ لتاردتغان وغيره، ١٩٧٩؛ إيستر، ١٩٨٣ على النحو المنقول عن (IPCS، ١٩٩٤).

إن استقلاب سداسي برومو ثنائي الفينيل وإخراجه عن طريق الإفرازات منخفض (IPCS، ١٩٩٤، ووكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)، ولذلك فإن المركبات تظهر تراكمًا أحيائياً ملحوظاً وثابتاً لدى جميع الأنواع. وقد قدرت متوسطات أنصاف عمر سداسي برومو ثنائي الفينيل - 2,2',4,4',5,5' بأنها ما بين ٨ و ١٢ سنة (IPCS، ١٩٩٤) بينما أبلغ عن أنصاف أعمار أقصى لدى الفئران والقروود وأنواع أخرى (برجاء الاطلاع على الجدول ٦٨ لدى (IPCS، ١٩٩٤). وقد قيل بأن بني الإنسان قد يحتفظون بمتجانسات من نفس النوع congeners بدرجة أكبر من حيوانات المختبر (مثل فرايز Fries ١٩٨٥، على النحو المنقول من (IPCS، ١٩٩٤)، وهي الظاهرة الموجودة أيضاً لدى الفورانات والديوكسينات متعددة الكلور.

ويقول دارنيرود جديلاً (٢٠٠٣) إن نمط السمية لثنائي الفينيل المتعدد الفلور ينبغي أن يكون مماثلاً لذلك الخاص بثنائي الفينيل المتعدد الكلور. بمنأى عن التغيير في التأثيرات التي تحدث نتيجة استبدال الكلور - البروم. وبناء عليه، يتوقع أن تكون مركبات ثنائي الفينيل المتعدد الفلور المتحدة السطح هي الأكثر سمية (حيث أنها ترتبط بمستقبل Ah) وأن تنخفض السمية من خلال المتجانسات الأحادية - الأوزوتو لمتجانسات الثنائية - الأورتو. ويجب أن يدعم ذلك بأدلة اختبارية حيث وجد أن سداسي برومو ثنائي الفينيل. ٣، ٣، ٤، ٤، ٥، ٥ متجانس ثنائي الفينيل متعدد البروم الأكثر سمية في نظم عدة (دارنيرود، ٢٠٠٣).

سمية سداسي برومو ثنائي الفينيل في الدراسات على الحيوان

يظهر سداسي برومو ثنائي الفينيل في التجارب على الحيوانات كسمية حادة منخفضة نسبياً (نصف الجرعة المميتة أكبر من ١ غرام/كغ وزن الجسم) (أنظر الجدول ٧٠ و١٩٩٤، IPCS). وقد ازدادت السمية عقب التعرض المتكرر (IPCS، ١٩٩٤)، نظراً للتراكم الحثيث للمركبات، والتأخر المتأصل في هذه المادة من حيث السمية عقب اكتشاف التعرض (دي كاولو وغيره، ١٩٧٨؛ غوبتا وموز ١٩٧٩ (على نحو ما نقل عن IPCS، ١٩٩٤). وعند تناول الجرعات المميتة يحدث الموت نتيجة "لأعراض الهزال" "wasting syndrome" مع فقدان ملحوظ في وزن الجسم بدلاً من حدوث مرض عضوي محدد (هتسنجر وغيره، ١٩٨٥؛ ماكونيل، ١٩٨٥، على النحو الذي نقل عن IPCS، ١٩٩٤). غير أن طول فترة تعرض حيوانات المختبر لجرعات في حدود أقل من ١ مغ/كغ وزن جسم/يوم إلى ١٠٠ مغ/كغ وزن جسم/يوم يسفر عن تغيرات في الكبد والكلي والغدة الدرقية مصحوبة بتأثيرات على الجهازين العصبي والمناعي، وخلل في أيض (porphyria) ومشاكل في الجلد (IPCS، ١٩٩٤).

ويرد في المرفق ألف، الجدول ألف - ٣ لهذه الوثيقة موجز نتائج عدد من الدراسات السمية الإيكولوجية الرئيسية على سداسي برومو ثنائي الفينيل. بما في ذلك مستوى التأثير الضار غير الملاحظ لأدنى مستوى ملاحظ للتأثير الضار (NOAEL/LOAEL) المبلغ عنه في كل وثيقة. وكانت الدراسات التي أدرجت في المرفق ألف، الجدول ألف - ٣ قد اختبرت من قاعدة بيانات كبيرة جداً عن الدراسات السمية الإيكولوجية بشأن سداسي برومو ثنائي الفينيل، على أساس أهمية مسار سلسلة التفاعل الخاضعة للبحث (مثل سمية الجهاز التناسلي، التسرطن، وسمية أعضاء محددة أخرى رئيسية)، وعلى أساس متانة الدراسات التي قدمت تقارير عنها، وعلى مستوى الجرعة (مستوى التأثير الضار غير الملاحظ/أدنى مستوى ملاحظ للتأثير الضار (NOAEL/LOAEL) التي أبلغت التأثيرات عنها، يُقدّم الجدول ٢-٢ أدناه معلومات عن الدراسات السمية الإيكولوجية المحورية (الدرجة أيضاً في المرفق ألف، الجدول ألف - ٣) الذي يقدم معلومات عن سمية سداسي برومو ثنائي الفينيل عند مستويات منخفضة من التعرض، والتي تعتبر ذات أهمية خاصة لتوصيف المخاطر الإيكولوجية السمية لتلك المركبات. وقد استخدمت بعض هذه الدراسات من جانب وكالة ATSDR الأمريكية لتعريف المستويات الدنيا للمخاطر (MRLs) لسداسي برومو ثنائي الفينيل (وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

وكان من بين التأثيرات التي أظهرتها دراسات السمية البيئية انخفاض هرمونات الغدة الدرقية الدائمة في الدورة الدموية في دراسة جرعات تغذوية مدتها عشرة أيام على الفئران مع أدنى مستوى تأثيرات غير ملاحظ قدره ١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (الين - رولاندز وغيره، ١٩٨١، على النحو المأخوذ من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)، مع انخفاض الاستجابات الليمفاوية المتكاثرة lymphoproliferative في الفئران عند مستوى الجرعة البالغ ٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (أدنى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL)) (لستر Luster وغيره، ١٩٨٠ (على النحو المأخوذ من وكالة ATSDR الأمريكية،

(٢٠٠٤)، ودرجة سمية عامة في ذكور قرودة الريزوس قدرها ٠,٧٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL)) (لامبريحت وغيره، ١٩٧٨ على النحو المنقول عن وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). وقد تسببت ثنائيات الفينيل المتعددة البروم في خلل في أيض الفرفرين لدى الفئران (porphyria) وذكور الجرذ عند مستوى جرعات بلغت من الانخفاض ٠,٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم. ووصل انعدام التأثير الضار غير الملاحظ إلى ٠,١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم.

وتدل هذه النتائج على أن سداسي برومو ثنائي الفينيل أحدث سمية طويلة الأمد لدى حيوانات التجارب عند تعاطي جرعات منخفضة للغاية، حيث التأثير الحرج لأعراض توصيف المخاطر هي التأثيرات التي تلاحظ في الغدة الدرقية لدى الفئران عند جرعات منخفضة وهي ٠,٠٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، وتشمل ازدياد عدد التجايف وانخفاض حجمها مصحوبة بتغيرات في مستويات جريان هرمون T3 و T4 (أكوسو وغيره، ١٩٨٢، على النحو المنقول عن وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

وأظهر عدد من الدراسات، بما في ذلك دراسات الجرعة المتكررة لدى فئران Fischer-344/N وجرذ B6C3F1 (ذكور وإناث) التسرطن الكبدي الناتج عن سداسي برومو ثنائي الفينيل، استخدمت FireMaster^(R)، FF-1 هذه الجرعات: 0، 0.1، 0.3، 1، 3، أو 10 مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NTP، 1983، NTP، 1992)، على النحو المنقول عن وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). واشتملت الأورام على الورم الغدي لخلايا الكبد والسرطان، وفي إناث الفئران، سرطان القنوات الصفراوية cholangiocarcinoma. وكانت أقل جرعة من FireMaster^(R) قد أدت إلى أورام (أورام غدية بالدرجة الأولى بدلاً من السرطان) لدى الفئران هي ٣,٠ مغ/كغ/وزن جسم/يوم لمدة سنتين، وفي الجرذ كانت الجرعة ١٠ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NTP 1983)، وذلك على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). أما الجرذ التي تلقت ٠,١٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم في دراسة اشتملت على التعرض قبل الولادة، وعند الولادة، بالإضافة إلى التعرض طوال الحياة فلم تعاني من أي تأثيرات ضارة (NTP 1992)، على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). وكانت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) في عام ١٩٧٨ قد خلصت إلى أن هناك ما يكفي من القرائن للتدليل على أن سداسي برومو ثنائي الفينيل مادة مسرطنة للجرذ والفئران، وربما مسرطنة لبني البشر (المجموعة باء). وليس سداسي برومو ثنائي الفينيل سميًا جينياً (genotoxic) في أوزان طفرات الجينات الخلوية الميكروبية ولدى الثدييات (أنظر الجدول ٨٨ في IPCS، ١٩٩٤)، وعلى الرغم من الإفادة بأنها تتدخل في الاتصالات فيما بين الخلايا (سلايت Sleight على النحو المنقول من IPCS، ١٩٩٤). وهذه النتائج مقرونة بنتائج دراسات تحريض الأورام (مثل شوارتر وغيره، ١٩٨٠؛ جانسين وغيره، ١٩٨٢، ١٩٨٣، ١٩٨٤؛ جانسين وسلايت، ١٩٨٦؛ ريزايك وغيره، ١٩٨٧؛ ديكسون وغيره، ١٩٨٨، على النحو المنقول عن IPCS، ١٩٩٤) وهي تشير إلى أن هذه المواد الكيميائية تسبب السرطان باليات النشوء اللابنيوي، وتشمل كلاً من السمية الكبدية والتضخم، بما في ذلك تحريض الصيغ الخلوي P-450 (IPCS، ١٩٩٤).

وقد تم الربط بين تعاطي سداسي برومو ثنائي الفينيل عن طريق الفم وبين الآثار الضارة على البارامترات القياسية للتناسل في طائفة من حيوانات التجارب (أنظر الجدول ٨٦ و ٨٧ في IPCS، ١٩٩٤). وكانت أكثر التأثيرات الضارة شيوعاً على الإنسان عدم القدرة على تكوين العلاقات وانخفاض في عدم لياقة النسل للحياة. وقد شوهدت هذه التأثيرات عند مستوى جرعات قدره ٢٨,٦ مغ/كغ/وزن جسم/يوم في دراسة على سمية الجهاز التناسلي مدتها ١٥ يوماً مع مراوحة الجرعات أثناء أيام الحمل صفر - ١٤ (بيدوان Beaudoin، ١٩٧٩، على النحو المنقول عن وكالة ATSDR الأمريكية)، وفي حيتان

المينك بتركيزات مقدارها ١ مغ/كغ في الغذاء (أولريك Aulerich وريغور، ١٩٧٩ كما نقل عن برنامج IPCS، ١٩٩٤). وقد لوحظ لدى إناث القروود التي تعطى لها يومياً جرعة قدرها ٠,٠١٢ مغ/كغ/وزن جسم/يوم لمدة سبعة أشهر قبل التزاوج وبعد الحمل، ولوحظ كذلك حدوث نفوق للأجنة بعد مرور سنة تقريباً من التعرض، وقد عزيت هذه الآثار إلى انخفاض البروجيستيرون في مصّل الدم (لامبرنست وغيره، ١٩٧٨؛ ألين وغيره ١٩٧٨، ١٩٧٩، (على النحو الوارد من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤).

الجدول ٢-٢ الدراسات السمية البيئية الخورية بشأن سمية سداسي برومو ثنائي الفينيل

النوع	نوع الدراسة	التأثير	أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL)/مستوى تأثير ضار غير ملاحظ (NOAEL)
فأر	السمية قصيرة الأجل/الحادة جرعة متكررة دراسة الجرعة التغذوية لعشرة أيام	انخفاض هرمونات T4 في تجاويف الغدة الدرقية	٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL) ١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، أدنى مستوى تأثير ضار غير ملاحظ (NOAEL)
فأر سبراغ داوي	دراسة تغذوية لمدة ٣٠ يوماً	ازدياد عدد تجاويف الغدة الدرقية وانخفاض حجمها	٠,٠٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL)
الجرذ B6c3F1	في الرحم، وبعد الولادة، التعرض لـ Gd 0-ppd 56	تورم غددي في خلايا الكبد وأورام لدى الذرية	١,٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL) ٠,١٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، مستوى تأثير ضار غير ملاحظ (NOAEL)
قرود ريزوس	دراسة تغذوية خاصة لمدة ٢٥ - ٥٠ أسبوعاً	فقدان ٣٤ في المائة من وزن الجسم لدى الذكور البالغين، صفر في المائة زيادة في الوزن في اليافعين، انتشار خلايا مخاطية، التهاب مزمن، التهاب القولون الحاد المتقيح، سقوط الشعر من بعض أجزاء الرأس (الوبيش) تقزم جريبات الشعر والغدد الدهنية، تغيرات سريرية كيميائية وكبدية	٠,٧٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL)
فأر سبراغ داوي	دراسة تغذوية خاصة لمدة ٧ أشهر	انخفاض هرمونات T3 و T4 في مصّل الغدة الدرقية	٠,٤٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL)
قرود ريزوس		استطالة الدورة الشهرية وزيادتها في ٧/٤؛ نزيّف عند تكوّن العلقه بحدار الرحم بـ ٧/٢. ٧/١ أجنة أجهضت، ٧/١ أجنة ولدت ميتة، ١٢ في المائة انخفاض في الوزن عند الولادة؛ ٢٢ في المائة انخفاض في الوزن عقب الولادة في ٧/٤ من المتبقين على قيد الحياة.	٠,٠١٢ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، أدنى مستوى تأثير ضار ملاحظ (LOAEL)

سمية سداسي برومو ثنائي الفينيل بالنسبة للإنسان

استمدت المعلومات عن التأثيرات السمية الإيكولوجية لـ PBBs (ثنائي الفينيل المتعدد البروم) لدى الإنسان من حادث ميتشيغان الذي ورد بيانه في ٢-١-٤ من مشروع موجز بيان المخاطر هذا (كارتر، ١٩٧٦)؛ غيبي وغيره، (١٩٧٧)؛ كاي (١٩٧٧)؛ دي كارلو وغيره (١٩٨٧) داماسترا وغيرها، (١٩٨٢)؛ زايبك (١٩٨٢)؛ وفرايز (١٩٨٥ب)، على نحو ما ذكرته هيئة معايير الصحة البيئية EHC 152 (IPCS، ١٩٩٤) وقد أسفرت تلك الحادثة عن تعرض واسع النطاق للمستهلكين لمدد تقرب من عام. وقبل تحديد تلوث الأغذية بـ PBBs، أزيلت الأغذية المتأثرة من سلسلة الأغذية.

وكان من بين التأثيرات التي أبلغ عنها على الصحة حدوث تغيرات في أنزيمات الكبد، والغنيان، وألم في أسفل البطن، وفقدان الشهية، وآلام المفاصل والإرهاق (أندرسون وغيره، ١٩٧٨ب، ١٩٧٩، على النحو الذي أبلغه برنامج IPCS، ١٩٩٤)، إلى جانب التقارير عن مشاكل الجلد بما فيها حب الشباب وفقدان الشعر خلال الفترة اللاحقة للتلوث (IPCS، ١٩٩٤). وقد تم الإبلاغ أيضاً عن اضطرابات جلدية مماثلة لدى العمال الذي يعملون في ظروف تعرض مهني لثنائي الفينيل المتعدد البروم (أندرسون وغيره، ١٩٧٨، على النحو الذي ورد في تقارير IPCS، ١٩٩٤). وعقب التعرض التالي للديوكسينات والفورانات متعددة الكلور.

وقد أحرقت دراسات وبائية تفصيلية على الحالة الصحية للأفراد المعرضين بما في ذلك الحالة المناعية، وعن تواتر السرطان، والتأثيرات على الجهاز التناسلي، والتأثيرات على نمو صغار الأطفال. ولم تستطع تلك الدراسات أن تثبت بصورة رئيسية صلة أكيدة بين أي من هذه التأثيرات والتعرض للمركبات ثنائية الفينيل متعددة الكلور، وأن كانت بعض الدراسات قد أفادت بانخفاض أداء الجهاز المناعي لدى السكان في مزرعة ميتشيغان (بيكيسي وغيره، ١٩٧٩، ١٩٨٧) وذكرت التقارير تأثيرات على نمو البلوغ لدى صغار الإناث (أنظر التأثيرات المخلة بجهاز الغدد الصماء أدناه).

ولا تتوافر تقارير عن حدوث تسمم حاد سداسي برومو ثنائي الفينيل لدى الإنسان، ولا توجد أيضاً دلائل وبائية ثابتة على حدوث تسرطن للكبد لدى أبناء البشر المعرضين. وسيقت الإشارة إلى وجود علاقة بين ارتفاع مستويات المصل (أكثر من ٢ جزء من البليون) من PBBs، وزيادة في خطر الإصابة بسرطان الثدي في دراسة مراقبة الحالات على نساء تعرضن أثناء حادث ميتشيغان للتلوث (هندرسون وغيره، ١٩٩٥؛ هوك Hoque وغيره، ١٩٩٨) غير أن وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤ (والنقل عن هذا المصدر) أفادت بأن النتائج لا تعدو عن كونها موحية وذلك نتيجة لوجود بعض العوامل مثل قلة عدد الحالات، عدم كفاية المعلومات عن عوامل مخاطر الإصابة بسرطان الثدي المعروفة، ونتيجة للخلط بين حالات التعرض والكميائيات كلورية العضوية.

التأثيرات على الغدد الصماء

إن لـ PBBs (وبالاستدلال، سداسي برومو ثنائي الفينيل) تأثيرات على أجهزة الغدد الصماء. وكانت هذه الأجهزة قد قُيِّمت بموجب استراتيجية الاتحاد الأوروبي للمخاطبات^(٧) بالغدد الصماء، ووضعت في الفئة ١ (دلائل على النشاط المُخل بالغدد الصماء في نوع واحد على الأقل باستخدام حيوانات سليمة) من قائمة المواد الكيميائية ذات الأولوية التي وضعتها استراتيجية - الاتحاد الأوروبي EU-Strategy. ويقوم هذا التوصيف على دليل تأخر حدوث فتحة المهبل عند إناث الفئران

http://europa.eu.int/comm/environment/endocrine/strategy/substances_en.htm (٧)

حديثاً الولادة، وعلى الأدلة الوبائية التي تشير إلى نقص إفراز الغدة الدرقية (hypothyroidism) لدى العمال الذين تعرضوا لثنائيات الفينيل المتعددة البروم، وزيادة حدوث سرطان الثدي بين النساء اللواتي يتعرّضن لثنائيات الفينيل المتعددة البروم (على النحو المذكور في تقرير BKH، ٢٠٠٠). وفي تقييم (بلانك وغيره، ٢٠٠٠) للنمو نحو البلوغ لدى فتيات وشابات تعرّضن وهن داخل الرحم، وعن طريق لبن الرضاع لمستويات مرتفعة من PBBs (أكثر من ٧ أجزاء في البليون) وجد أن الطمث بدأ في هذه الفئة السكانية في سن أصغر من مجموعة فتيات أخرى رضعن من أثناء أمهات تعرّضن لمستويات أقل من ثنائيات الفينيل المتعدد البروم، أو من فئة سكانية شديدة التعرض لم يتعرض لبن الأم لديها. وقد لوحظ النمو المبكر لشعر العانة لدى الفئة السكانية الأكثر تعرضاً، مما يوحي بوجود تأثير للـ PBBs على تطورات البلوغ (بلانك وغيره، ٢٠٠٠).

الخلاصة بشأن تقييم تأثيرات سمية سداسي برومو ثنائي الفينيل

يتمتع سداسي برومو ثنائي الفينيل بسهولة في الجسم ويتراكم عقب التعرض له لفترة طويلة. وعلى الرغم من أن السمية الحادة لسداسي برومو ثنائي الفينيل منخفضة، فقد لوحظ عدد من التأثيرات السمية المزمنة بما فيها السمية الكبدية في حيوانات التجارب عند إعطائها جرعات بنحو ١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم عقب تعرض طويل الأجل، وشوهدت التأثيرات في الغدة الدرقية للفأر عند جرعات منخفضة وصلت إلى ٠,٠٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم. وقد أمكن حث نشوء السرطان في دراسات أجريت على الحيوان عند جرعة مقدارها ٠,٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم، وكان انعدام مستوى التأثير الضار غير الملاحظ عند ٠,١٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم. وقد صنفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان سداسي برومو ثنائي الفينيل كمسرطن محتمل للإنسان (IARC group 2B). إن مادة الـ PBBs، (واستدلالاً سداسي برومو ثنائي الفينيل)، مادة أحيائية مخلة بالغدد الصماء، ويمكن مشاهدة تأثيراتها على قدرة الفئران والمينك والقرودة على التكاثر. وقد شوهدت التأثيرات لدى القروود التي تعاطت في غذائها ٠,٠١٢ مغ/كغ/وزن جسم/يوم لمدة ٧ أشهر قبل التزاوج أو أثناء الحمل، وهو أقل مستوى تأثير ضار لوحظ لسداسي برومو ثنائي الفينيل في الدراسات الوبائية. وهناك قرائن وبائية على نقص إفراز الغدة الدرقية لدى العمال الذين تعرضوا لثنائيات الفينيل المتعددة البروم (PBBs)، وعلى ازدياد حدوث سرطان الثدي لدى السيدات اللواتي يتعرّضن لها.

وهكذا يمكن استنتاج أن سداسي برومو ثنائي الفينيل هو مادة كيميائية قابلة للتراكم الأحيائي وذات طائفة من الآثار الضارة المحتملة على الصحة، ومن بينها التسرطن، وسمية جهاز التكاثر، والتأثيرات المخلة بالغدد الصماء والهرمونات الأخرى عند المستويات المنخفضة للغاية من التعرض.

٢-٤-٢ السمية الإيكولوجية

لا تتوفر إلا بيانات قليلة فقط عن تأثيرات ثنائيات الفينيل المتعددة البروم الـ PBBs على الكائنات الأخرى غير الثدييات. وقد وردت اختبارات السمية باستخدام عشاري البروم ثنائي الفينيل الصالح للأغراض التقنية (آدين 0102) والبكتريا (*Pseudomonas putida*) وبرغوث الماء (*Daphnia magna*) في EHS 152 (١٩٩٤). وكانت النتيجة حدوث تركيز فعال EC10 لـ ٥٣ مغ/لتر بالنسبة *Pseudomonas putida* (تكاثر الخالايا) ونصف تركيز فعال يزيد على ٦٦ مغ/لتر بالنسبة لبرغوث الماء (توقف الحراك - ٢٤ ساعة). ولما كانت هذه التركيزات تتجاوز قابلية سداسي برومو ثنائي الفينيل للذوبان

في الماء، فإن هذه البيانات لا تبدو مهمة بالنسبة لتقييم الآثار البيئية. ومع ذلك فإن حقيقة أن مستوى التركيز غير الملاحظ هو أقل من ٢ مغ/لتر ($< 2 \text{ mg/L}$) تشير إلى أن براغيث الماء قد تأثرت عند أدنى تركيز ورد في الاختبار.

ويبلغ ماكفي MacPhee ورييل Ruelle (١٩٦٩) وآبلغيت وغيره، (١٩٥٧) نتائج من الاختبارات قصيرة الأجل على سداسي برومو ثنائي الفينيل (رقم سجل المستخلصات الكيميائية ٨-٠١-٥٥-٣٦٣) وعلى العديد من أنواع الأسماك في نطاق ٥ - ١٠ مغ/لتر، (مقتبسة من قاعدة بيانات أيكوتكس US EPA، ٢٠٠٦). وهذه التركيزات أعلى أيضاً من قابلية الذوبان في الماء وقد تكون ذات أهمية بيئية محدودة.

وفي دراسة ميدانية على طيور الماء تم بوضوح تحديد الارتباطات بين التأثيرات السلوكية وتأدية وظيفة التناسل بنجاح وبين تركيزات ثنائيات الفينيل المتعددة البروم في الجسم (EHS 152 (IPCS، ١٩٩٤)).

وفي اختبار غير تقليدي على الأسماك في مرحلة مبكرة، قام هورنغ وغيره (١٩٩٦) بحقن ملوثات عضوية مهلجنة في بيض تروته قوس قرح rainbow trout eggs. وبالنسبة لسداسي برومو ثنائي الفينيل 3,3',4,4',5,5' فقد وجد أن نصف الجرعة المميتة تبلغ ٣,٩١٠ ميكروغرام/كغ. وهذه النتيجة لا تضاهي نتائج الاختبارات التقليدية للأسماك حيث التعرض يحدث عن طريق الماء، وإن كانت تضاهي نتائج اختبار آخر ذي تعرض مماثل. وكان هورنغ وغيره (١٩٩٦) قد أجروا هذه التجارب لمقارنة سمية الـ PCBs و PBBs واكتشفوا أن كلاً من رباعي البروم ثنائي الفينيل 3,3',4,4'- وسداسي برومو ثنائي الفينيل 3,3',4,4',5,5'- أقوى عشر مرات من ثنائيات الفينيل متعددة الكلور المطابقة المستبدلة.

واستناداً إلى ذلك فإنه يبدو من المنطقي توقع أن تكون السمية البيئية لسداسي برومو ثنائي الفينيل مماثلة لسمية سداسي الكلور ثنائي الفينيل.

٣ - تجميع المعلومات

إن سداسي برومو ثنائي الفينيل ينتمي إلى مجموعة أوسع من ثنائيات الفينيل المتعددة البروم (PBBs). وهي تستخدم بصورة رئيسية كمثبط للهيب وسداسي برومو ثنائي الفينيل مدرج الآن بالفعل في المرفق الأول من بروتوكول اللجنة الاقتصادية لأوروبا التابعة للأمم المتحدة المعني بالملوثات العضوية الثابتة.

وطبقاً للبيانات المتوافرة، يمكن اعتبار سداسي برومو ثنائي الفينيل عالي الثبات في البيئة. وهناك دليل على انخفاض تحلله - أو عدم تحلله - في الماء، وفي التربة والرسوبيات وفي المختبر وكذلك في الميدان. وهكذا يعتبر سداسي برومو ثنائي الفينيل عالي الثبات.

وسداسي برومو ثنائي الفينيل أقل تطايراً من الكثير من المواد العضوية الملوثة الثابتة. ومع ذلك فإن البيانات الكثيفة للرصد تشير إلى أنه موجود في جميع أنحاء الحياة البرية للقطب الشمالي مما يدل على أن له قدرة عالية على الانتقال بعيد المدى في البيئة.

ومع وجود قيم التركيز الأحيائي المقاسة والقائمة على أساس الوزن في حدود ٤٧٠٠-١٨١٠٠٠ وعوامل التضخم الأحيائي في سلسلة الغذاء المئوية متجاوزة ١٠٠، يعتبر سداسي برومو ثنائي الفينيل عالي التراكم الأحيائي وذا قدرة عالية على التضخم الأحيائي كذلك. وقد دلت العديد من الباحثين على أن هذه الصفات شبيهة بصفات سداسي الكلور ثنائي الفينيل (أي مركبات PCB). حيث صفات التراكم الأحيائي فيها موثقة توثيقاً جيداً.

وتمتص سداسي برومو ثنائي الفينيل جيداً في الجسم، وهو يتراكم عقب فترة تعرض مديدة. وبالرغم من انخفاض السمية الحادة لسداسي برومو ثنائي الفينيل، فقد لوحظ عدد من التأثيرات السمية المزمنة بما فيها السمية الكبدية لدى حيوانات الاختبار بجرعات تقرب من ١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم عقب تعرض طويل الأجل، وتشاهد التأثيرات على الغدة الدرقية للفأر عند جرعات منخفضة قدرها ٠,٠٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم. وقد صنفت الوكالة الدولية لبحوث السرطان سداسي برومو ثنائي الفينيل على أنه مسرطن محتمل للإنسان (IARC، المجموعة ٢ باء). وثنائيات الفينيل المتعددة البروم مواد كيميائية مُخلّة بالغدد الصماء، وتشاهد تأثيراتها على القدرة التكاثرية للفتران، والمينك والقرود. وهناك دلائل وبائية على نقص إفرازات الغدة الدرقية لدى العمال الذين تعرضوا لثنائيات الفينيل المتعدد البروم، وزيادة حدوث سرطان الثدي لدى النساء اللواتي تتعرضن لها. أما البيانات عن السمية لأنواع الأخرى غير ثدييات المختبر فهي شحيحة وإن كانت توحي بأن السمية البيئية لسداسي برومو ثنائي الفينيل مشابهة لسمية سداسي الكلور ثنائي الفينيل.

واستناداً إلى البيانات المتوافرة، يعتبر سداسي برومو ثنائي الفينيل ملوثاً عضوياً ثابتاً يجدر اتخاذ إجراء عالمي بشأنه.

لقد توقف إنتاج واستخدام سداسي برومو ثنائي الفينيل خلال العقود الزمنية المنصرمة ولكن لا يمكن استبعاد أنه لا يزال ينتج أو يستخدم لدى بعض البلدان. ويضاف إلى الانبعاثات أثناء التصنيع أو الاستخدام، أن سداسي برومو ثنائي الفينيل يمكن أن يلج إلى البيئة عن طريق الاستخدام الواسع النطاق كمنتجات تبييط اللهب. كما أن جزءاً لا بأس به من المادة المنتجة سوف تصل على الأرجح إلى البيئة إن عاجلاً أو آجلاً وذلك بسبب الثبات العالي لهذه المركبات. يضاف إلى ذلك أن بعضاً من هذه المواد الكيميائية قد تشكل ثنائيات بترو وفوران متعددة البروم أثناء عمليات الاحتراق.

٤ - بيان الخلاصة

لقد ثبت أن سداسي برومو ثنائي الفينيل يفي بوضوح بجميع المعايير المحددة في المرفق دال باتفاقية استكهولم. فهو مادة عالية الثبات جداً في البيئة. وله قدرة عالية على التراكم الأحيائي، ويضاف إلى ذلك أن ثمة دليلاً واضحاً على تضخمها الأحيائي. وبالنظر إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية واستناداً إلى نتائج العينات البيئية، فقد تم التحقق من أن سداسي برومو ثنائي الفينيل يمكن أن ينتقل مسافات طويلة بعيداً عن مصدره في الهواء. إن سداسي البروم ثنائي الفينيل هو مسرطن محتمل للبشر وقد يعتبر مادة قادرة على أن تؤدي إلى اضطراب وظائف الغدد الصماء.

كما يستطيع سداسي برومو ثنائي الفينيل الانتقال في الغلاف الجوي بعيداً عن مصدره، لذلك ليس في مقدور بلد واحد ولا مجموعة بلدان التخفيف من حدة التلوث الذي تحدثه هذه المادة. وقد اتجهت الآراء بحز ضرورة اتخاذ تدابير على الصعيد الإقليمي، وأصبح سداسي برومو ثنائي الفينيل محظوراً تماماً بموجب الاتفاقية المعنية بروتوكول انتقال الهواء بعيد المدى عبر الحدود للملوثات العضوية الثابتة. وعلى الرغم من احتمال توقف إنتاج واستخدام سداسي برومو ثنائي الفينيل لدى معظم البلدان فلا يزال إعادة استحداثه محتملاً، الأمر الذي قد يؤدي إلى زيادة الإطلاقات في البيئة وزيادة مستويات تلك الإطلاقات.

واستناداً إلى الدلائل المتوافرة، فإن من المحتمل أن يحدث سداسي برومو ثنائي الفينيل، لما له من قدرة على الانتقال البعيد المدى في البيئة، تأثيرات ضارة على صحة البشر و البيئة مما يجعل اتخاذ إجراءات عالمية بشأن ذلك أمراً له ما يبرره.

المصادر والنصوص

- AMAP (2004): AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, 2004.
- Ballschmitter K, Zell M (1980): Baseline studies of the global pollution: Occurrence of Organohalogenes in pristine European and Antarctic aquatic environments. *Int J Environ Anal Chem* 8:15- 25 (quoted from US ATSDR, 2004).
- Bekesi JG, Anderson HA, Roboz JP, Roboz J, Fischbein A, Selikoff IJ, Holland JF. (1979): Immunologic dysfunction among PBB-exposed Michigan dairy farmers. *Ann NY Acad Sci*, 320:717-728.
- Bekesi JG, Roboz JP, Fischbein A, Mason P. (1987): Immunotoxicology: environmental contamination by polybrominated biphenyls and immune dysfunction among residents of the State of Michigan. *Cancer Detect Prev Suppl* 1:29-37.
- BKH Final Report (2000): Towards the Establishment of a Priority List of Substances for Further Evaluation of their Role in Endocrine Disruption. Prepared for the European Commission, DG Environment. http://europa.eu.int/comm/environment/docum/pdf/bkh_main.pdf
- Blanck HM, Marcu M, Tolbert PE, Rubin C, Henderson AK, Hertzberg VS, Zhang RH, Cameron L. (2000): Age at menarche and tanner stage in girls exposed in utero and postnatally to polybrominated biphenyl. *Epidemiology* 11:641-647
- Darnerud, P.O. (2003): Toxic effects of brominated flame retardants in man and in wildlife. *Environment International*, Volume 29, Issue 6 P. 841-853
- Erdogru, O. (2005): Levels of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrom...*Environment International*, Volume 31 Issue 5 P. 703-711.
- European Community (1988): Council Regulation (EEC) No 1734/88 of 16 June 1988 concerning export from and import into the Community of certain dangerous chemicals. *Official Journal L* 155, 22.06.1988 p. 2 - 6
- Evenset, A. (2005): Selected chlorobornanes, polychlorinated naphthalenes and brominated flame retardants. *Environmental Pollution*. Volume 136, Issue 3 P. 419-430.
- Herzke, D. (2005): Brominated flame retardants and other organobromines in Norwegian predatory bird eggs. *Chemosphere*, 61, 441-449.
- Hesse, J.L. and Powers, R.A., (1978): Polybrominated biphenyl (PBB) contamination of the Pine River, Gratiot and Midland counties, Michigan. *Env. Health Perspect.*, 23:19-25.
- Hornung, M. W., E.V. Zabel & R.E. Peterson (1996): Additive Interactions between Pairs of Polybrominated Dibenzo- p -dioxin, Dibenzofuran, and Biphenyl Congeners in a Rainbow Trout Early Life Stage Mortality Bioassay. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 140, 345-355
- IARC (1978): International Agency for Research on Cancer (IARC) - Summaries & Evaluations, Polybrominated Biphenyls, Vol.: 18 (1978) (p. 107)
- IPCS (1994): Environmental Health Criteria 152: Polybrominated biphenyls. IPCS International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organisation. World Health Organization. Geneva 1994. Available at <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc152.htm>.
- IPCS (1997): Environmental Health Criteria 192: Flame Retardants: A General Introduction. IPCS International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organisation. World Health Organization. Geneva 1994. Available at <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc192.htm>.
- Jaspers, V.L.B., A. Covaci, S. Voorspoels, T. Dauwe, M. Eens & P. Schepens (2006): Brominated flame retardants and organochlorine pollutants in aquatic and terrestrial predatory birds of Belgium: Levels, patterns, tissue distribution and condition factors. *Environmental Pollution*, 139, 340-352.
- Jaspers, V.L.B., A. Covaci, A. Maervoet, T. Dauwe, S. Voorspoels, P. Schepens & M. Eens (2005): Brominated flame retardants and organochlorine pollutants in eggs of little owls (*Athene noctua*) from Belgium. *Environmental Pollution*, 136, 81-88.

Jansson B., L. Asplund, M. Olsson (1987): Brominated flame retardants – ubiquitous environmental pollutants? *Chemosphere*, 16, 2343-2349.

Jansson, B., R. Andersson, L. Asplund, K. Litzén, K. Nylund, U. Sellström, U-B. Uvemo, C. Wahlberg, U. Widequist, T. Odsjö & M. Olsson (1993): Chlorinated and brominated persistent organic compounds in biological samples from the environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12, 1163-1174.

Luross, J.M., M. Alaei, D.B. Sergeant, C.M. Cannon, D.M. Whittle, K.R. Solomon, D.C.G. Muir (2002): Spatial distribution of polybrominated diphenyl ethers and polybrominated biphenyls in lake trout from the Laurentian Great Lakes. *Chemosphere*, 46, 665-672.

Scheringer, M., M. MacLeod & F. Wegmann (2006): Analysis of four current POP candidates with the OECD P_{ov} and LRTP screening tool. Available at: <http://www.sust-chem.ethz.ch/downloads/>

Thomas, G.O. (2005) Absorption of decabromodiphenyl ether and other organohalogen chemicals by grey seals... *Environmental Pollution* Volume 133 (2005), Issue 3 P. 581-586

US ATSDR (2004): Toxicological Profile for Polybrominated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers (PBBs and PBDEs). 2004. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp68.html>

Vorkamp, K. (2004): Persistent halogenated compounds in black guillemots (*Cepphus grylle*) from Marine Pollution Bulletin. Volume 48, Issue 1-2 P. 111-121

المرفق ألف

الجدول ألف - ١ تركيزات سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB 153) في أجسام المفترسات في القطب الشمالي

سنة اختيار العينة	الموقع	النوع	النسيج	التركيز ميكروغرام/كغ دهن
١٩٩٩-٢٠٠٢	شرق غرينلاند	الدب القطبي <i>(Ursus maritimus)</i> ¹	شحم	٤٤-٣٣
١٩٩٨	جزر فارو	الفلمار <i>(Fulmarus glacialis)</i> ¹	دهن	٢٦-١٦
٢٠٠١	جزر فارو	الحوت الراند <i>(Globicephala melas)</i> ¹	شحم	١٧-٨,٧
> ١٩٨٧	محيط القطب الشمالي	غلموت <i>(Uria aalge)</i> ²	عضل	٦٥٠
٢٠٠٢	شرق غرينلاند	الفقمة الحلقيّة <i>(Phoca hispida)</i> ¹	شحم	٤٢-٠,٣٤
١٩٩٨-٢٠٠٢	غرب غرينلاند	الفقمة الحلقيّة <i>(Phoca hispida)</i> ¹	شحم	n.d.
> ١٩٨٧	سفالبارد	الفقمة الحلقيّة <i>(Phoca hispida)</i> ²	شحم	٦٤
١٩٨١	سفالبارد	الفقمة الحلقيّة <i>(Phoca hispida)</i> ³	شحم	٠,٤٢
> ١٩٨٨	سفالبارد	الفقمة sp ⁴	(متوسط)	٠,٨
١٩٩٨	شرق غرينلاند	حوت المينك <i>(Balaenoptera acutorostrata)</i> ¹	شحم	١,٢-٠,٥٦
١٩٩٩-٢٠٠١	بحر بارينتس	القطب الشمالي <i>(Salvelinus alpinus)</i> ⁵	عضل	٥٢ - n.d.
١٩٨٦	لابلاند	ويتغيش (اسماك) <i>(Coregonus sp.)</i> ²	عضل	٠,٢٩
٢٠٠٢	شرق غرينلاند	الاسقبلين قصير الشوك <i>(Myoxocephalus scorpius)</i> ¹	الكبد	n.d.
٢٠٠٢	غرب غرينلاند	الاسقبلين قصير الشوك <i>(Myoxocephalus scorpius)</i> ¹	الكبد	n.d.

n.d. = لم يكتشف P المراجع لا تورد تعريفاً شافياً لحدود الاكتشاف.

1: Vorkamp *et al.*, 2004,2: Jansson *et al.*, 1987,3: Jansson *et al.*, 1993,

4: Krüger, 1988 (EHC 152 من مقتبس من),

5: Evenset *et al.* 2005.6: FireMaster^(R) BP-6

الجدول ألف - ٢ تركيزات سداسي برومو ثنائي الفينيل (PBB 153) في الكائنات الحية، التي جمعت من المناطق دون القطبية الشمالية والمعتدلة خارج نطاق المنطقة الغربية من ميتشيغان

سنة أخذ العينة	الموقع	النوع	النسيج	التركيز بالميكروغرام/كغ دهن
الأنواع المائية				
١٩٨٥-١٩٧٩	بحر البلطيق	الفقمة الرمادية (<i>Halichoerus grypus</i>) ²	شحم	٢٦
> ١٩٨٧	بحر البلطيق	فقمة الموانئ (<i>Phoca vitulina</i>) ⁷	شحم	٢٠
> ١٩٨٧	بحر الشمال	فقمة الموانئ (<i>Phoca vitulina</i>) ⁷	شحم	٣
> ١٩٨٧	بحر البلطيق	الغلموت (طائر بحري) (<i>Uria aalge</i>) ⁷	عضل	١٦٠
١٩٨٨-١٩٨٧	منتصف المحيط الأطلسي الأمريكي	الدولفين ذو الأنف الضيق (<i>Tursiops truncatus</i>) ⁸	?	٢٠-١٤
> ١٩٩٩	بحر الشمال	الدولفين الأبيض المنقار (<i>Lagenorhynchus albirostris</i>) ¹⁰	?	١٣ (جسم رطب)
١٩٨٧	جنوب السويد	سمك الشار القطبي الشمالي (<i>Salvelinus alpinus</i>) ²	عضل	٠,٤٢
١٩٨٦	خليج بوئينان	سمك الرنكة (<i>Clupea harengus</i>) ²	عضل	٠,٠٩٢
١٩٨٧	بحر البلطيق بروبر (Proper)	سمكة الرنكة (<i>Clupea harengus</i>) ²	عضل	٠,١٦
١٩٨٧	سكاجيراك	سمك الرنكة (<i>Clupea harengus</i>) ²	عضل	٠,٢٧
> ١٩٨٨	ألمانيا	السمك النهري (متوسط) ^١	?	٠,٦٠
> ١٩٨٨	بحر البلطيق	سمك ^١	?	٢,٣٩
> ١٩٨٨	بحر الشمال	سمك ^١	?	١,٣١
١٩٩٧	البحيرات العظمى، الولايات المتحدة الأمريكية	تروثة البحيرات، (نطاق المتوسط) (<i>Salvelinus nanaycush</i>) (range of means) ⁶	سمكة كاملة	٢,٠٨ - ٠,١٩
الطيور المفترسة				
> ١٩٨٧	بحر البلطيق	النسر البحري الأبيض الذيل (<i>Haliaeetus albicilla</i>) ⁷	عضل	٢٨٠
١٩٧٧	٢٩ ولاية، الولايات المتحدة الأمريكية	النسر الأصلع (ذو بياض في الرأس) (<i>Haliaeetus leucocephalus</i>) ⁹	جثة/هيكل عظمي	> ٠,٠٣ - ٠,٠٧ (وزن جسم رطب؟)
١٩٧٧	٢٩ ولاية، الولايات المتحدة الأمريكية	النسر الأصلع (ذو بياض في الرأس) (<i>Haliaeetus leucocephalus</i>) ⁹	دماغ	> ٠,٠٣ - ٠,٠٥ (وزن جسم رطب؟)
١٩٨٦-١٩٨٢	جنوب السويد	جثث ² ، (<i>Pandion haliaeetus</i>) العقاب النساري	عضل	٢٢
٢٠٠٤-٢٠٠٣	بلجيكا	٧ أنواع من الطيور المفترسة (نطاق المتوسطات) ^٣	عضل	٣٥-٢
٢٠٠٤-٢٠٠٣	بلجيكا	٧ أنواع من الطيور المفترسة (نطاق المتوسطات) ^٣	الكبد	٤٣-٢
٢٠٠٠-١٩٩٨	بلجيكا	البوم الصغير (<i>Athene noctua</i>) ⁵	بيض لم يفقس	٦-١
٢٠٠٢-١٩٩١	النرويج	٦ أنواع من الطيور المفترسة (نطاق المتوسطات) ^٤	بيض لم يفقس	٩,٤-٠,٢

ميكروغرام/كغم (وزن جسم رطب)				
الحيوانات البرية المفترسة الآكلة للأعشاب				
n.d.	عضل	الأرنب (<i>Oryctolagus cuniculus</i>) ²	جنوب السويد	١٩٨٦
n.d.	عضل	الموظ (حيوان ضخم، أمريكا الشمالية) (<i>Alces alces</i>) ²	جنوب السويد	١٩٨٦-١٩٨٥
٠,٠٣٧	شحم (دهن)	الرنة (<i>Rangifer tarandus</i>) ²	شمال السويد	١٩٨٦

n.d. = لم يكتشف؛ المراجع لا تقدم تعريفاً شافياً لحدود الاكتشاف.

1: EHC (مقتبسة من المعيار) 152 (مقتبسة من المعيار) (IPCS, 1994), 2: Jansson *et al.* 1993, 3: Jaspers *et al.*, 2006, 4: Herzke *et al.*, 2005, 5: Jaspers *et al.*, 2006, 6: Luross *et al.*, 2002, 7: Jansson *et al.* 1987, 8: Kuehl *et al.* 1991 (US ATSDR, 2004 (مقتبسة من), 9: Kaiser *et al.*, 1980 (US ATSDR, 2004), 10: de Boer *et al.*, 1999 (US ATSDR, 2004 (مقتبسة من).

الجدول ألف-٣ موجز الدراسات السمية الرئيسية بشأن سداسي برومو ثنائي الفينيل

المرجع	أدنى مستوى تأثير ضار غير ملاحظ/مستوى تأثير ضار غير ملاحظ (LOAEL/NOAEL)	التأثير	نوع الدراسة	النوع (مادة الاختبار)
غويتا وغيره، ١٩٧٩ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)	١٠٠٠ مغ/كغ/يوم (LOAEL)	فقدان في وزن الجسم، نحول، سمية كبدية تغيرات كلورية وأدرنيالية. ضمور الغدة الصعترية، تنكز الكرمات اللنفوية في طورها الانتاشحي في الطحال	السمية قصيرة الأجل/الحادة جرعة متكررة لمدة ١٤ يوماً ٥ جرعات فردية يومياً في الأسبوع	فأر فيشر ٣٤٤/N (FF-1)
ألين - بولاندز وغيره، ١٩٨١ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)	٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL) ١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	انخفاض مصّل الغدة الدرقية هرمونات T4	دراسة جرعات تغذوية تحتوي على جرعة متكررة لمدة ١٠ أيام للسمية قصيرة الأجل	فأر
اكوسو وغيره، ١٩٨٢ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)	٠,٠٥ مغ/كغ/يوم (LOAEL)	ازدياد عدد، وانخفاض حجم تجاويّف الغدة الدرقية	دراسة جرعات غذائية لمدة ٣٠ يوماً	فأر سبراغ داوولي (BP-6)
غويتا وغيره، ١٩٨١ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)	٠,٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	تضخم الكبد والمرارة، وتنكز وحييد الخلية	سمية قصيرة الأجل/حادة لجرعة متكررة مدتها ١٤ يوماً، ٥ جرعات مفردة يومياً كل أسبوع	فأر صغير B6C3F1 (FF-1)
سلايت وسانجر، ١٩٧٦، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)	٠,٠٤ مغ/كغ/وزن جسم/يوم	تكون فجوات وتغيرات دهنية في الكبد	دراسة قمية غذائية مدتها ٣٠ يوماً	خنزير غينيا (PBB) غير محددة
فراكر وآرست، ١٩٨٧ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)	١٣٠ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	استجابة مخمدة غير مباشرة للأحسام المضادة في الأحواض النهرية، ضمور الغدة الصعترية	السمية الحادة/قصيرة الأجل، دراسة جرعات تغذوية غذائية بالقم مدتها ١٠ أيام	فأر بالب/ج (BP-6)
لاستر وغيره، ١٩٨٠ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)	٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	انخفاض الاستجابات الغذائية الليمفاوية المتكاثرة وانخفاض الاستجابات المتأخرة لفرط الحساسية	دراسة جرعات تغذوية مدتها ٦ أشهر ٥ جرعات فردية يومية كل أسبوع	فأر فيشر، 344/N (FF-1)

حاشية: BP-6 و FF-1 في الخانة ١ إشارة إلى FireMaster^(R) و FireMaster^(R) BP-6 FF-1 وهما ثنائيات الفينيل المتعددة البروم المستخدمة في دراسة السمية الوارد بياؤها.

الجدول ألف-٣ (تابع) موجز الدراسات السمية الرئيسية بشأن سداسي برومو ثنائي الفينيل

النوع	نوع الدراسة	التأثير	أدنى مستوى تأثير ضار غير ملاحظ/مستوى تأثير ضار غير ملاحظ (LOAEL/NOAEL)	المرجع
فرد ريزوس FF-1	٢٥-٥٠ أسبوعياً لدراسة جرعات تغذوية	فقدان ٣٤ في المائة من وزن الجسم الذكور البالغين، صفر في المائة زيادة في وزن اليافعين، انتشار خلايا مخاطية، التهاب مزمن، التهاب القولون الحاد المتقيم، سقوط الشعر من بعض أجزاء الرأس (الويشفا) تقترن جريبات الشعر والغدد الدهنية، تغيرات سريرية كيميائية وكبدية	٠,٧٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	الين وغيره، ١٩٧٨ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
فأر، سبراغ داوولي (BP-6)	دراسة تغذوية حموية مدتها ٧ أشهر	انخفاض مصلى الغدة الدرقية الهرمونات T3 و T4	٠,٤٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	بيريه وغيره ١٩٨٧ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
فأر فيشر، 344/N (FF-1)	دراسة جرعات تغذوية مدتها ٢٥ أسبوعاً، ٥ جرعات مفردة كل أسبوع	قرح بالمعدة، انخفاض مصلى الغدة الدرقية، الهرمون T4، اختلالات كبدية ونزيف، ضمور الغدة الصعترية - مرض نفرونات الكلبي المتدرج	٠,٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL) ٠,١ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	NTP ١٩٨٣، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
هولتزمان، فأر، سبراغ داوولي (FF-1)	دراسة جرعات تغذوية مدتها ٤ أسابيع، ٥ جرعات يومية كل أسبوع	انخفاض النشاط الحركي	٦ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL) ٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	غلير وآخرون، ١٩٧٩ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
فأر، سبراغ داوولي (BP-6)	دراسة جرعات تغذوية مدتها ٦ أشهر، ٥ جرعات يومية كل أسبوع	تأخر اكتساب الحركة وانخفاض النشاط في المجال المفتوح لدى الذرية	٢ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL) ٠,٢ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	هينك وآخرون، ١٩٩٤ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
الفرد ريزوس (FF-1)		استطالة الدورة الشهرية وزيادة في ٧/٤؛ نزيف عند تشبث العلقه بجدار الرحم بـ ٧/٢. في ٧/١ أجنة أجهضت، ٧/١ أجنة ولدت ميتة، ١٢ في المائة انخفاض في الوزن عند الولادة؛ ٢٢ في المائة انخفاض في الوزن عقب الولادة في ٧/٤ من المتبقين على قيد الحياة.	٠,١٢ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	لامبريست وغيره، ١٩٧٨، ألين وغيره، ١٩٧٨، ١٩٧٩، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
فأر، ويستار (BP-6)	دراسة مدتها ١٥ يوماً على السمية التناسلية إعطاء الجرعات بين صفر - ١٤ يوماً من أيام الحمل	لم يحدث انفراس العلقه في جدار الرحم في ٥/٢ فأر	٢٨,٦ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL) ١٤,٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	بيادوان ١٩٧٩، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
فأر، سبراغ داوولي	دراسة جرعات تغذوية للفران الحامل، تقدم الجرعات بين أيام الحمل ٧-١٥	تناسلي: تأخر افتتاح المهبل لدى الصغار	٠,٠٤ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	هارينس وغيره، ١٩٧٨ (على النحو المنقول عن التقرير النهائي BKH، ٢٠٠٠)

الجدول ألف-٣ (تابع) موجز الدراسات السمية الرئيسية بشأن سداسي برومو ثنائي الفينيل

النوع	نوع الدراسة	التأثير	أدنى مستوى تأثير ضار غير ملاحظ/مستوى تأثير ضار غير ملاحظ (LOAEL/NOAEL)	المرجع
فأر، سبراغ داوولي (BP-6)	دراسة حميوية غذائية مدتها ٤٠ يوماً	أوجه عجز خلقية في السلوك التعليمي لدى الذرية، ٦ أشهر بعد التعرض قبل الولادة وأثناء الرضاعة	٠,٢ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	هينك وريك، ١٩٨٦ (على النحو المنقول عن وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
فأر فيشر، 344/N (FF-1)	دراسة جرعات تغذوية مدتها ٦ أشهر، جرعات يومية مفردة ٥ أيام في الأسبوع الجرعات بين 0, 0.1, 0.3, 1, 3, or 10 مغ/كغ/يوم	ورم غدي في الخلايا الكبدية cholangiocarcinoma (عند الإناث فقط)	٣ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	NTP ١٩٨٣، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
جرذ B6C3F1 (FF-1)	دراسة جرعات تغذوية مدتها ٦ أشهر، جرعات يومية مفردة ٥ أيام في الأسبوع الجرعات بين 0, 0.1, 0.3, 1, 3, or 10 مغ/كغ/يوم	ورم غدي في الخلايا الكبدية وسرطان في الذرية	١٠ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL)	NTP ١٩٨٣، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
جرذ B6C3F1 (FF-1)	تعرض في الرحم وبعد الوضع من B6C3F1	ورم غدي في الخلايا الكبدية وسرطان في الذرية	١,٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (LOAEL) ٠,١٥ مغ/كغ/وزن جسم/يوم (NOAEL)	NTP ١٩٩٢، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
الإنسان	الإناث اللواتي تعرضن صدفة في حادث ميتشيغان	توجد علاقة بين PBBs في المصل يزيد خطر الإصابة بسرطان الثدي	توجد علاقة بين PBBs في مصل الدم أكبر من 2 Pbb جزء من البليون وخطر الإصابة بسرطان الثدي إذا قورن بالمجموعة المرجعية (أقل من ٢ جزء بالبليون)	هندرسون وغيره ١٩٩٥، (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)
الإنسان	سكان مزرعة ميتشيغان الذين تعرضوا صدفة أثناء الحادث	انخفاض كبير في الوظائف المناعية داخل المختبر		بيكس وغيره، ١٩٧٨، ١٩٨٥ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤). بيكسي وآخرون، ١٩٨٧.
الإنسان	الإناث اللواتي تعرضن صدفة لحادث ميتشيغان	اختلال محتمل في وظيفة البويضة كما أشار إلى ذلك طول فترة الحيض وطول مدة التزيف		دافيس وغيره، ٢٠٠٥
الإنسان	ذرية الإناث اللاتي تعرضن صدفة أثناء حادث ميتشيغان	الفتيات اللواتي رضعن من الثدي أمهات تعرضن لمستويات مرتفعة من PBB في الرحم وكذا اصغر سناً عندما حُضن لأول مرة	تأثيرات أكثر أو يساوي جزء من البليون في لبن الرضاعة	بلانك وغيره، ٢٠٠٠ (على النحو المنقول من وكالة ATSDR الأمريكية، ٢٠٠٤)

حاشية: FF-1 و BP-6 في الحانة ١ إشارة إلى FireMaster^(R) و FireMaster^(R) وهما ثنائيات الفينيل المتعددة البروم المستخدمة في دراسة السمية السواردياها.

المرفق باء
أيزومرات سداسي برومو ثنائي الفينيل

الرقم في سجل المستخلصات الكيميائية ^(٩)	الاسم	الرقم لدى الاتحاد الدولي للكيمياء البحثة والتطبيقية ^(٨)
36355-01-8	Hexabromobiphenyl	
82865-89-2	2,2',3,3',4,4' hexabromobiphenyl	128
	2,2',3,3',4,5' hexabromobiphenyl	129
82865-90-5	2,2',3,3',4,5' hexabromobiphenyl	130
	2,2',3,3',4,6' hexabromobiphenyl	131
119264-50-5	2,2',3,3',4,6' hexabromobiphenyl	132
55066-76-7	2,2',3,3',5,5' hexabromobiphenyl	133
	2,2',3,3',5,6' hexabromobiphenyl	134
119264-51-6	2,2',3,3',5,6' hexabromobiphenyl	135
	2,2',3,3',6,6' hexabromobiphenyl	136
81381-52-4	2,2',3,4,4',5' hexabromobiphenyl	137
67888-98-6	2,2',3,4,4',5' hexabromobiphenyl	138
	2,2',3,4,4',6' hexabromobiphenyl	139
	2,2',3,4,4',6' hexabromobiphenyl	140
120991-47-1	2,2',3,4,5,5' hexabromobiphenyl	141
	2,2',3,4,5,6' hexabromobiphenyl	142
	2,2',3,4,5,6' hexabromobiphenyl	143
119264-52-7	2,2',3,4,5',6' hexabromobiphenyl	144
	2,2',3,4,6,6' hexabromobiphenyl	145
	2,2',3,4',5,5' hexabromobiphenyl	146
	2,2',3,4',5,6' hexabromobiphenyl	147
	2,2',3,4',5,6' hexabromobiphenyl	148
69278-59-7	2,2',3,4',5',6' hexabromobiphenyl	149
93261-83-7	2,2',3,4',5,6' hexabromobiphenyl	150
119264-53-8	2,2',3,5,5',6' hexabromobiphenyl	151
	2,2',3,5,6,6' hexabromobiphenyl	152
59080-40-9	2,2',4,4',5,5' hexabromobiphenyl	153
36402-15-0	2,2',4,4',5,6' hexabromobiphenyl	154
59261-08-4	2,2',4,4',6,6' hexabromobiphenyl	155
77607-09-1	2,3,3',4,4',5' hexabromobiphenyl	156
84303-47-9	2,3,3',4,4',5' hexabromobiphenyl	157
	2,3,3',4,4',6' hexabromobiphenyl	158
120991-48-2	2,3,3',4,5,5' hexabromobiphenyl	159
	2,3,3',4,5,6' hexabromobiphenyl	160
	2,3,3',4,5',6' hexabromobiphenyl	161
	2,3,3',4',5,5' hexabromobiphenyl	162
	2,3,3',4',5,6' hexabromobiphenyl	163
82865-91-5	2,3,3',4',5',6' hexabromobiphenyl	164
	2,3,3',5,5',6' hexabromobiphenyl	165
	2,3,4,4',5,6' hexabromobiphenyl	166
67888-99-7	2,3',4,4',5,5' hexabromobiphenyl	167
84303-48-0	2,3',4,4',5',6' hexabromobiphenyl	168
60044-26-0	3,3',4,4',5,5' hexabromobiphenyl	169

(١٠) (US ATSDR (2004)

.Ballschmitter and Zell 1980 (٨)

من المعيار EHC 152 والبرنامج الدولي للسلامة الكيميائية، (١٩٩٤). (٩)

ملاحظة: لا تتضمن قائمة الوكالة الأمريكية المواد السمية وسجلات الأمراض (US ATSDR) الرقميين في سجل (١٠)

المستخلصات الكيميائية الواردة في المعيار EHC 192، ١٩٩٧.