

の範囲であった。試料毎の3測定結果の平均値は0(全ての測定値がnd)~0.0040 µg/gの範囲であった。モデル離乳食では測定結果の63.6%(99測定値中63)がndであり、nd以外の分析値は0.0035~0.0058 µg/gの範囲であった。試料毎の3測定結果の平均値は0(全ての測定値がnd)~0.0045 µg/gの範囲であった。全体としてベビーフードの方がndの割合が高く、鉛濃度が若干低いと考えられた。

調製粉乳中の鉛濃度は、0.0116~0.0147 µg/gの範囲であった。この濃度はベビーフードあるいはモデル離乳食よりも数倍以上高いが、乾燥物中の濃度であるためと考えられる。

摂取量の推定

試料中の鉛濃度及び食品の1日摂取量から、乳児における鉛の1日摂取量の推定を試みた。鉛濃度には、作成した3試料の平均値を用いた。ndとなった結果の扱いは、前項に示した2方式で行った。また、平均体重は平成12年度の厚生労働省調査結果を参照した。モデル離乳食及び調製粉乳中の鉛濃度から推定した摂取量をTable 6に示す。

ndを0 µg/gとして推定した1日摂取量は、離乳初期には0.220 µg/kg/day、中期は0.185 µg/kg/day、後期は0.177 µg/kg/dayとなった。前述のように調製粉乳中の鉛濃度は、モデル離乳食試料よりも高く、また離乳初期においては調製粉乳の全食事の割合が高いことから、このような減少傾向が見られている。一方、ndを0.0015 µg/gとして推定した鉛摂取量は、初期から後期にかけて0.22~0.24 µg/kg/dayとなり、月齢による変化は認められなかった。

市販ベビーフードの1包装に含まれる鉛の量を求め、Table 7に示した。ndを0 µg/gとした場合は1包装当たり0~0.319 µg、ndを0.0015 µg/gとした場合は0.0015~0.319 µgの鉛が含まれる。ベビーフードの平均的な1日当たり摂取量のデータが得られていないため、モデル離乳食と同じような摂取量推定は困難であるが、ベビーフード中の鉛濃度はモデル離乳食よりも低いことから、離乳食を全てベビーフードに置き換えたとしても、モデル離乳食よりも低い摂取量となると考えられる。

また、離乳開始前の4ヶ月児が1日135 gの調製粉乳(調乳後は1000 mL)を飲むとすると、鉛の摂取量は1.7 µgとなる。4ヶ月児の平均体重は7.04 kgであるので、摂取量は0.25 µg/kg/dayと推定され、離乳期よりも高い摂取量となった。

D. 考察

鉛のPTWIは25 µg/kg/weekとされている。これは3.57 µg/kg/dayに相当する。今回モデル離乳食及び調製粉乳の分析から推定した、離乳期の乳児における鉛の1日摂取量は、最大に見積もって0.22~0.24 µg/kg/dayであり、これはPTWIの10%以下の値である。本研究の分担研究課題である、汚染物摂取量調査では、平均的な日常食をモデルとするTD試料を用いて、鉛の摂取量が評価されている。21年度の分析結果から、鉛の摂取量は0.246 µg/kg/dayと推定されており、乳児と同程度であった。また、離乳前の乳児では、離乳期よりもやや高い摂取量となる傾向が認められた。

離乳初期から後期を通じて、鉛摂取への寄与が最も大きい食品は、調製粉乳であっ

た。今回の推定では調製粉乳のみを考慮しており、母乳からの摂取量は推定されていない。正確な摂取量推定のためには、母乳中の鉛濃度のデータ及び母乳と調製粉乳の摂取割合のデータが必要であり、乳児における有害物質の摂取量推定においては、これらのデータの整備が重要と考えられる。

乳幼児は鉛に曝露されることにより脳の機能への影響を受けるとされている等、乳児に特化した摂取量の推定はリスク評価に重要である。しかしながら、摂取量推定に重要な食品の摂取量データが乳児において整備されておらず、標準的な推定方法が確立されていないのが現状である。本研究では、厚生労働省の離乳指導等を参考にして、離乳食のモデル献立を作成して試料を調製し、鉛摂取量を推定した。結果は、成人の鉛摂取量と同程度であり、PTWI に対する比は7%程度であった。一方、今回の推定方法では母乳及びベビーフードの寄与を十分に考慮することができなかった。今後は、これらの寄与の評価方法を検討し、乳児における正確な有害物摂取量の評価法を確立することが重要である。

E. 結論

乳児の有害物質摂取量評価手法の確立を目的として、乳児の平均的な食事試料の作成を試み、作成した試料の分析結果から鉛の摂取量を推定した。離乳期の鉛摂取量は0.18~0.24 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ と推定され、PTWI の10%以下であった。

乳児において主要な食品である母乳の評価が、摂取量推定に不可欠であるが、試料入手の困難さもあり、濃度データが十分でないのが現状である。今後は、母乳の寄与

を正しく見積もる方法を開発することが、乳児におけるリスク評価に重要と考えられる。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

Table 1 離乳の目安

〈付表〉離乳食の進め方の目安

区 分		離乳初期	離乳中期	離乳後期	離乳完了期	
月 齢 (カ月)		5~6	7~8	9~11	12~15	
回 数	離乳食 (回)	1→2	2	3	3	
	母乳・育児用ミルク (回)	4→3	3	2	※	
調 理 形 態		ドロドロ状	舌でつぶせる固さ	歯ぐきでつぶせる固さ	歯ぐきで噛める固さ	
一 回 当 た り 量	I	穀類 (g)	つぶしがゆ 30→40	全がゆ 50→80	全がゆ(90→ 100)→軟飯80	軟飯 90 →ご飯80
	II	卵(個)	卵黄 2/3 以下	卵黄→全卵 1→1/2	全卵 1/2	全卵 1/2→2/3
		又は豆腐 (g)	25	40→50	50	50→55
		又は乳製品 (g)	55	85→100	100	100→120
		又は魚 (g)	5→10	13→15	15	15→18
	又は肉 (g)		10→15	18	18→20	
III	野菜・果物 (g)	15→20	25	30→40	40→50	
調理用油脂類・砂糖 (g)		各 0→1	各 2→2.5	各 3	各 4	

※牛乳やミルクを1日300~400ml

平成7年12月4日、厚生省児童家庭局母子保健課長通知 改定「離乳の基本」より転載

Table 2 モデル離乳食試料の内容

食品区分	時期	食品群	調理方法	使用した食材	一日量(g)	合計(g)	
穀類	初期	米	つぶしがゆ	精米	20	52.5	
		イモ	うらごし	ジャガイモ	12.5		
		パン	粥状	食パン	20		
	中期	米	全粥	精米	70	130	
		イモ	柔らかくゆでる	ジャガイモ	20		
		パン	粥状	食パン	40		
	後期	米	軟飯	精米	120	240	
		いも	ゆで	ジャガイモ, サツマイモ	40		
		パン		食パン	80		
卵, 豆腐, 乳製品, 肉類	初期	卵黄	固ゆで	鶏卵	4.3	37.3	
		豆腐	ゆでる	豆腐	9.4		
		ヨーグルト		プレーンヨーグルト	20.6		
		白身魚	茹でる	カレイ, タイ, マダラ	3		
	中期	全卵	固ゆで	鶏卵	24.8	89.4	
		豆腐	ゆでる	豆腐	18		
		ヨーグルト		プレーンヨーグルト	36		
		魚白身	ゆでる	カレイ, タイ, マダラ	2.8		
		魚赤身	ゆでる	マグロ, サケ, アジ	2.8		
	鶏肉	ゆでる	ササミ, 挽肉, モモ	5			
	後期	全卵	固ゆで	鶏卵	18.6	143.4	
		豆腐	ゆでる	豆腐	30		
		ヨーグルト		プレーンヨーグルト	50		
		チーズ		ベビーチーズ	22		
		魚白身	ゆでる	カレイ, タイ, マダラ	5.4		
		魚赤身	ゆでる	マグロ, サケ, アジ	5.4		
		鶏肉	ゆでる	ササミ, 挽肉, モモ	6		
	豚肉	ゆでる	挽肉, ヒレ	6			
野菜	初期	ニンジン	ゆでる		3.4	27	
		カボチャ	ゆでる		3.4		
		ホウレン草	ゆでる		3.4		
		大根	ゆでる		3.4		
		キャベツ	ゆでる		3.4		
		タマネギ	ゆでる		3.4		
		リンゴ	おろす		3.4		
	みかん	袋を除く		3.4			
	中期	ニンジン	ゆでる		6.3	50	
		カボチャ	ゆでる		6.3		
		ホウレン草	ゆでる		6.3		
		大根	ゆでる		6.3		
		キャベツ	ゆでる		6.3		
		タマネギ	ゆでる		6.3		
		リンゴ	きざむ		6.3		
みかん	袋を除く		6.3				
後期	ニンジン	ゆでる		10.5	105		
	カボチャ	ゆでる		10.5			
	ホウレン草	ゆでる		10.5			
	大根	ゆでる		10.5			
	キャベツ	ゆでる		10.5			
	タマネギ	ゆでる		10.5			
	トマト	種を除きゆでる		10.5			
	リンゴ	きざむ		10.5			
	バナナ	きざむ		10.5			
	みかん	袋を除く		10.5			
油脂	初期	サラダ油			0.25	0.75	
		マーガリン			0.25		
		バター			0.25		
	中期	サラダ油				1.3	3.9
		マーガリン				1.3	
		バター				1.3	
	後期	サラダ油				3	9
		マーガリン				3	
		バター				3	
砂糖	初期	砂糖			0.75	0.75	
	中期	砂糖	上白糖, フロストシュガー, グラニュー糖		4	4	
	後期	砂糖			9	9	
ミルク	初期				840	840	
	中期				720	720	
	後期				480	480	

Table 3 市販ベビーフード試料の内容

食品区分	時期		
穀類	初期	粥	米
		粥(野菜入り)	米, ニンジン, ホウレン草, 小松菜, タマネギ, ジャガイモ
	中期	雑炊(しらす入り)	米, ニンジン, キャベツ, タマネギ, しらす
		うどん(野菜入り)	うどん, ニンジン, キャベツ, サヤインゲン, 鶏肉
	後期	粥(鮭と豆入り)	米, ニンジン, はくさい, ブロッコリー, だいず, さけ
		炊き込みご飯	米, ニンジン, ごぼう, 鶏肉
肉・魚・卵	初期	ご飯(鮭・わかめ入り)	米, ニンジン, だいこん, サヤインゲン, さけ, わかめ
		うどん(タラ・野菜入り)	ニンジン, だいこん, サヤインゲン, うどん
	中期	白身魚うらごし	たら
		白身魚と野菜	ジャガイモ, タマネギ, ニンジン, ブロッコリー, ホウレン草
	後期	鶏レバーと野菜	ジャガイモ, , ニンジン, タマネギ, ホウレン草, こまつな, 鶏レバー
		白身魚白和え	スイートコーン, はくさい, ニンジン, ブロッコリー, 豆乳, たら
	後期	茶碗蒸し	ニンジン, タマネギ, キャベツ, 卵黄, たら
		肉団子	タマネギ, ニンジン, ピーマン, 豚肉
		ビーフシチュー	ニンジン, タマネギ, ブロッコリー, サヤインゲン, ジャガイモ, 牛肉, マカロニ
		野菜スープ	タマネギ, ニンジン, セロリ, ジャガイモ
野菜	初期	コーンクリームスープ	スイートコーン
		パンプキンスープ	カボチャ
		ホウレン草と小松菜	ホウレン草, 小松菜, ジャガイモ
		カボチャうらごし	カボチャ
	中期	裏ごし野菜と果物	りんご, パインアップル果汁, カボチャ, レモン果汁, ほうれんそう
		ホウレン草としらす	だいこん, ニンジン, はくさい, ほうれんそう, しらす
		芋とカボチャのサラダ	さつまいも, カボチャ
		和野菜煮物	ニンジン, タマネギ, サヤインゲン, ジャガイモ
	後期	カボチャグラタン	カボチャ, ニンジン, タマネギ, ブロッコリー, ジャガイモ, マカロニ, 鶏肉
		ツナとジャガイモサラダ	ジャガイモ, タマネギ, ニンジン, ブロッコリー
果実	初期	お豆と野菜	だいこん, ニンジン, サヤインゲン, だいず, 鶏肉
		八宝菜	タマネギ, ニンジン, はくさい, ごぼう, ピーマン, ブロッコリー, 鶏肉
	後期	りんご果汁	りんご
		ミックス果汁	りんご, みかん, パインアップル, もも
		うらごしりんごとニンジン	りんご, ニンジン
		ミックスフルーツ裏ごし	りんご, もも, パインアップル, レモン
混合	後期	大根と豚煮物	だいこん, ニンジン, ごぼう, ブロッコリー, 豚肉
		鶏肉と根菜煮物	ニンジン, だいこん, ごぼう, サヤインゲン, さといも, 鶏肉
		豆と肉のシチュー	ニンジン, タマネギ, ブロッコリー, 豚肉, 鶏レバー, ジャガイモ, 大豆

Table 4 モデル加工食品試料の鉛濃度測定結果

	試料	鉛濃度 (μg/g)			平均1 (μg/g)	平均2 (μg/g)	
		1	2	3			
初期	穀類	1	nd	nd	nd	0	0.0015
		2	nd	nd	nd	0	0.0015
		3	nd	nd	nd	0	0.0015
	卵, 豆腐, 乳製品, 肉類	1	0.0037	0.0057	0.0040	0.0045	0.0045
		2	0.0037	0.0046	0.0038	0.0040	0.0040
		3	0.0040	0.0049	0.0040	0.0043	0.0043
	野菜	1	nd	nd	nd	0	0.0015
		2	nd	0.0043	0.0043	0.0029	0.0034
		3	nd	0.0035	0.0045	0.0027	0.0032
中期	穀類	1	nd	nd	0.0026	0.0009	0.0019
		2	nd	nd	0.0026	0.0009	0.0019
		3	nd	nd	nd	0	0.0015
	卵, 豆腐, 乳製品, 肉類	1	nd	nd	nd	0	0.0015
		2	nd	0.0047	0.0036	0.0027	0.0032
		3	nd	nd	nd	0	0.0015
	野菜	1	nd	nd	nd	0	0.0015
		2	nd	0.0043	0.0043	0.0029	0.0034
		3	nd	0.0035	0.0045	0.0027	0.0032
後期	穀類	1	nd	nd	nd	0	0.0015
		2	0.0038	nd	nd	0.0013	0.0023
		3	nd	nd	nd	0	0.0015
	卵, 豆腐, 乳製品, 肉類	1	0.0045	0.0051	0.0058	0.0036	0.0041
		2	nd	nd	0.0043	0.0014	0.0024
		3	0.0039	nd	0.0041	0.0027	0.0032
	野菜	1	nd	nd	0.0040	0.0013	0.0023
		2	0.0037	nd	0.0037	0.0025	0.0030
		3	nd	0.0031	0.0032	0.0021	0.0026
共通	油脂	1	nd	nd	0.0039	0.0013	0.0023
		2	0.0036	nd	nd	0.0012	0.0022
		3	nd	0.0073	nd	0.0024	0.0034
	砂糖	1	nd	nd	nd	0	0.0015
		2	nd	nd	nd	0	0.0015
		3	nd	nd	nd	0	0.0015
	ミルク	1	0.0107	0.0110	0.0131	0.0116	0.0116
		2	0.0106	0.0117	0.0150	0.0124	0.0124
		3	0.0161	0.0119	0.0161	0.0147	0.0147
4		0.0130	0.0108	0.0149	0.0129	0.0129	
5		0.0160	0.0121	0.0159	0.0147	0.0147	
6		0.0112	0.0112	0.0143	0.0122	0.0122	
7		0.0119	0.0115	0.0113	0.0116	0.0116	
8	0.0167	0.0127	0.0125	0.0140	0.0140		
9	0.0146	0.0114	0.0142	0.0134	0.0134		
10	0.0148	0.0124	0.0135	0.0136	0.0136		

Table 5 市販ベビーフードの鉛濃度測定結果

	試料	鉛濃度 (μg/g)			平均1 (μg/g)	平均2 (μg/g)	
		1	2	3			
初期	穀類	粥	nd	nd	nd	0	0.0015
		粥(野菜入り)	nd	nd	nd	0	0.0015
	肉・魚・卵	白身魚うらごし	nd	0.0032	0.0034	0.0022	0.0022
		野菜スープ	nd	nd	nd	0	0.0015
	野菜	コーンクリームスープ	nd	nd	nd	0	0.0015
		パンプキンスープ	nd	nd	nd	0	0.0015
		ハウレン草と小松菜	nd	0.0033	nd	0.0011	0.0021
		カボチャうらごし	nd	0.0042	0.0050	0.0031	0.0031
		裏ごし野菜と果物	nd	nd	nd	0	0.0015
		雑炊(しらす入り)	nd	nd	nd	0	0.0015
中期	穀類	うどん(野菜入り)	nd	nd	nd	0	0.0015
		粥(鮭と豆入り)	nd	nd	nd	0	0.0015
		白身魚と野菜	nd	nd	nd	0	0.0015
	肉・魚・卵	鶏レバーと野菜	nd	nd	nd	0	0.0015
		白身魚白和え	nd	nd	nd	0	0.0015
	野菜	ハウレン草としらす	nd	0.0035	0.0053	0.0029	0.0029
		芋とカボチャのサラダ	nd	nd	nd	0	0.0015
		和野菜煮物	nd	nd	nd	0	0.0015
		カボチャグラタン	nd	nd	nd	0	0.0015
		ツナとジャガイモサラダ	nd	nd	nd	0	0.0015
後期	穀類	炊き込みご飯	nd	nd	nd	0	0.0015
		ご飯(鮭・わかめ入り)	nd	nd	nd	0	0.0015
		うどん(タラ・野菜入り)	nd	nd	nd	0	0.0015
	肉・魚・卵	茶碗蒸し	nd	nd	nd	0	0.0015
		肉団子	nd	0.0041	0.0049	0.0030	0.0030
		ビーフシチュー	0.0030	0.0049	0.0052	0.0040	0.0040
	野菜	お豆と野菜	nd	nd	nd	0	0.0015
		八宝菜	nd	nd	nd	0	0.0015
	混合	大根と豚煮物	nd	nd	nd	0	0.0015
		鶏肉と根菜煮物	nd	nd	nd	0	0.0015
豆と肉のシチュー		nd	nd	nd	0	0.0015	
共通	果実	りんご果汁	nd	nd	nd	0	0.0015
		ミックス果汁	nd	nd	nd	0	0.0015
		うらごしりんごとニンジ	nd	nd	nd	0	0.0015
		ミックスフルーツ裏ごし	nd	nd	nd	0	0.0015

Table 6 モデル離乳食及び粉乳中の鉛濃度から推定した乳児の鉛1日摂取量

	体重 (kg)	食品群	1日量 (g)	個別摂取量 (μg)		1日摂取量 ($\mu\text{g}/\text{day}$)		1日摂取量 ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)	
				1	2	1	2	1	2
初期	7.67	穀類	52.5	0	0.079	1.691	1.794	0.220	0.234
		卵, 豆腐, 乳製品, 肉類	37.3	0.159	0.159				
		野菜	27	0.050	0.072				
		油脂	0.75	0.001	0.002				
		砂糖	0.75	0	0.001				
		調製粉乳	113	1.480	1.480				
中期	8.27	穀類	130	0.076	0.227	1.527	1.805	0.185	0.218
		卵, 豆腐, 乳製品, 肉類	89.4	0.082	0.156				
		野菜	50	0.093	0.134				
		油脂	3.9	0.006	0.010				
		砂糖	3.9	0	0.006				
		調製粉乳	97	1.271	1.271				
後期	8.73	穀類	240	0.101	0.421	1.544	2.052	0.177	0.235
		卵, 豆腐, 乳製品, 肉類	143.4	0.369	0.465				
		野菜	105	0.207	0.277				
		油脂	9	0.015	0.024				
		砂糖	9	0	0.014				
		調製粉乳	65	0.852	0.852				

Table 7 市販ベビーフード1包装単位当たりの鉛量

		一包装中の鉛量(μg)		
		1	2	
初期	穀類	粥	0	0.150
		粥(野菜入り)	0	0.150
	肉・魚・卵	白身魚うらごし	0.034	0.034
		野菜スープ	0	0.065
	野菜	コーンクリームスープ	0	0.067
		パンプキンスープ	0	0.069
		ホウレン草と小松菜	0.026	0.049
		カボチャうらごし	0.045	0.045
裹ごし野菜と果物		0	0.009	
中期	穀類	雑炊(しらす入り)	0	0.120
		うどん(野菜入り)	0	0.120
		粥(鮭と豆入り)	0	0.120
	肉・魚・卵	白身魚と野菜	0	0.043
		鶏レバーと野菜	0	0.066
		白身魚白和え	0	0.043
	野菜	ホウレン草としらす	0.084	0.084
		芋とカボチャのサラダ	0	0.048
和野菜煮物		0	0.120	
カボチャグラタン		0	0.120	
ツナとジャガイモサラダ		0	0.043	
後期	穀類	炊き込みご飯	0	0.120
		ご飯(鮭・わかめ入り)	0	0.120
		うどん(タラ・野菜入り)	0	0.120
	肉・魚・卵	茶碗蒸し	0	0.120
		肉団子	0.238	0.238
		ビーフシチュー	0.319	0.319
	野菜	お豆と野菜	0	0.120
		八宝菜	0	0.120
混合	大根と豚煮物	0	0.120	
	鶏肉と根菜煮物	0	0.120	
	豆と肉のシチュー	0	0.120	
共通	果実	りんご果汁	0	0.068
		ミックス果汁	0	0.068
		うらごしりんごとニンジン	0	0.023
		ミックスフルーツ裹ごし	0	0.023

分 担 研 究 報 告

多環芳香族炭化水素の摂取量に関する研究

堤 智昭

食品中の有害物質等の摂取量の調査及び評価に関する研究
研究分担報告書

多環芳香族炭化水素の摂取量に関する研究

研究代表者 松田りえ子 国立医薬品食品衛生研究所食品部部長
研究分担者 堤 智昭 国立医薬品食品衛生研究所第二室長

研究要旨

食品からの多環芳香族炭化水素(PAHs)の摂取量を把握するため、毒性が懸念される PAHs を網羅的に分析できる分析法の文献調査を行った。食品中の PAHs 分析に主に関係し、年代が新しい 68 報を選定し精読した。これらの文献について、分析対象としている PAHs、対象食品、及び分析方法について調査した。欧州食品科学委員会(SCF)及び食品添加物専門家会議(JECFA)からリスク評価が必要と提案されている 15 種の PAHs(EU15 種)を分析対象とする報告は少なかったが、近年では増加傾向にあった。対象食品については、PAHs 汚染が懸念されている油脂、燻製及び乾燥食品、魚介類を対象とした報告が殆どであった。PAHs の検出には、高速液体クロマトグラフ/蛍光検出器、又はガスクロマトグラフィー/質量分析装置(GC/MS)が主に使用されていた。選択性が高く、また安定同位体を使用した内標準法の開発も可能であることから、測定方法には GC/MS が主流になると考えられる。EU15 種の PAHs を対象にした GC/MS 分析では、モニターイオンが近い PAHs を分離するために、最近では中極性の GC カラムを使用する場合があった。また近年では、より選択性の高い GC/MS/MS による PAHs の測定も行われていた。GC/MS/MS と安定同位体を使用した内標準法を組み合わせることで、EU15 種含む PAHs を高感度かつ高精度に分析する報告があり、食品中の PAHs を把握するための分析法としては有望であると考えられる。

A.研究目的

多環芳香族炭化水素(PAHs)は芳香環を二つ以上持つ炭化水素化合物の総称であり、ベンゾ[a]ピレンをはじめ、発ガン性の疑いがある物質が多く含まれている。人における PAHs の主たる暴露経路は食品摂取であるため、PAHs の食品汚染濃度を明らかにすることは食品の安全を確保するために重要である。特に燻製及び乾燥食品では PHAs 汚染が懸念されており、2009 年に開かれたコーデックス第 3 回食品汚染物質部会(CCCF)では、これらの食品における PAHs 汚染の低減に関する実施規範案を採択している。

PAHs は多くの化合物からなるため、選定する分析法により測定対象となる PAHs が異なる。リスク評価のためには毒性が懸念される PAHs、例えば欧州食品科学委員会(SCF)や食品添加物専門家会議(JECFA)でモニタリングするべきと提案されている数十種の PAHs を網羅的に分析する必要がある。これらの PAHs について、アメリカ合衆国環境保護庁(EPA)が指定している PAHs とあわせて表 1 に示した。しかし JECFA 及び SCF が提案している PAHs を対象にした食品汚染調査は国内では殆ど無く、早急な汚染状況の把握が必要とされている。そこで本研究では、食品からの PAHs の摂取量を

把握するため、毒性が懸念される PAHs を網羅的に分析できる分析法の文献調査を行った。

B. 調査方法

米国国立生物工学情報センター(NCBI : National Center for Biotechnology Information) が一般公開している医学関係文献データベース(PubMed)により、PAHs 分析法に関する文献を検索した。食品中の PAHs 分析に主に関係し、年代が新しい 68 報を選定し精読した。これらの文献について、分析対象としている PAHs、食品種、及び分析法について精査した。調査した文献のリストを表 2 に示す。

C. 調査結果及び考察

調査した 68 文献について、分析対象化合物、対象とした食品、分析方法(測定法、前処理、検出・定量下限)の各項目を文献毎にまとめたものを表 3 に示した。各項目の内容について概要を以下に記述した。

1. 分析対象 PAHs

分析対象となっている主な PAHs は表 1 に示したとおりである。1980 年頃に EPA が人に有害であろうと指定した汚染物質の中に 16 種の PAHs が含まれている。そのため、2000 年はじめまでの文献では、EPA が指定した 16 種の PAHs を対象にした報告が多い。しかし、SCF が毒性試験データに基づき、2002 年に提出した意見書で 15 種の PAHs をリスク評価に優先すべき PAHs とした。さらに、2005 年には JECFA が、PAHs 類縁化合物について毒性を議論し、そのうち 13 種の PAHs を遺伝毒性と発ガン性があるとして、モニタリングすべき PAHs としている。また JECFA では 13 種の PAHs の他、ベンゾ[c]フルオレン(BeL)についてもその存在量を把握するため、モニタリングすることが望ましいと推奨している。分析対象としては、少なくとも SCF と JECFA がモニタリングすべきとしている 15 種の PAHs(EU15 種)、

を分析対象とすることが、リスク評価の観点から現時点で重要であると考えられる。文献調査の結果、2005 年以降はこれらの PAHs を対象にした報告が増加している。

2. 対象食品の種類

PAHs 汚染が懸念される油脂、燻製及び乾燥食品、魚介類を対象とした報告が殆どであった。EU では、ベンゾ[a]ピレン(BaP)について食用油脂、魚介類などに 1.0µg/kg から 10 µg/kg の基準値を設定している。そのため、EU における食品中の PAHs 汚染調査、及び PAHs 分析法の開発に関する報告が多い。また、中国でもベンゾ[a]ピレンについて食用油脂に基準値を設定している。

3. PAHs 分析方法

調査した 68 文献の内、高速液体クロマトグラフ/蛍光検出器(HPLC/FL)が 38、ガスクロマトグラフィー/質量分析装置(GC/MS)が 28(そのうち GC/MS/MS が 3、GC/高分解能(HR)MS が 2、GC/飛行時間型(TOF)MS が 1)、GC/水素炎イオン化検出器(FID)が 1、バイオアッセイが 1 であった。PAHs の検出には HPLC-FL、又は GC/MS が主に用いられている。EU15 種を測定対象とした場合は、SCF により分析対象に追加されたシクロペンタ[cd]ピレン(CPP)が蛍光を持たないため、HPLC-FL で測定できない。そのため、CPP については紫外分光検出器(UV)により検出するため、HPLC を用いた場合は測定感度が高くなる欠点がある(文献 No.53, 55, 59 等)。

一方、GC/MS は選択性が高く、さらには安定同位体を使用した高精度な分析法の開発も可能であることから、PAHs の分析法として主流になると考えられる。食品中の EU15 種を対象にした GC/MS 分析については、近年になり報告が増えている。使用する GC キャピラリーカラムの種類によっては、対象となる PAHs が一部、分離しないことから注意が必要である。例えば、

汎用される低極性の GC カラム(DB-5 など)を使用した場合は、一般には、ベンゾフルオラテン類(BbF、BjF 及び BkF)の分離が困難である。これらの PAHs については合計した総量として測定される場合がある(文献 No.25、31)。最近では中極性のカラム(DB-17ms、VF-17ms 等)を使用して、これらの PAHs の良好な分離を達成している(文献 No.47、56、67)。

また、実試料を測定した際は、試料中に存在する類縁化合物による妨害についても考慮する必要がある。例えば、トリフェニレンが試験液中に共存すると、クリセンと GC カラムでは分離できず、さらにモニターイオンが近接する関係から分別定量することが難しい(文献 No.67 等)。最近では GC/MS/MS を使用した分析法の例もあり、より選択性の高い検出法による PAHs の定量が可能になりつつある。魚、及び油に含まれる EU15 種を対象にした GC/MS/MS 分析では、S/N 比の向上、及び試料由来の夾雑物の影響を排除できている(文献 No.42)。また、本論文では安定同位体(¹³C ラベル体)を使用した内標準法により PAHs を定量しており、高精度な測定を可能にしている。

PAHs の試料からの抽出法としては、アルカリケン化、溶媒抽出(浸とう、超音波など)が主に用いられている。アルカリケン化は抽出と同時に脂肪などの夾雑物も分解できるため、PAHs の抽出法としてよく利用されている。また、最近では高速溶媒抽出装置(ASE)等を用いた高速溶媒抽出も利用されており、抽出時間を短縮に寄与している。精製操作については、フロリジルカラムクロマトグラフィー、シリカゲルクロマトグラフィー、ゲル浸透クロマトグラフィー (GPC)等を組み合わせて利用している。

EU15 種の PAHs に対する検出下限及び定量下限については、EU の BaP に対する基準値が 1.0 µg/kg から 10 µg/kg であることから、HPLC/FL、及び GC/MS 共に検出下限が 1.0 µg/kg 未満であることが多かった。但し、HPLC/UV による CPP の測定は前述したように

感度が悪く、10 µg/kg を超える場合もみられた(文献 No.53、55、59 等)。

D.結論

食品由来の PAHs の摂取量を把握するための適切な PAHs 分析法を調査した。EU15 種分析対象に含む分析法としては GC/MS 法が有効であると考えられた。特に GC/MS/MS を使用し、安定同位体を使用した内標準法により PAHs を定量することで、信頼性の高い測定結果がえられると考えられる。

E.研究業績

1.論文発表

なし

2.学会発表

なし

表1 米国EPA, SCF, JECFAがモニタリングを推奨するPAHs

PAH	略号	分子量	EPA	SCF	JECFA
アセナフテン (acenaphthene)	Acp	154	○		
アセナフチレン (Acenaphthylene)	Acy	152	○		
アントラセン (Anthracene)	Ant	178	○		
フルオランテン (Fluoranthene)	Fl	202	○		
フルオレン (Fluorene)	F	166	○		
ナフタレン (Naphthalene)	Na	128	○		
フェナントレン (Phenanthrene)	Phe	178	○		
ピレン (Pyrene)	Py	202	○		
ベンズ[a]アントラセン (Benz[a]anthracene)	BaA	228	○	○	○
ベンゾ[b]フルオランテン (Benzo[b]fluoranthene)	BbF	252	○	○	○
ベンゾ[j]フルオランテン (Benzo[j]fluoranthene)	BjF	252		○	○
ベンゾ[k]フルオランテン (Benzo[k]fluoranthene)	BkF	252	○	○	○
ベンゾ[g,h,i]ペリレン (Benzo[g,h,i]perylene)	BghiP	276	○	○	
ベンゾ[a]ピレン (Benzo[a]pyrene)	BaP	252	○	○	○
クリセン (Chrysene)	Ch	228	○	○	○
シクロペンタ[cd]ピレン (Cyclopenta[cd]pyrene)	CCP	226		○	
ジベンズ[a,h]アントラセン (Dibenz[a,h]anthracene)	DBahA	278	○	○	○
ジベンゾ[a,e]ピレン (Dibenzo[a,e]pyrene)	DBaeP	302		○	○
ジベンゾ[a,h]ピレン (Dibenzo[a,h]pyrene)	DBahP	302		○	○
ジベンゾ[a,i]ピレン (Dibenzo[a,i]pyrene)	DBaiP	302		○	○
ジベンゾ[a,l]ピレン (Dibenzo[a,l]pyrene)	DBalP	302		○	○
インデノ[1,2,3-cd]ピレン (Indeno[1,2,3-cd]pyrene)	IP	276	○	○	○
5-メチルクリセン (5-Methylchrysene)	5MC	242		○	○
ベンゾ[c]フルオレン (Benzo[c]fluorene)	BcL	216			△
計	-	-	16	15	13

○: リスク評価のためモニタリングを推奨している PAH

△: 存在量を把握するためにモニタリングを推奨

表2 多環芳香族炭化水素分析法に関する文献調査リスト

文献 No.	文献名	著者	掲載誌名	掲載年	掲載巻(号)	ページ
1	Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in milk samples by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection	Kishikawa, N., Wada, M., Kuroda, N., Akiyama, S., Nakashima, K.	J Chromatogr B	2003	789	257-264
2	Determination of high molecular mass polycyclic aromatic hydrocarbons in a typical Italian smoked cheese by HPLC-FL	Pagliuca, G., Gazzotti, T., Zironi, E., Serrazanetti, G. P., Mollica, D., Rosmini, R.	J Agric Food Chem	2003	51	5111-5115
3	Polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls, chlorinated pesticides (DDTs), hexachlorocyclohexane, and hexachlorobenzene residues in smoked seafood	Storelli, M. M., Stuffer, R. G., Marcotrigiani, G. O.	J Food Prot	2003	66	1095-1099
4	Solid-phase clean-up in the liquid chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons from edible oils.	Sarobe, M.	J Chromatogr. A	2003	988	33-40
5	Polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian vegetables and fruits.	Camargo, M. C. R., Toledo, M. C. F.	Food Control	2003	14	49-53
6	Levels of benzo[a]pyrene (BaP) in "mozzarella di bufala campana" cheese smoked according to different procedures	Anastasio, A., Mercogliano, R., Vollano, L., Pepe, T., Cortesi, M. L.	J Agric Food Chem	2004	52	4452-4455
7	Chemical risks associated with consumption of shellfish harvested on the north shore of the St. Lawrence River's lower estuary	Gagnon, F., Tremblay, T., Rouette, J., Cartier, J. F.	Environ Health Perspect	2004	112	883-888
8	Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked cheese	Guillen, M. D., Sopelana, P.	J Dairy Sci	2004	87	556-564
9	Polycyclic aromatic hydrocarbon content in commercial Spanish fatty foods	Barranco, A., Alonso-Salces, R. M., Crespo, I., Berrueta, L. A., Gallo, B., Vicente, F., Sarobe, M.	J Food Prot	2004	67	2786-2791
10	Screening and confirmation of PAHs in vegetable oil samples by use of supercritical fluid extraction in conjunction with liquid chromatography and fluorimetric detection.	M. Zougagh, H. Redigolo, A. Ríos and M. Valcárcel,	Anal. Chim. Acta	2004	525	265-271
11	[Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in herbs and fruit teas]	Cierniak, A.	Rocz Panstw Zakl Hig	2005	56	317-322
12	Isotope dilution determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in olive oil by gas chromatography-mass spectrometry.	Dietti, G., Scortichini, G., Scarpone, R., Gatti, G., Torretti, L., Migliorati, G.	J Chromatogr. A	2005	1062	247-254
13	Concentration and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in tea.	Lin, D., Tu, Y. and Zhu, L.	Food Chem. Toxicol.	2005	43	41-48
14	Supercritical fluid extraction and high-performance liquid chromatography-fluorescence detection method for polycyclic aromatic hydrocarbons investigation in vegetable oil	M. A. Lage Yusty, and J. L. Cortizo Daviña	Food Control	2005	16	59-64
15	Minimal clean-up and rapid determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in instant coffee	Mercedes Sonia García-Falcón, Beatriz Cancho-Grande and Jesús Simal-Gándara	Food Chemistry	2005	90	643-647
16	Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic drinks and the identification of their potential sources.	García-Falcón MS, Simal-Gándara J.	Food Addit. Contam.	2005	22	791-797

表 2 (続 き)

文献 No.	文献名	著者	掲載誌名	掲載年	掲載巻(号)	ページ
17	Application of accelerated solvent extraction followed by gel performance chromatography and high-performance liquid chromatography for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in mussel tissue.	Yusà V, Pardo O, Martí P, Pastor A.	Food Addit. Contam.	2005	22	482-489
18	Application of matrix solid-phase dispersion in the analysis of priority polycyclic aromatic hydrocarbons in fish samples.	Pensado L, Casais MC, Mejuto MC, Cela R.	J Chromatogr. A	2005	1077	103-109
19	Polycyclic aromatic hydrocarbons in food samples collected in Barcelona, Spain	Fontcuberta, M., Arques, J. F., Martinez, M., Suarez, A., Villalbi, J. R., Centrich, F., Serrahima, E., Duran, J., Casas, C.	Food Prot	2006	69	2024-2028
20	Investigation of sample treatment steps for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in ground coffee	Houessou, J. K., Delteil, C., Camel, V.	J Agric Food Chem	2006	54	7413-7421
21	Optimization of the procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives in fish tissue: Estimation of measurements uncertainty	Janska, M., Tomaniova, M., Hajslova, J., Kocourek, V.	Food Addit. Contam.	2006	23	309-325
22	Exposure to carcinogenic PAHs for the vendors of broiled food	Kuo, C. Y., Chang, S. H., Chien, Y. C., Chiang, F. Y., Wei, Y. C.	J Expo Sci Environ Epidemiol	2006	16	410-416
23	Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons through consumption of edible marine species in Catalonia, Spain	Llobet, J. M., Falco, G., Bocio, A., Domingo, J. L.	J Food Prot	2006	69	2493-2499
24	Polycyclic aromatic hydrocarbons in frying oils and snacks	Purcaro, G., Navas, J. A., Guardiola, F., Conte, L. S., Moret, S.	J Food Prot	2006	69	199-204
25	Single-laboratory validation of a gas chromatography-mass spectrometry method for quantitation of 15 European priority polycyclic aromatic hydrocarbons in spiked smoke flavourings	Simon, R., Palme, S., Anklam, E.	J Chromatogr. A	2006	1103	307-313
26	Determination of the level of benzo[a]pyrene in fatty foods and food supplements	van der Wielen, J. C., Jansen, J. T., Martena, M. J., De Groot, H. N., In't Veld, P. H.	Food Addit. Contam.	2006	23	709-714
27	Polycyclic aromatic hydrocarbons in fresh and cold-smoked Atlantic salmon fillets	Visciano, P., Perugini, M., Amorena, M., Ianieri, A.	J Food Prot	2006	69	1134-1138
28	Assessing PAH exposure in feral finfish from the Northwest Atlantic	Hellou, J., Leonard, J., Collier, T. K., Ariese, F.	Mar Pollut Bull	2006	52	433-441
29	Influence of the extraction methodology on the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in pasture vegetation	Kilian E.C. Smith, Grant L. Northcott, Kevin C. Jones	J Chromatogr. A	2006	1116	20-30
30	Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food and the environment needed for new food legislation in the European Union	Thomas Wenzl, Rupert Simon, Elke Anklam, Juliane Kleiner	Trends Anal. Chem.	2006	25	716-725
31	Method validation for determination of the 15 European-priority polycyclic aromatic hydrocarbons in primary smoke condensates by gas chromatography/mass spectrometry: interlaboratory study.	Simon R, Palme S, Anklam E.	J AOAC Int.	2006	89	772-781
32	Comparison of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) between smoked marc spirits and whiskies	Da Porto, C., Moret, S.	Food Chem. Toxicol.	2007	45	2069-2071

表 2 (続 き)

文献 No.	文献名	著者	掲載誌名	掲載年	掲載巻(号)	ページ
33	Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils combining gel permeation chromatography with solid-phase extraction clean-up	Fromberg, A.,Hojgard, A.,Duedahl-Olesen, L.	Food Addit.Contam.	2007	24	758-767
34	Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in artisanal Palmero cheese smoked with two types of vegetable matter	Guillen, M. D.,Palencia, G.,Sopelana, P.,Ibargoitia, M. L.	J Dairy Sci	2007	90	2717-2725
35	Monitoring of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, dioxin-like PCBs and polycyclic aromatic hydrocarbons in food and feed samples from Ismailia city, Egypt	Loutfy, N.,Fuerhacker, M.,Tundo, P.,Raccanelli, S.,Ahmed, M. T.	Chemosphere	2007	66	1962-1970
36	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in meat products and estimated PAH intake by children and the general population in Estonia	Reinik, M.,Tamme, T.,Roasto, M.,Juhkam, K.,Tenno, T.,Kiiis, A.	Food Addit.Contam.	2007	24	429-437
37	Determination of PAH profiles by GC-MS/MS in salmon processed by four cold-smoking techniques	Varlet, V.,Serot, T.,Monteau, F.,Le Bizec, B.,Prost, C.	Food Addit.Contam.	2007	24	744-757
38	Validation (in-house and collaborative) of a method based on liquid chromatography for the quantitation of 15 European-priority polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke flavourings: HPLC-method validation for 15 EU priority PAH in smoke condensates	Rupert Simon, Sonja Palme, Elke Anklam	Food Chemistry	2007	104	876-887
39	Impact of toasting oak barrels on the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons in wine.	Chatonnet P, Escobessa J.	J Agric Food Chem	2007	55	10351-10358
40	Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils using solid-phase microextraction-comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry.	Purcaro G, Morrison P, Moret S, Conte LS, Marriott PJ.	J Chromatogr. A	2007	1161	284-291
41	Single-laboratory validation of a GC/MS method for the determination of 27 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in oils and fats.	Rose M, White S, Macarthur R, Petch RG, Holland J, Damant AP.	Food Addit.Contam.	2007	24	635-651
42	Innovative method for determination of 19 polycyclic aromatic hydrocarbons in food and oil samples using gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry based on an isotope dilution approach.	Veyrand B, Brosseaud A, Sarcher L, Varlet V, Monteau F, Marchand P, Andre F, Le Bizec B.	J Chromatogr. A	2007	1149	333-344
43	Profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian sugar cane spirits: discrimination between Cachaças produced from nonburned and burned sugar cane crops.	Galinaro CA, Cardoso DR, Franco DW	J Agric Food Chem	2007	55	3141-3147
44	[Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in cereal breakfast products]	Ciemniak, A.,Chrachol, L.	Rocz Panstw Zakl Hig	2008	59	301-307
45	Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from cookies: a comparative study of ultrasound and microwave-assisted procedures	Hernandez-Poveda, G. F.,Morales-Rubio, A.,Pastor-Garcia, A.,De La Guardia, M.	Food Addit.Contam.	2008	25	356-363
46	Modeling the formation of some polycyclic aromatic hydrocarbons during the roasting of Arabica coffee samples	Houessou, J. K.,Goujot, D.,Heyd, B.,Camel, V.	J Agric Food Chem	2008	56	3648-3656
47	Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) method for the determination of 16 European priority polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and edible oils	Jira, W.,Ziegenhals, K.,Speer, K.	Food Addit.Contam.	2008	25	704-713
48	Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked pork by effect-directed bioassay with confirmation by chemical analysis	Kuhn, K.,Nowak, B.,Klein, G.,Behnke, A.,Seidel, A.,Lampen, A.	J Food Prot	2008	71	993-999

表2 (続き)

文献 No.	文献名	著者	掲載誌名	掲載年	掲載巻(号)	ページ
49	Polycyclic aromatic hydrocarbons in farmed rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) processed by traditional flue gas smoking and by liquid smoke flavourings	Visciano, P., Perugini, M., Conte, F., Amorena, M.	Food Chem. Toxicol.	2008	46	1409-1413
50	Fast-GC/HRMS to quantify the EU priority PAH	Ziegenhals, K., Hubschmann, H. J., Speer, K., Jira, W.	J. Sep. Sci.	2008	31	1779-1786
51	Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread	Ledicia Rey-Salgueiro, Mercedes Sonia García-Falcón, Elena Martí nez-Carballo, Jesús Simal-Gá ndara	Food Chemistry	2008	108	607-615
52	Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood	Ilze Stumpe-Vīksna, Vadims Bartkevičs, Agnese Kukāre, Andris Morozovs	Food Chemistry	2008	110	794-797
53	Validation of the analysis of the 15 + 1 European-priority polycyclic aromatic hydrocarbons by donor-acceptor complex chromatography and high-performance liquid chromatography-ultraviolet/fluorescence detection	I. Windal, L. Boxus, V. Hanot	J Chromatogr. A	2008	1212	16-22
54	Polycyclic aromatic hydrocarbons in spanish olive oils: relationship between benzo(a)pyrene and total polycyclic aromatic hydrocarbon content	Rodríguez-Acuna, R., del Carmen Pérez-Camino, M., Cert, A., Moreda, W.	J Agric Food Chem	2008	56	10428-10432
55	Rapid SPE-HPLC determination of the 16 European priority polycyclic aromatic hydrocarbons in olive oils.	Purcaro G, Moret S, Conte LS.	J. Sep. Sci.	2008	31	3936-3944
56	Optimisation of the GC-MS conditions for the determination of the 15 EU foodstuff priority polycyclic aromatic hydrocarbons.	Bordajandi LR, Dabrio M, Ulberth F, Emons H.	J. Sep. Sci.	2008	31	1769-1778
57	Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible fish from Gomti river, India.	Malik A, Ojha P, Singh KP.	Bull Environ Contam Toxicol	2008	80	134-138
58	Sources of contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in Spanish virgin olive oils.	Rodríguez-Acuña R, Pérez-Camino Mdel C, Cert A, Moreda W.	Food Addit. Contam.	2008	25	115-122
59	Analysis of EU priority polycyclic aromatic hydrocarbons in food supplements using high performance liquid chromatography coupled to an ultraviolet, diode array or fluorescence detector	Danyi, S., Brose, F., Brasseur, C., Schneider, Y. J., Larondelle, Y., Pussemier, L., Robbens, J., De Saeger, S., Maghuin-Rogister, G., Scippo, M. L.	Anal. Chim. Acta	2009	633	293-299
60	Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked fish using pressurized liquid extraction with integrated fat removal	Lund, M., Duedahl-Olesen, L., Christensen, J. H.	Talanta	2009	79	10-15
61	A reliable analytical approach based on gas chromatography coupled to triple quadrupole and time-of-flight mass analyzers for the determination and confirmation of polycyclic aromatic hydrocarbons in complex matrices from aquaculture activities	Nacher-Mestre, J., Serrano, R., Portoles-Nicolau, T., Hernandez, F., Benedito-Palos, L., Perez-Sanchez, J.	Rapid Commun Mass Spectrom	2009	23	2075-2086
62	Levels, fingerprint and daily intake of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bread baked using wood as fuel	Orecchio, S., Papuzza, V.	J Hazard Mater	2009	164	876-883
63	Homogeneous liquid-liquid extraction combined with high performance liquid chromatography-fluorescence detection for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetables	Zhao, X., Liu, X., Zhao, Z., Huang, C., Zhang, M., Wang, H., Wang, X.	J. Sep. Sci.	2009	32	2051-2057
64	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coffee brew samples: Analytical method by GC-MS, profile, levels and sources	Santino Orecchio, Viviana Paradiso Ciotti, Loredana Culotta	Food Chem. Toxicol.	2009	47	819-826

表 2 (続 き)

文献 No.	文献名	著者	掲載誌名	掲載年	掲載巻(号)	ページ
65	Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons and their hydroxylated metabolites in infant foods	Ledicia Rey-Salgueiro, Elena Martínez-Carballo, Mercedes Sonia García-Falcón, Carmen González-Barreiro, Jesús Simal-Gándara	Food Chemistry	2009	115	814-819
66	Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish: evaluation of a quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe extraction method.	Ramalhosa MJ, Paíga P, Morais S, Delerue-Matos C, Oliveira MB.	J. Sep. Sci.	2009	32	3529-3538
67	Evaluation of gas chromatography columns for the analysis of the 15 + 1 EU-priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).	Gómez-Ruiz JA, Wenzl T.	Anal. Bioanal. Chem.	2009	393	1697-1707
68	Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meat	Afsaneh Farhadian, S. Jinap, Faridah Abas, Zaidul Islam Sakar	Food Control	2010	21	606-610

表3 多環芳香族炭化水素分析法に関する調査文献のまとめ

文献 No.	対象PAHs項目	食品種	分析法				備考
			測定法	前処理法	検出限界 ($\mu\text{g/kg}$)	定量限界 ($\mu\text{g/kg}$)	
1	Ant, Fl, BaP, Phe, Py, BaA, Ch, BghiP, BbF, BkF, IP, DBahA	全乳, 粉乳, 調製粉乳, 母乳	HPLC/FL	ケン化	0.0013 (BaP) ~ 0.035 (BghiP)	-	
2	BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, IP	チーズ	HPLC/FL	液々分配 シリカSPE	-	0.01 (BkF) ~ 0.90 (IP)	
3	Phe, Ant, Fl, Py, BaA, BaP, DBahA, BghiP	燻製魚	HPLC/FL	ケン化 含水フロリジル	-	-	
4	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BaA, Ch, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP, IP	食用油	HPLC/FL	液々分配 C18 SPE	-	0.3 (BaP) ~6 (Ap)	
5	Fl, Py, BaA, Ch, BeP, BbF, BkF, BaP, DBahA, BghiP	野菜, 果実	HPLC/FL	ケン化 液々分配 含水シリカゲル	0.07 (BaP) ~ 1.29 (BeP)	-	
6	BaP	チーズ	HPLC/FL	ケン化 シリカSPE	0.0058	0.021	
7	Na, BaP	貝類	GC/MS	ジクロロメタン抽出	1.0 (BaP) 2.0 (Na)	-	
8	Na, Acp, Acy, F, Phe, Ant, Fl, Py, BcF, BbF, BkF, BaP, IP, DBahA, BghiP, DBaIP, DBaiP, DBahP, メチルリエン類, DBaJP, DBaEP, 11H-ベンゾフルオレン類, BeP, ベリレン, メチル誘導体類	燻製チーズ	GC/MS	シクロヘキササン抽出 ケン化 シリカSPE	-	-	