

ラットにおけるヘキサクロロベンゼンの母親体内蓄積と 母乳移行に対するpaired feedingにおける脂質レベルの影響

Effect of fat levels in the paired-fed diets on accumulation of hexachlorobenzene in dams
and its transfer to pups through milk in rats

酒本 光子¹, 池上 幸江²

¹大妻女子大学大学院家政学研究科, ²大妻女子大学家政学部食物学科

Mitsuko Sakamoto¹, Sachie Ikegami²

¹Graduate School of Home Economics, Otsuma Women's University

12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan 102-8357

²Division of Food Science, Department of Home Economics, Otsuma Women's University

12 Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan 102-8357

キーワード: ヘキサクロロベンゼン, 食餌脂質レベル, ペアフィーディング, 体内蓄積, 母乳移行
Key words: Hexachlorobenzene, Dietary fat levels, Paired feeding, Accumulation, Milk transfer

抄録

【目的および方法】PCBやダイオキシンなど毒性の強い有機塩素系環境汚染物質が母乳を介して乳児に移行し, 子どもの健康状態に影響を及ぼすことが報告されてきた. 前報において, 著者らはモデル化合物として人母乳中からも検出されているヘキサクロロベンゼン (HCB) を, 母親ラットに投与し, 母親体内での蓄積と乳児への移行に対する飼料中の脂質レベルの影響を検討した. この実験ではラットの飼料は自由摂取とした. その結果, 高脂肪食群では母乳中のHCB量が低いが, 乳児の体内蓄積量には差異がみられなかった. 高脂肪食群では飼料摂取量が低く, その結果HCB摂取量も低くなったために, 母親と乳児ラットにおけるHCB蓄積量について高脂肪食の影響と断定することができなかった. そこで, 本研究ではコントロール食, 低脂肪食, 高脂肪食の各飼料の脂質レベルは15.8%, 5%, 50%として, エネルギー摂取量, 脂質と炭水化物以外の栄養素の摂取量, HCB摂取量はpaired feedingによって同量とした. その他の実験条件は前報と同様である.

【結果】妊娠期・授乳期の母親ラットの体重, 脂肪組織, 肝臓と腎臓重量には飼料中の脂質レベルの有意な影響はなかった. 乳児では, 生後間もなくは高脂肪食群, 低脂肪食群で体重が有意に低かったが, 生後15日目では高脂肪食群で低脂肪食群に対して有意に高くなり, 肝臓や脂肪組織の重量もコントロール食群に比べて有意に重くなった.

妊娠期ラットのHCB蓄積量は高脂肪食群で肝臓において他の2群に比べて有意に高く, 脂肪組織で高い傾向であった. 授乳期ラットでは子宮周辺脂肪ではHCB蓄積量は低脂肪食群, 高脂肪食群では有意に高くなったが, 肝臓では高脂肪食群は有意に低くなった. 他方, 乳児では生後10日目, 15日目では後腹壁脂肪や肝臓のHCB蓄積量には3群間で差がなかったが, 胃内容物中のHCB量は高脂肪食群では有意に低かった.

【考察】以上の結果は多くの点で飼料を自由摂取とした前報の結果に類似していたが, 自由摂取の場合には授乳期ラットの体重や脂肪組織重量にはエネルギー摂取の増加が影響しているものと思われた. エネルギー摂取に差異があっても, 高脂肪食は母親ラットのHCBの体内蓄積を高め, 母乳への移行は抑制することが分かった. しかし, 乳児においては, 高脂肪食の母親からの母乳を介するHCBの移行が抑制されるものの, 脂肪組織が大きくなり, 体内に長くとどまる可能性も示唆された. なお, 低脂肪食ではコントロール食との違いは顕著ではなかった.

1. 序論

1980年代より、アメリカ合衆国やヨーロッパでは環境汚染物質による母乳の汚染を介して、乳児への健康影響を懸念させる研究が報告されてきた。米国ミシガン湖では魚のPCB汚染が注目された。Jacobsonら^[1]はPCB関連物質の母乳濃度と4歳児の血中濃度が相関することを示し、またミシガン湖のPCBで汚染された魚を摂取した母親では胎盤血液のPCB濃度が高く、その乳児の知能レベルが低いことを報告している^[2]。

他方、ヨーロッパではオランダにおいて、工業地帯におけるPCBなどによる汚染に関心がもたれ、子供に対する影響について広く共同研究・調査が行われた。Sauerら^[3]はPCBやダイオキシンが母乳を介して子どもに移行し、子どもの甲状腺機能に影響することを報告した。Koopman-Esseboomらはオランダの工業地帯にあるロッテルダムと近隣の非工業地帯の子どもについて甲状腺ホルモンの状態に違いのあることを示した^[4]。Weisglas-Kuperusらは母乳を授与された乳児の免疫機能とPCBやダイオキシン汚染の関係について明らかにした^[5]。最近のHalldorssonら^[6]の論文では、妊婦の魚摂取とPCB摂取に関連があり、PCB摂取の増加は子どもの体重低下と関係することを報告している。

わが国においては、PCBやダイオキシンによる食品の汚染問題が広く取り上げられたが、乳児や子どもへの健康影響については、とくに詳細な調査・研究は行われなかった。しかし、大阪府公衆衛生研究所では2008年までの38年間にわたって、地域で採取した母乳について各種環境汚染物質の濃度について地道な分析を行ってきた。それによると、ダイオキシン換算では、母乳中の濃度は乳児にとっては、許容量を大幅に超える実態が明らかにされている^[7]。しかし、国の機関による詳細な調査は行われていない。

小西らの調査^[7]では、日本人の母乳中には多様な塩素系環境汚染物質が含まれており、ダイオキシン以外の有機塩素系環境汚染物質ではPCB類のほか、ヘキサクロロベンゼン(HCB)も検出されている。Andoらは茨城県在住の妊婦の血液、胎盤、乳、臍帯血のHCBの分析を行い、乳児への移行の可能性を示している^[8]。

著者らはダイオキシンなどによる母乳汚染が深刻な状況にあることを認識し、基礎的な研究分野においてこの問題について明らかにすることを目指して研究を進めた。ダイオキシンやPCBは実験室にお

いて取り扱うには法律上の制約があり^[9]、体内動態において類似するHCBを用いて、動物実験によってその体内動態や乳児への移行に対する栄養条件の影響について検討した。前報^[10]において、妊娠期・授乳期母親ラットに脂肪レベルの異なる飼料を自由摂取させ、母親体内での蓄積と乳児への移行について検討した。その結果、高脂肪食では乳児へのHCBの移行が抑制される可能性を示した。しかし、高脂肪食では母親ラットの脂肪とエネルギー摂取量は高いものの、食餌摂取量が抑制されるために、飼料中のHCB摂取量や栄養素の摂取が抑制され、結果の解析が充分には行えなかった。そこで、本研究では脂肪摂取以外のエネルギー、栄養素、HCBの摂取量については同量となるように制限する方法で高脂肪食の影響を検討した。

2. 実験方法

2.1. 動物

実験には前報^[10]同様、妊娠5日目のSprague Dawley系ラットを用いた。ラット24匹は、体重が均一になるように1群8匹の3群に群別した。乳児は各母親に対して雌雄同数の8匹とした。

2.2. 飼料

飼料組成は表1に示した。脂質と炭水化物以外の成分量は1kcal当たり同量となるように設定し、前日の低脂肪食群のエネルギー摂取量に合わせて投与した。コントロール食群はAIN-93G(脂質エネルギー比15.8%)とし、低脂肪食群の脂肪エネルギー比は5.0%、高脂肪食群の脂肪エネルギー比は50.0%とした。脂質量は、コーンスターチとシュクロース量で調整した。

成分	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食
コーンスターチ	529.5	585.2	301.4
シュクロース	100	110.5	56.5
カゼイン	200	188.7	245.9
大豆油	70	20.9	272.6
セルロース	50	47.2	61.5
ミネラル混合	35	33	43
ビタミン混合	10	9.4	12.3
L-シスチン	3	2.8	3.7
重酒石酸コリン	2.5	2.4	3.1
ト-ブチルヒドロキノン	0.014	0.014	0.014
HCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	100.6	100	130.5
脂肪エネルギー比率 (%)	15.8	5	50
エネルギー値 (kcal/kg)	3960	3737	4884

2.3. 飼育方法

ラットは飼料組成以外については前報^[10]と同じ条件で飼育した。

2.4. 動物の解剖と試料採取

動物の解剖と試料採取は前報^[10]と同様に行った。すなわち、母親ラットは出産前日に各群4匹、授乳15日目に4匹を、いずれも心臓より血液を採取して屠殺した。

皮下脂肪、後腹壁脂肪、卵巣周辺脂肪、肝臓、腎臓、胎盤・胎児（出産前日のみ）を摘出し、皮下脂肪以外の組織・臓器の重量を測定してから、-20℃で冷凍保存した。肝臓は最大葉の重量を測定後、生理食塩水で還流して血液を除去し、水分を拭き取ってから冷凍保存した。乳児の場合も母親とほぼ同様に処理した。

2.5. 分析方法

(1) HCBの分析方法

母親ラットと乳児の組織・臓器、及び血液のHCBは前報^[10]と同じ方法で分析した。すなわち、組織・臓器と血液はヘキサンによってHCBを抽出し、これをフロリジルカラムで精製し、その後減圧濃縮した残渣をヘキサンに溶かして試料溶液とした。試料溶液中のHCBはGC-MSによって分析した。GC-MSの条件は前報^[10]と同様である。

(2) 肝臓中の脂質の分析

肝臓中の脂質は前報^[10]と同じ方法によって分析した。

(3) 胃内容物の成分の分析

胃内容物中のトリアシルグリセロールは前報^[10]と同じ方法によって分析した。

たんぱく質と乳糖の測定のための試料は、胃内容物50mgを採取し、これに水1.2mlを加えてホモジナイズしたものを用いたが、測定時まで-20℃で冷凍保存した。たんぱく質は試料溶液20μlを用い、Lowry法^[11]によって測定した。乳糖の測定には試料溶液0.3mlを4℃に冷却しながら3000回転、15分遠心分離した中間層の0.2mlを用いた。これに1mol/Lトリクロ酢酸60μlを加えて37℃、10分間加温後、1mol/L水酸化ナトリウム60μlと水80μlを加えて、4℃、3000回転、10分間遠心分離後、Fキット乳糖/ガラクトース（ロッシュ・ダイアグノスティックス社製）を用いて乳糖を測定した。

2.6. 統計処理

測定結果は平均値と標準誤差で示した。一元配置の分析を行った後、Turkey-Kramerの多重比較を行い、有意差は危険率5%で検定した。統計処理はSuper ANOVA ver1.11(Avacus Inc.)を用いた。

表2 妊娠・授乳期ラットの飼料摂取量、体重、臓器重量に対する飼料脂質レベルの影響

	妊娠期			授乳期		
	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食
エネルギー摂取量(kcal)	1070±31	1180±24	1055±46	2344±38	2510±58	2365±79
HCB摂取量(μg)	27.8±0.8	30.6±0.6	27.4±1.2	60.7±1.0	65.2±1.5	61.2±1.9
体重(g)	351±7	355±11	340±5	277±4	290±10	296±16
肝臓(g)	12.6±0.4	13.8±0.1	13.3±0.5	12.3±0.5 ^{ab}	13.3±0.6 ^a	10.4±0.7 ^b
腎臓(g)	1.58±0.07	1.72±0.09	1.57±0.11	1.81±0.03	1.83±0.02	1.91±0.18
後腹壁脂肪(g)	3.97±0.49	3.05±0.39	3.02±0.28	1.60±0.27	2.80±0.43	2.41±0.31
子宮周辺脂肪(g)	7.08±1.04	5.18±0.69	5.53±0.60	4.88±0.59	7.54±0.69	6.07±1.08
胎児(g)	48.3±3.1	50.6±5.4	46.9±1.3	—	—	—
胎盤(g)	5.88±0.24	5.88±0.61	5.72±0.57	—	—	—
n=4						
数値は平均値±標準偏差で示した						
妊娠期、授乳期で、それぞれ異なる記号を持つ数値は危険率0.05で有意差がある						

表3 乳児の体重と臓器重量に対する母親の飼料脂質レベルの影響 (g)

生後日数	飼料	体重	肝臓	腎臓	胃内容物	後腹壁脂肪
2日目	コントロール食	6.53±0.08 ^a	0.30±0.01 ^a	0.06±0.00	0.28±0.03	ND
	低脂肪食	6.05±0.08 ^b	0.27±0.01 ^b	0.05±0.00	0.24±0.02	ND
	高脂肪食	5.80±0.07 ^b	0.27±0.01 ^{ab}	0.06±0.00	0.31±0.02	ND
5日目	コントロール食	10.62±0.27 ^a	0.41±0.01	0.12±0.00	0.33±0.05	0.01±0.01
	低脂肪食	10.55±0.35 ^a	0.39±0.01	0.12±0.01	0.31±0.04	0.01±0.00
	高脂肪食	9.13±0.38 ^b	0.37±0.01	0.10±0.01	0.37±0.04	0.01±0.00
10日目	コントロール食	23.8±0.7	0.70±0.01 ^{ab}	0.26±0.01	0.98±0.13	0.07±0.01
	低脂肪食	22.2±0.4	0.65±0.02 ^a	0.24±0.00	0.69±0.09	0.07±0.01
	高脂肪食	24.0±0.8	0.74±0.03 ^b	0.26±0.02	0.91±0.09	0.09±0.01
15日目	コントロール食	38.8±2.4 ^{ab}	1.17±0.11 ^a	0.40±0.04	0.96±0.15 ^a	0.14±0.01 ^a
	低脂肪食	38.1±0.6 ^a	1.18±0.05 ^a	0.40±0.01	0.43±0.05 ^b	0.19±0.04 ^{ab}
	高脂肪食	43.8±0.6 ^b	1.47±0.04 ^b	0.42±0.01	0.82±0.07 ^a	0.30±0.03 ^b
n=8						
数値は平均値±標準偏差で示した						
ND:測定できず						
同じ日齢で異なる記号を持つ数値は危険率0.05で有意差がある						

3. 結果

3.1. 母親ラットのエネルギー摂取量, HCB 摂取量, 体重, 臓器・組織重量への飼料脂質レベルの影響

妊娠期, 授乳期の母親ラットのエネルギー摂取量, HCB 摂取量, 体重, 臓器・組織重量に対する飼料の影響は表2に示した。

妊娠期・授乳期の母親ラットのエネルギー摂取量, HCB 摂取量は飼料摂取量を調整することによって群間に有意な差はなかった。妊娠期の母親ラットの体重, 肝臓・腎臓・脂肪組織重量, 胎児・胎盤重量にも3群間に有意差はなかった。

他方, 授乳期の母親ラットでは肝臓重量が高脂肪食群においては低脂肪食群より有意に低くなった。体重, 腎臓, 脂肪組織重量には有意差はなかった。

3.2. 乳児ラットの体重と臓器重量に対する母親ラットの飼料の影響

乳児ラットの体重と臓器重量に対する母親ラットの飼料の影響は表3に示した。生後2, 5日目までは高脂肪食群の乳児では体重や腎臓重量は有意に低い, その後はむしろ高くなる傾向があり, 15日目では体重, 肝臓, 後腹壁脂肪の重量は有意に高くなった。なお, 生後2日目では後腹壁脂肪はほとんど生成がみられなかった。

3.3. 母親ラットの HCB 体内蓄積

妊娠期, 授乳期の母親ラットの体内への HCB の蓄

積量と血液中の濃度, 肝臓の脂肪蓄積量は表4に示した。妊娠期では肝臓中の HCB 蓄積量が高脂肪食群で他の2群に比べて有意に高く, 血液中の HCB 濃度は低脂肪食群でコントロール食群に対して有意に高くなった。脂肪組織, 腎臓, 胎盤への HCB の蓄積量には3群間で有意な差はなかった。

授乳期では子宮周辺脂肪の HCB 蓄積量は高脂肪食群と低脂肪食群ではコントロール食群に比べて有意に高くなった。他方, 腎臓中の HCB 蓄積量は高脂肪食群では低脂肪食群に比べて有意に低くなった。

肝臓中の脂肪量は妊娠期では3群間に差はないが, 授乳期では低脂肪食群で最も高く, コントロール食群, 高脂肪食群と続き, 飼料中の脂肪量と逆の傾向を示した。

3.4. 乳児ラットの HCB 体内蓄積量

乳児ラットの肝臓と後腹壁脂肪中の HCB 蓄積量と後腹壁脂肪と皮下脂肪中の HCB 濃度は表5に示した。生後2日目では後腹壁脂肪と皮下脂肪はほとんど生成しておらず, また5日目でも後腹壁脂肪は生成量が少なかったために, HCB 量は測定できなかった。後腹壁脂肪における HCB 濃度は高脂肪食群において生後10日目では他の2群に比べて有意に低く, 15日目では低脂肪食群と高脂肪食群においてコントロール食群に比べて有意に低くなった。しかし, 後腹壁脂肪の蓄積量で見ると3群間に差はなく, 表3に示した組織重量が高脂肪食群では有意に高いことに

表4 妊娠・授乳期ラットの体内HCB蓄積量と肝臓脂質

飼料	妊娠期			授乳期		
	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食
後腹壁脂肪HCB (μg)	3.20 \pm 0.12	2.92 \pm 0.39	3.06 \pm 0.46	0.78 \pm 0.16	1.32 \pm 0.22	1.19 \pm 0.22
子宮周辺脂肪HCB (μg)	5.39 \pm 0.80	5.89 \pm 0.41	6.43 \pm 0.69	2.08 \pm 0.23 ^a	3.87 \pm 0.27 ^b	4.15 \pm 0.46 ^b
肝臓HCB (μg)	0.88 \pm 0.07 ^a	0.98 \pm 0.04 ^a	1.27 \pm 0.04 ^b	0.88 \pm 0.07 ^{ab}	0.97 \pm 0.05 ^a	0.71 \pm 0.04 ^b
腎臓HCB (μg)	0.112 \pm 0.009	0.127 \pm 0.013	0.146 \pm 0.006	0.132 \pm 0.006	0.136 \pm 0.006	0.127 \pm 0.012
胎盤HCB (μg)	2.15 \pm 0.34	4.00 \pm 1.49	3.03 \pm 0.62	—	—	—
血液 (ng/ml)	1.06 \pm 0.18 ^a	1.84 \pm 0.23 ^b	1.40 \pm 0.00 ^{ab}	1.75 \pm 0.44	0.92 \pm 0.11	1.87 \pm 0.25
肝臓脂質 (mg)	576 \pm 47	652 \pm 9	572 \pm 26	1217 \pm 296 ^a	2046 \pm 160 ^b	589 \pm 92 ^a
n=4						
数値は平均値 \pm 標準偏差で示した						
妊娠期、授乳期で、それぞれ異なる記号を持つ数値は危険率0.05で有意差がある						

表5 乳児の脂肪組織・肝臓中のHCB濃度と蓄積量

飼料	飼料	2日目				5日目				10日目				15日目				
		コントロール食	低脂肪食	高脂肪食	ND	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食	ND	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食	ND	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食	ND	
後腹壁脂肪 ($\mu\text{g/g}$)	コントロール食	ND	ND	ND	ND	0.542 \pm 0.035 ^a	1.013 \pm 0.071 ^a											
	低脂肪食	ND	ND	ND	ND	0.495 \pm 0.049 ^a	0.650 \pm 0.108 ^b											
	高脂肪食	ND	ND	ND	ND	0.291 \pm 0.049 ^b	0.536 \pm 0.044 ^b											
後腹壁脂肪 (μg)	コントロール食	ND	ND	ND	ND	0.037 \pm 0.005	0.141 \pm 0.013											
	低脂肪食	ND	ND	ND	ND	0.034 \pm 0.005	0.151 \pm 0.051											
	高脂肪食	ND	ND	ND	ND	0.022 \pm 0.004	0.153 \pm 0.024											
皮下脂肪 ($\mu\text{g/g}$)	コントロール食	ND	0.291 \pm 0.048	0.492 \pm 0.041 ^a	1.249 \pm 0.086 ^a													
	低脂肪食	ND	0.265 \pm 0.042	0.443 \pm 0.024 ^a	0.879 \pm 0.066 ^b													
	高脂肪食	ND	0.236 \pm 0.037	0.358 \pm 0.033 ^b	0.653 \pm 0.030 ^b													
肝臓 (μg)	コントロール食	1.23 \pm 0.15 ^a	3.16 \pm 0.46	10.92 \pm 1.97	9.43 \pm 3.59													
	低脂肪食	2.23 \pm 0.26 ^b	3.35 \pm 0.54	8.16 \pm 0.92	10.88 \pm 2.07													
	高脂肪食	1.50 \pm 0.39 ^{ab}	3.71 \pm 0.42	6.43 \pm 0.75	11.71 \pm 2.08													
n=8																		
数値は平均値 \pm 標準偏差で示した																		
ND: 検出できず																		
同じ日齢で異なる記号を持つ数値は危険率0.05で有意差がある																		

よるものであった。

他方、肝臓中の HCB 蓄積量は 2 日目において低脂肪食群がやや高いが、その他の時期では 3 群間に差は見られなかった。

3.5. 乳児ラットの胃内容物中の HCB 量

乳児ラットの胃内容物中の HCB 量に対する母親ラットの飼料の影響は図 1 に示した。高脂肪食群ラットでは生後 5 日以降はコントロール食群に比べて有意に低くなった。低脂肪食群でもコントロール食群より低い傾向にあるが、有意な差は 15 日のみであった。

3.6. 乳児ラットの胃内容物中の成分量の変化

乳児ラットの胃内容物中のトリアシルグリセロール、たんぱく質、乳糖含量は表 6 に示した。トリアシルグリセロール含量は低脂肪食群、高脂肪食群ではコントロール食群に比べて低い傾向であったが、有意な差はなかった。たんぱく質含量についても 3 群間に有意差はなかったが、低脂肪食群では低い傾向であり、コントロール食群と高脂肪食群ではほぼ同じレベルであった。他方、乳糖含量についてもたんぱく質含量と同様の傾向であった。ただし、2 日目のみ、高脂肪食群では低脂肪食群に比べて有意に高かった。

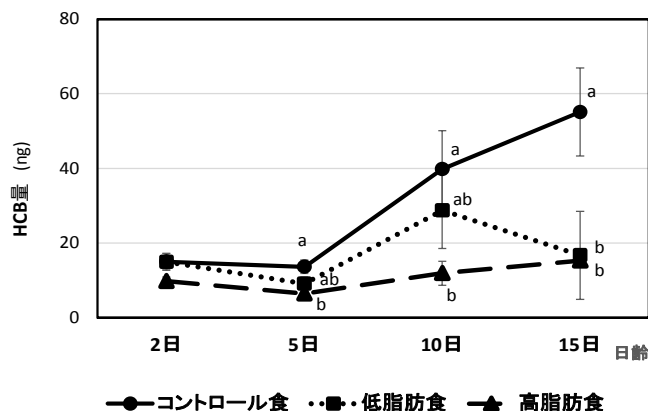


図1 乳児の胃内HCB含量に対する
母親ラットの飼料脂質レベルの影響
(n=8)

表6 乳児の胃内容物中の成分含量に対する母親の飼料脂質レベルの影響 (mg)

生後日数	飼料	トリアシルグリセロール	たんぱく質	乳糖
2日目	コントロール食	61.6±14.6	34.2±5.8	1.9±0.4 ^{ab}
	低脂肪食	60.5±9.1	25.2±2.3	1.2±0.2 ^a
	高脂肪食	74.1±8.8	31.8±3.1	2.7±0.3 ^b
5日目	コントロール食	101.6±29.7	54.0±14.2	1.7±0.4
	低脂肪食	62.1±11.3	38.8±6.3	1.3±0.3
	高脂肪食	66.4±11.5	44.8±4.6	2.1±0.6
10日目	コントロール食	305.7±53.8	114.2±20.5	9.8±2.7
	低脂肪食	229.2±34.2	84.4±12.8	5.4±1.5
	高脂肪食	181.9±21.0	132.9±11.4	9.1±1.6
15日目	コントロール食	264.2±51.3	102.4±24.4	5.6±0.9
	低脂肪食	111.2±44.9	47.4±9.5	2.8±0.7
	高脂肪食	157.0±26.9	99.7±10.9	5.4±0.6

n=8
 数値は平均値±標準偏差で示した
 同じ日齢で異なる記号を持つ数値は危険率0.05で有意差がある

4. 考察

著者らは妊娠期から授乳期にかけて脂質レベルの異なる飼料を摂取した母親ラットと乳児ラットにおける HCB の体内蓄積に対する影響を検討した。前報^[10]においては、飼料はコントロール食、低脂肪食、高脂肪食の3種をそれぞれ自由に摂取させた。その結果、高脂肪食では HCB は母親体内に蓄積しやすく、母乳へは移行しにくいことを確認した。今回の研究では paired feeding の条件で同様の研究を行い、前報^[10]の結果との比較を行った。その結果、高脂肪食による母親体内での脂肪組織などへの HCB の蓄積増加、

母乳への HCB の移行の抑制を確認したが、自由摂取によるエネルギー摂取の過剰は高脂肪食の影響を高めることが確認された。しかし、乳児においても母親の高脂肪食摂取は、母乳からの HCB 移行は抑制されても、乳児の脂肪組織が増加することで、HCB の脂肪組織での蓄積は高まり、乳児の体内蓄積の抑制にはつながらなかった。

HCB やペンタクロロベンゼン (PeCB) を含む有機塩素系環境汚染物質は一般的に代謝が遅く、体内に蓄積しやすい。これらの化合物はとくに脂肪組織に長くとどまることが明らかにされてきた。著者らの

これまでの研究では脂肪組織が大きい場合には、HCB や PeCB の蓄積量が増えるが、ある種食物繊維^[12]や魚油^[13]を投与すると脂肪組織量の低下に伴って、HCB や PeCB の蓄積量が低下することを示した。他方、梅垣らは若いラットと成熟ラットにおける PeCB の蓄積を比較した場合、若いラットでは PeCB の血中半減期が短くなり、代謝が早まることを報告した^[14]。これは若いラットでは脂肪組織が小さいので代謝が早まるが、加齢に伴って脂肪組織量が増加するに伴って PeCB が脂肪組織に蓄積して、代謝が遅くなることを示している。

妊娠期の母親ラットの体内 HCB 蓄積は、自由摂取であれ、paired feeding であれ、高脂肪食では臓器中の HCB の蓄積は高い傾向であり、エネルギー摂取が高い自由摂取の場合はその傾向が強くなった。

授乳期では高脂肪食摂取によって体重や脂肪組織重量が高くなる傾向があり、とくに自由摂取ではその傾向が強くなった。paired feeding においても、高脂肪食では、脂肪組織や肝臓における HCB 蓄積量が高くなった。他方、低脂肪食では授乳期において肝臓にとくに顕著に脂肪蓄積がみられた。これは授乳に伴う脂肪の必要量の増加を補うためと推察される。低脂肪食では肝臓における HCB 蓄積量が多いことと関連があるのかもしれない。

母乳中の HCB 量は食餌条件に関わらず、高脂肪食では有意に低いことが示された。これは高脂肪食では HCB は母親体内に蓄積されて、母乳への移行が抑制されているためと思われる。他の栄養成分；脂質、たんぱく質、乳糖の量には3群に大きな差異は見られなかったため、HCB のみに特徴的な動態である。

乳児では組織や臓器での HCB 蓄積量は3群に差は見られなかった。高脂肪食では脂肪組織での HCB 濃度は低い、組織重量が高脂肪食では高いために、希釈された結果である。母乳からの HCB の移行は低いにも関わらず、乳児体内では影響がみられなかったのは、乳児の脂肪組織重量が高いために、代謝が遅く、体内に残留したためと推察される。

本研究では母親ラットの高脂肪食は母乳を介する乳児への HCB の移行を抑制するものの、乳児体内ではむしろ蓄積を助長する結果となった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、各種ご助言をいただきました大妻女子大学家政学部食物学科の青江誠一郎教授に深謝申し上げます。

引用文献

- [1] Jacobson, J. L. et al. Effects of exposure to PCBs and related compounds on growth and activity in children. *Neurotoxicol. Teratol.* 1990, 12, p.319-326.
- [2] Jacobson, J. L. et al. Effects of in utero exposure to polychlorinated biphenyls and related contaminants on cognitive functioning in young children. *J. Pediatr.* 1990, 116, p.38-45.
- [3] Sauer, P. J. J. et al. Effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) and dioxins on growth and development. *Hum. Exper. Toxicol.* 1994, 13, p.900-906.
- [4] Koopman-Esseboom, C. et al. Effects of dioxins and polychlorinated biphenyls on thyroid hormone status of pregnant women and their infants. *Pediatr. Res.* 1994, 36, p.468-473.
- [5] Weisglas-Kuperus, N. et al. Immunologic effects of background prenatal and postnatal exposure to dioxins and polychlorinated biphenyls in Dutch infants. *Pediatr. Res.* 1995, 38, p.404-410.
- [6] Halldorsson, T. I. et al. Linking exposure to polychlorinated biphenyls with fatty fish consumption and reduced fetal growth among Danish pregnant women; A cause for concern? *Am. J. Epidemiol.* 2008, 168, p.958-965.
- [7] 小西良昌ほか. 母乳中の残留性有機汚染物質 (POPs)汚染調査 (第 19 報) -POPs 簡易測定法の開発とモニタリング調査の最終報告. 大阪府公衆衛生研年報. 2009, 47, p.21-28.
- [8] Ando, M. et al. Transfer of hexachlorobenzene (HCB) from mother to new-born baby through placenta and milk. *Toxicol.* 1985, 56, p.195-200.
- [9] 川上貴教. 実験室での試薬の取り扱いに関する法令と実務 (I) -排出規制関連-, ぶんせき. 2012, 1, p.2-10.
- [10] 酒本光子ほか. ラットにおけるヘキサクロロベンゼンの母親体内蓄積と母乳移行に対する自由摂取飼料の脂質レベルの影響. 人間生活文化研究. 2015, 25, p.142-149.
- [11] Lowry, O. H. et al. Protein measurement with folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951, 193, p.265-275.
- [12] Ikegami, S. et al. Viscous indigestible polysaccharides reduce accumulation pentachlorobenzene in rats. *J. Nutr.* 1994, 124, p.745-760.

[13]Umegaki, K. et al. Feeding fish oil accelerates the metabolism of hexachlorobenzene, J. Nutr. Sci. Vitaminol. 1998, 44, p.301-311.

[14]梅垣敬三ほか, ペンタクロロベンゼンの代謝及び蓄積と脂肪組織の関係: 幼弱ラットと成熟ラットの比較. 食衛誌. 1990, 31, p.485-490.

Abstract

It has been reported that the organochlorine environmental pollutants such as PCB and the dioxins transfer to infants through mother's milk and influence their status of health in the human.

In the previous paper, we showed that the high-fat diet enhanced the accumulation of hexachlorobenzene (HCB) in the adipose tissues of dams and reduced the transfer to pups through the milk. As the dams were fed ad libitum in the experiment, the intakes of HCB, energy and nutrients were different among the control, high-fat and low-fat diet groups.

In this paper, as the dams were fed the diet by paired feeding, the intakes of HCB, energy, and nutrients except lipid and carbohydrate were not different among the three diet groups. Even if energy intakes were the same among the diet groups, the high-fat diet enhanced the HCB accumulation in the dams' body and reduced its transfer to the pups through the milk. In the infants of the dams fed the high-fat diet, their adipose tissues were growing and HCB accumulations in the tissues were increasing following the growth. As a result, the amounts of HCB in the tissues were not different among the three diet groups just before weaning.

It was suggested that the high-fat diet inhibited the transfer of the organochlorine environmental pollutants accumulated in the dam's body to the suckling pups through the milk.

(受付日: 2016年3月1日, 受理日: 2016年5月18日)

酒本 光子 (さかもと みつこ)

現職: 社会福祉法人あそか会特別養護老人ホーム「塩浜ホーム」において管理栄養士として勤務

大妻女子大学大学院家政学研究科食物学専攻前期課程修了。

専門は栄養生化学, 修士課程では「有機塩素系環境汚染物質の体内蓄積と母乳移行に対する脂質栄養の影響に関する研究」に従事した。

主な著書: 「ラットにおけるヘキサクロロベンゼンの母親体内蓄積と母乳移行に対する自由摂取飼料の脂質レベルの影響」, 人間生活文化研究, 25巻, 1-8(2015)