

# 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

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

酒本 光子<sup>1</sup>, 池上 幸江<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大妻女子大学大学院家政学研究科, <sup>2</sup>大妻女子大学家政学部食物学科

Mitsuko Sakamoto<sup>1</sup> and Sachie Ikegami<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Home Economics, Otsuma Women's University

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

<sup>2</sup>Division 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，飼料脂質レベル，体内蓄積，母乳移行

Key words : Hexachlorobenzene, Dietary fat levels, Accumulation, Milk transfer

## 抄録

【目的および方法】有機塩素系環境汚染物質は母乳を介して乳児に移行し、ダイオキシンでは現在も1日摂取許容量を超えている事例が報告されている。本研究ではダイオキシンと体内動態が類似するヘキサクロロベンゼン(HCB)をモデル化合物とし、その母体から胎児への移行に対する食餌脂質レベルの影響をラットで検討した。実験には妊娠期のSprague Dawley系ラットを用い、脂質レベルの異なる飼料にHCBを100 $\mu$ g/kgの濃度で混合して妊娠期から授乳期まで与え、母親ラットの体内へのHCBの蓄積量および乳児への移行量を測定した。飼料脂質レベルはコントロール食群(脂質レベル15.3%)、低脂肪食群(5%)、高脂肪食群(50%)とした。

【結果】妊娠期では、飼料脂質レベルの体重や脂肪組織、肝臓重量への影響はなかった。授乳期ではコントロール食群に比べて、高脂肪食群で体重や脂肪組織重量が有意に高かった。母親の脂肪組織へのHCB蓄積総量は、妊娠期から授乳期で低下し、高脂肪食群では有意差はないが蓄積総量に高い傾向がみられた。

他方、乳児の後腹壁脂肪と皮下脂肪中のHCB濃度は、高脂肪食群では有意に低いが、後腹壁脂肪全体での蓄積総量は3群間に差がなかった。乳児の胃内容物中のHCB全量は、コントロール食群に比べて、出生後2日、5日目の高脂肪食群で有意に低く、10日目でも低い傾向であったが、低脂肪食群では差異はなかった。

【考察】母親ラットの脂肪組織は高脂肪食群で大きく、とくに授乳期ではコントロール食群や低脂肪食群に比べて有意に大きかった。HCBは脂肪組織に蓄積しやすく、脂肪組織が大きくなると体内からのHCBの移動が抑制され、その結果として、高脂肪食群の母親ラットの乳児の胃内容物中のHCBも低くなったものと考えられる。本実験の高脂肪食群ではエネルギー値が高いために飼料摂取量が低くなり、飼料からのHCB摂取量も低くなったために、高脂肪食の影響は十分に明らかにできなかった。

## 1. 序論

現在、環境中には様々な汚染物質が存在する。その中でもダイオキシンに代表されるような脂溶性の有機塩素系環境汚染物質は分解が遅く、また生物体内でも代謝が遅いため長く蓄積する。過

去に農薬として利用されたDDTやBHCなどが問題となったが、1970年代初めに製造や使用が禁止されて環境中の濃度は徐々に低下した。その後工業的に利用されたPCBがひろく環境を汚染し、また1970年代にはカネミ油症事件のような問題が

起こった。さらにゴミ焼却場などから排出されるダイオキシンは毒性も強く、社会的な問題となった。PCBやダイオキシンはとくに分解されにくく、また代謝が遅く、生物体内での濃縮によって、動物性食品を介して人への摂取が問題となった。とりわけ母乳は極めて高濃度に汚染されており、現在も乳児にとっては1日摂取許容量(ADI)を超える状況も報告されている<sup>[1,2]</sup>。

中嶋らは母乳の有機塩素系環境汚染物質による汚染に関心を持ったが、ダイオキシンは毒性が強いために実験室で扱うには規制があった。そこで、毒性そのものではなく、その代謝に関心を持ち、毒性の低い化合物でその体内蓄積と栄養条件の關係に注目して研究を進めた。その対象化合物としてヘキサクロロベンゼン(HCB)を用いた<sup>[3]</sup>。HCBは実験室で取り扱う場合には特に規制はなく、これまで農薬などの合成の原料として用いられてきたために、環境中にも存在する。

HCBより塩素数の少ないペンタクロロベンゼン(PeCB)は代謝速度がHCBより早く、途中からは同じ経路で代謝されるために、梅垣らは栄養条件による影響を見るための実験に用いてきた<sup>[4]</sup>。

さらに、池上らはある種食物繊維は雄ラットにおいてPeCBの体内蓄積を抑制することを明らかにした<sup>[5,6,7]</sup>。他方、中嶋らは、妊娠期から授乳期の母親ラットにHCBを飼料に混合して微量投与すると、母親ラットの体内に蓄積し、出産後は母乳を介して急速に乳児に移行することを明らかにした。しかし、HCBの母乳を介する移行に対しては食物繊維の影響は観察されなかった。それは、母乳へのHCBの移行が速く、食物繊維の影響が観察しにくかったためと考えられた<sup>[8]</sup>。

他方、高脂肪食はHCBの母親体内での蓄積を高めるが、母乳移行に対してはむしろ抑制的に作用することがみられた<sup>[9]</sup>。この研究では正常な脂質レベルの飼料との比較において高脂質レベルの影響をみた。そこで、本研究では正常な脂質レベルと高脂質レベルに加えて、低脂質レベルの飼料も加えて、HCBの母親への蓄積と乳児への移行に関する脂質レベルの影響を比較検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 動物

実験には、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。

### 2.2 飼料

飼料は表1に示す3種を用いた。コントロール食群はAIN-93Gの組成を基本として調製した(脂質エネルギー比15.8%)。低脂肪食群(脂質エネルギー比5.0%)と高脂肪食群(脂質エネルギー比50.0%)は、大豆油量、コーンスターチとシュクロース量で脂質エネルギー比を調整し、その他の栄養成分の組成はコントロール食と差がないようにした。

HCB(東京化成工業株式会社)はエタノールで3回再結晶を行い、純度99%以上としたものを用いた。飼料にはHCBエタノール溶液を100 $\mu$ g/kg飼料となるように大豆油に混合した。

成分	表1 実験飼料組成 (g/kg)		
	コントロール食	低脂肪食	高脂肪食
コーンスターチ	529.5	578.7	353.5
シュクロース	100	100	66.7
カゼイン	200	200	200
大豆油	70	20.8	279.3
セルロース	50	50	50
ミネラル混合	35	35	35
ビタミン混合	10	10	10
L-シスチン	3	3	3
重酒石酸コリン	2.5	2.5	2.5
ト-ブチルヒドロキノン	0.014	0.014	0.014
HCB( $\mu$ g)	100	100	100
脂肪エネルギー比率(%)	15.8	5	50
エネルギー値(kcal)	3948	3702	4828

### 2.3 飼育方法

ラットはプラスチック製の個別ケージに入れ、温度23 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C、湿度約50%、12時間明暗サイクルの条件で飼育し、それぞれの飼料は実験期間を通して自由摂取させた。ラットは毎日体重と飼料摂取量を測定した。水と床敷き(パルソフト)を2~3日毎に交換した。

### 2.4 動物の解剖と試料採取

母親ラットは出産前日と授乳15日目に各群4匹をエーテル麻酔下で心臓より採血して屠殺した。その後、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。他の臓器は重量を測定後、冷凍保存した。出産前日の母親ラットの胎児の数とその重量を測定した。

乳児ラットも親ラットと同様に採血後は皮下脂肪、後腹壁脂肪、肝臓、腎臓、胃を採取した。胃は重量測定後に切開し、胃内容物を試料とした。

## 2.5 分析方法

### (1) HCB の分析

フロリジルカラムの調製：パスツールピペットにガラスウールを詰め、フロリジル 0.5g を詰め、硫酸ナトリウム 0.2g を重層した。

脂肪組織からの抽出サンプルの調製：試料 0.2g を氷冷しながらヘキサン 4.8ml でホモジナイズした。4℃に冷却しながら、2500 回転で 10 分間遠心分離した。上清 2ml をとり、フロリジルカラムに通し、5ml のヘキサンで溶出した。溶出液に 5% デカン溶液 0.2ml を加えて減圧乾固した。この残渣にヘキサン 0.5ml を加えて溶解し、GC-MS によって HCB を分析した。

臓器・胃内容物からの抽出サンプルの調製：試料 0.5g (0.5g に満たない場合は全量) を取り、水 2ml を加えて冷却しながらホモジナイズした。これにヘキサン 5ml を加えて 1 分間攪拌し、冷却しながら脂肪組織の場合と同様に処理した。

GC-MS の条件

機種：SIMADZU GC-MS QP5000

カラム：ハイリゾリューションキャピラリーカラム DB・624 (60m×0.25mm)

検出ゲイン：2.30KV

カラム槽温度：80℃→250℃への昇温 (9 分間)

気化室とインターフェース：250℃

質量数：283.85

### (2) 肝臓中の脂質の分析

Folch 法<sup>[10]</sup>を用いて、クロロホルム：メタノール (2:1) によって抽出し、溶媒を乾固して重量を測定して脂質量とした。

### (3) 胃内容物中のトリアシルグリセロールの測定

胃内容物 25mg を採取し、クロロホルム：メタノール (2:1) で 3 回抽出し、遠心分離後に上清をとり、蒸発乾固後のサンプルを用いてトリグリセライド E テストワコー (和光純薬) によって測定した。

## 2.6 統計処理

測定結果は平均値と標準誤差で示した。一元配置の分散分析を行った後、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
飼料摂取量 (g)	303±9	299±28	273±14	643±14 <sup>a</sup>	718±8 <sup>b</sup>	578±18 <sup>c</sup>
HCB 摂取量 (μg)	30.3±0.9	29.7±2.8	27.4±1.4	64.3±1.4 <sup>a</sup>	71.8±0.8 <sup>b</sup>	57.8±1.8 <sup>c</sup>
体重 (g)	378±15	359±31	365±14	285±6 <sup>a</sup>	295±1 <sup>ab</sup>	315±7 <sup>b</sup>
肝臓 (g)	13.8±1.1	14.0±1.1	15.3±0.1	11.8±1.0	14.7±0.2	11.9±0.3
腎臓 (g)	1.61±0.01	1.61±0.12	1.62±0.05	1.75±0.11	1.85±0.03	1.76±0.02
後腹壁脂肪 (g)	3.05±0.18	2.76±0.50	2.83±0.34	1.71±0.39 <sup>a</sup>	1.41±0.26 <sup>a</sup>	3.68±0.32 <sup>b</sup>
子宮周辺脂肪 (g)	6.23±0.32	6.61±1.07	8.44±2.03	4.36±1.08 <sup>a</sup>	3.96±0.66 <sup>a</sup>	8.34±0.55 <sup>b</sup>
胎児 (g)	56.0±5.8	55.4±11.6	50.7±2.9			
胎盤 (g)	6.17±0.56	6.14±1.28	6.56±0.44			
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	7.19±0.36	0.29±0.01	0.07±0.00 <sup>a</sup>	0.38±0.03	ND
	低脂肪食	6.78±0.24	0.32±0.03	0.06±0.00 <sup>ab</sup>	0.38±0.06	ND
	高脂肪食	6.55±0.44	0.27±0.01	0.06±0.00 <sup>b</sup>	0.40±0.05	ND
5日目	コントロール食	11.69±0.68 <sup>a</sup>	0.46±0.02	0.14±0.01	0.38±0.04	0.04±0.02
	低脂肪食	9.28±0.53 <sup>b</sup>	0.42±0.02	0.12±0.00	0.36±0.03	0.05±0.02
	高脂肪食	11.37±0.55 <sup>ab</sup>	0.41±0.05	0.11±0.02	0.25±0.06	0.02±0.00
10日目	コントロール食	24.9±0.4	0.81±0.01	0.28±0.01	0.70±0.12	0.07±0.01
	低脂肪食	23.9±0.4	0.76±0.03	0.27±0.01	0.68±0.13	0.05±0.01
	高脂肪食	24.4±1.5	0.84±0.04	0.27±0.02	0.59±0.05	0.09±0.02
15日目	コントロール食	41.3±1.8	1.33±0.08	0.41±0.02	0.60±0.09	0.19±0.03
	低脂肪食	40.8±0.7	1.29±0.03	0.44±0.02	0.89±0.13	0.15±0.01
	高脂肪食	41.0±2.8	1.38±0.12	0.33±0.06	0.87±0.06	0.29±0.04
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						

### 3. 結果

#### 3.1 母親ラットの飼料摂取量, HCB 摂取量, 体重, 臓器重量への影響

妊娠期, 授乳期の母親ラットの飼料摂取量, HCB 摂取量, 体重, 臓器重量は表 2 に示した。

妊娠期の母親ラットの飼料摂取量は, コントロール食群に対して, 低脂肪食群, 高脂肪食群とは有意差はないが, 低い傾向であり, 高脂肪食群でもっとも低い。その結果, HCB 摂取量も有意差はないが高脂肪食群では低い傾向であった。体重, 臓器や脂肪組織重量, 胎児数, 胎児重量には有意な影響はなかった。

他方, 授乳期の母親ラットの飼料摂取量では, コントロール食群に比べて, 低脂肪食群では有意に高く, 高脂肪食群では有意に低かった。その結果, HCB 摂取量にも同様の差異がみられた。体重ではコントロール食群に比べて高脂肪食群では有意に高くなった。

肝臓や腎臓重量には飼料群間に有意差はない。他方, 脂肪組織重量はコントロール食群と低脂肪食群の間には有意差はないが, 高脂肪食群は他の 2 群に比べて有意に高い。

#### 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

乳児ラットの体重や臓器重量に対する母親ラットの飼料の影響は表 3 に示したが, その影響は顕

著ではない。生後 2 日目の腎臓重量では高脂肪食群では有意に低いが, 成長後では低い傾向はあるものの有意ではない。生後 5 日目の体重では低脂肪食群がコントロール食群に比べて有意に低い。しかし, その影響は 15 日目では有意ではなく, 他の 2 群との差はなくなっていた。その他の日数では体重, 臓器重量への影響は見られないので, 全体的には乳児ラットへの母親ラットの飼料の影響はほとんどないと判断される。

#### 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 の蓄積量は表 4 に示した。表 4 には脂肪組織と臓器全体に含まれる HCB 量を示した。妊娠期では高脂肪食群でコントロール食群や低脂肪食群に比べて HCB の蓄積総量が高くなる傾向がみられ, 肝臓, 腎臓では有意に高かった。他方, 授乳期の母親ラットでは脂肪組織でも高脂肪食群で HCB の蓄積総量は高い傾向がみられるが, 有意ではなかった。なお, 肝臓の脂肪量は授乳期では低脂肪食群で有意に高くなった。

#### 3.4 乳児ラットの HCB 体内蓄積

乳児ラットの HCB の脂肪組織における蓄積量は表 5 に示した。生後 5 日目では後腹壁脂肪はほとんど生成しておらず, HCB 蓄積は測定できなかった。生後 10 日目と 15 日目では後腹壁脂肪と皮



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 ( $\mu\text{g}$ )	5.13 $\pm$ 0.42	4.28 $\pm$ 0.62	5.62 $\pm$ 0.63	1.27 $\pm$ 0.24	1.10 $\pm$ 0.20	2.07 $\pm$ 0.20
子宮周辺脂肪HCB ( $\mu\text{g}$ )	3.07 $\pm$ 0.19	4.05 $\pm$ 0.40	4.35 $\pm$ 0.84	1.39 $\pm$ 0.12	1.82 $\pm$ 0.49	2.26 $\pm$ 0.30
肝臓HCB ( $\mu\text{g}$ )	1.44 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	1.63 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	2.82 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	1.38 $\pm$ 0.34	2.49 $\pm$ 0.20	1.72 $\pm$ 0.13
腎臓HCB ( $\mu\text{g}$ )	0.177 $\pm$ 0.005 <sup>a</sup>	0.280 $\pm$ 0.045 <sup>a</sup>	0.356 $\pm$ 0.038 <sup>b</sup>	0.256 $\pm$ 0.034	0.305 $\pm$ 0.07	0.284 $\pm$ 0.011
肝臓脂質 (mg)	558 $\pm$ 48	516 $\pm$ 62	612 $\pm$ 21	951 $\pm$ 311 <sup>a</sup>	2165 $\pm$ 251 <sup>b</sup>	705 $\pm$ 60 <sup>a</sup>
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 乳児の脂肪組織中のHCB濃度と蓄積量

	飼料	日齢		
		5日目	10日目	15日目
後腹壁脂肪 ( $\mu\text{g/g}$ )	コントロール食	ND	0.493 $\pm$ 0.044 <sup>a</sup>	0.942 $\pm$ 0.056 <sup>a</sup>
	低脂肪食	ND	0.532 $\pm$ 0.032 <sup>a</sup>	1.312 $\pm$ 0.119 <sup>b</sup>
	高脂肪食	ND	0.316 $\pm$ 0.028 <sup>b</sup>	0.793 $\pm$ 0.032 <sup>a</sup>
後腹壁脂肪 ( $\mu\text{g}$ )	コントロール食	ND	0.053 $\pm$ 0.022	0.188 $\pm$ 0.032
	低脂肪食	ND	0.028 $\pm$ 0.004	0.200 $\pm$ 0.033
	高脂肪食	ND	0.028 $\pm$ 0.006	0.180 $\pm$ 0.030
皮下脂肪 ( $\mu\text{g/g}$ )	コントロール食	0.868 $\pm$ 0.128	0.920 $\pm$ 0.093 <sup>a</sup>	0.593 $\pm$ 0.042 <sup>a</sup>
	低脂肪食	1.025 $\pm$ 0.097	1.056 $\pm$ 0.039 <sup>a</sup>	0.669 $\pm$ 0.068 <sup>a</sup>
	高脂肪食	0.670 $\pm$ 0.048	0.425 $\pm$ 0.038 <sup>b</sup>	0.407 $\pm$ 0.030 <sup>b</sup>
数値は平均値 $\pm$ 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				

下脂肪の HCB の濃度は、他の 2 群に比べて高脂肪食群で有意に低くなった。しかし、後腹壁脂肪組織への蓄積総量で見ると有意差はなくなった。表 3 の後腹壁脂肪組織重量がやや多い傾向があり、それが原因と考えられる。皮下脂肪の全量は測定していないので、断定はできないが、皮下脂肪全体での HCB 量も後腹壁脂肪と同様である可能性も考えられる。

### 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。出生 2 日目、5 日目では高脂肪食群ではコントロール食群に比べて有意に低い。10 日目は有意ではないが、低い傾向である。15 日目になると、ほとんど母親ラットの飼料の影響は見られなくなる。

### 3.6 乳児ラットの胃内容物中のトリアシルグリセロール量

乳児ラットの胃内容物中のトリアシルグリセロール量に対する母親ラットの飼料の影響は図 2 に示した。生後 5 日目では低脂肪食群、高脂肪食群ではコントロール食群に比べて、胃内容物中のトリアシルグリセロール含有量は有意に低い、その他の日数では差異は見られなかった。

## 4. 考察

HCB はわが国環境中における濃度は低いものの、現在も環境中から検出される有機塩素系環境汚染物質である<sup>[11]</sup>。その毒性は低く、研究室で比較的取り扱いやすい。池上らは HCB がダイオキシンや PCB などの有機塩素系環境汚染物質と生体内での

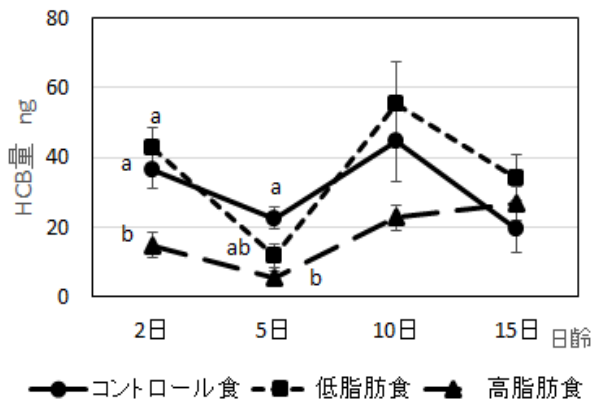


図1 乳児の胃内HCB含量に対する母親ラットの飼料の影響

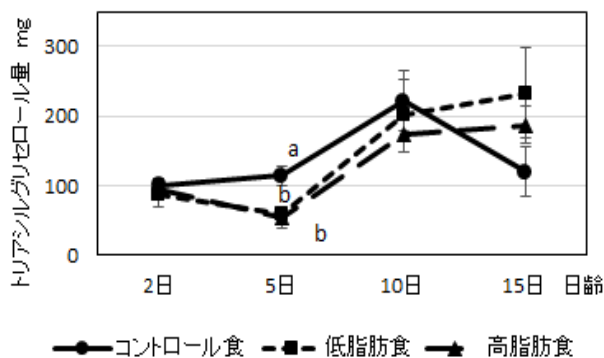


図2 乳児の胃内トリアシルグリセロール量に対する母親ラットの飼料の影響

蓄積性などが類似するところから、有機塩素系環境汚染物質の代謝や体内蓄積に対する栄養条件の影響を検討するモデル化合物として適切であると考え、HCBを用いて妊娠動物、授乳動物の体内から胎児、乳児への移行に対する脂質栄養の影響について妊娠・授乳ラットを用いて検討した<sup>[3,7]</sup>。

有機塩素系化合物は脂溶性であり、体内では脂肪の多い脂肪組織に蓄積され、代謝を受けにくい。しかし、授乳期では乳成分の脂質は飼料からの脂質が不足する場合は、脂肪組織からの脂肪が動員される。その際に蓄積されていた有機塩素系環境汚染物質は脂肪とともに組織から遊離されるために、その動態は飼料の脂質条件の影響を受けやすいと考えられる。

一般に妊娠・授乳ラットの推奨飼料では脂質エネルギー比率は15.8%であるところから、本実験ではその約1/3の5%を低脂肪、その10倍の50%を高脂肪の飼料とし、それぞれの飼料の影響を比較した。妊娠期のラットでは飼料による体重や臓

器、脂肪組織重量への影響は見られなかったが、授乳期では母親ラットの体重や脂肪組織重量は高脂肪群で有意に高くなった。しかし、飼料のエネルギー値が高いために、飼料摂取量は低く、これに連動してHCB摂取量は低くなった。他方、乳児の体重や臓器・組織重量には顕著な影響は見られなかった。

妊娠期の母親ラットの体内HCB蓄積総量は顕著ではないが、高脂肪食群で高い傾向がみられた。授乳期においても、HCB摂取量が低いにも関わらず、高脂肪食群の母親の体内HCB蓄積総量は有意ではないが高い傾向がみられた。母親体内のHCB蓄積総量を妊娠期と授乳期で比べると、いずれの群でも授乳期は明らかに低い。表2の飼料からのHCB摂取量では明らかに授乳期の方が高い。妊娠期の3種の飼料群について、脂肪組織、肝臓、腎臓のHCB蓄積総量を各群のHCB摂取量に対する比率で表すと、コントロール食群で32.4%、低脂肪食群で34.5%、高脂肪食群で48.0%となり、妊娠期では胎児への移行や体外排泄がわずかであり、脂肪組織を中心として体内に蓄積されていることを示している。他方、授乳期ではHCB摂取量に対する脂肪組織、肝臓、腎臓への蓄積総量の比率は、コントロール食群で4.5%、低脂肪食群で5.4%、高脂肪食群で11.0%であり、体外への排泄が促進していることがうかがえる。

乳児の後腹壁脂肪と皮下脂肪組織中のHCBの濃度ではコントロール食群や低脂肪食群に比べて高脂肪食群では有意に低くなった。なお、生後5日目では皮下脂肪はすでに生成しているが、後腹壁脂肪はほとんど採取できなかった。生後10日目と15日目の後腹壁脂肪全体のHCB量で見ると、高脂肪食群では低い傾向はあるものの、他の2群に比べて有意差はなかった。

ラットの乳児は生後2週目くらいまでは母乳のみで生育する。その後徐々に母親の飼料を摂取するようになる。したがって生後15日目までの胃内容物は母乳に由来する。図1の乳児の胃内容物のHCB総量は、高脂肪食群において2日目、5日目では有意に低く、10日目では有意ではないが低い傾向がみられた。

Lanoue L.ら<sup>[12]</sup>、Matsuno A. Y.ら<sup>[13]</sup>は母親ラットの飼料中の糖質量が多くなると、出産後15日目の母乳中の脂質量が増えることを示している。これらの研究では、飼料中の糖質はグルコースを12、24、60%、あるいは20、40、60%としている。ま

た、これらの研究では、いずれも低糖質飼料では脂質量を増やし、さらにセルロースを用いて、単位重量当たりのエネルギー値を調整している。

他方 Prado M.D. らは高脂肪食と低脂肪食の飼料では乳中の脂肪量に違いのあることを報告している。すなわち、出産 12 から 14 日目の母乳では高脂肪では乳量が多く、脂肪量も多くなっている。この研究では飼料中のエネルギーを同量とするために、糖質量とセルロースでエネルギーを調整している。

これらの研究と著者らの研究では、研究条件が異なっており、単純に比較できないが、低脂肪食では飼料中の糖質が多く、母乳中の脂肪が増える点では、著者らの結果と Lanoue L.<sup>[12]</sup>と Matsuno A.M.<sup>[13]</sup>らの結果と一致している。しかし、Del Parado M.ら<sup>[14,15]</sup>の結果とは一致していない。これらの研究からは、母乳中の脂質量に影響するのが飼料脂質量によるのか、糖質量によるのかは断定できない。また、エネルギー量を調整するために加えられた多量のセルロースの影響も検討する必要がある。

これまでの研究結果<sup>[9]</sup>も踏まえると、今回の結果は、母親が高脂肪食を摂取している場合は母親の体内の脂肪組織は大きくなり、HCB を蓄積しやすくなり、その結果、母乳を介する乳児への HCB の移行も抑制されるものと推測される。他方、低脂肪食群では脂肪組織重量はコントロール食群に比べて、大きな差異はなく、その結果乳児への移行も差がないと推測される。

本実験では飼料は自由摂取としたために、エネルギー摂取や HCB の摂取に群間に差があり、飼料中の脂肪レベルの影響だけを十分に明らかにできなかった。エネルギーや HCB 摂取の影響を調整した条件での詳細な検討が必要である。

## 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】 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.
- 【2】 池上幸江ほか. 母乳とダイオキシン. 栄養学雑誌. 1999, 7, p.1-10.
- 【3】 Nakashima, Y. et al. Hexachlorobenzene accumulated by dams during of pregnancy is transferred to suckling rats during early lactation. J. Nutr. 1997, 127, p.648-654.
- 【4】 梅垣敬三ほか. ラットにおけるペンタクロロベンゼンとヘキサクロロベンゼンの分布, 蓄積と排泄に対する食事制限の影響. 食衛誌. 1993, 34, p.404-410.
- 【5】 土橋文江ほか. ラットにおけるペンタクロロベンゼンの体内蓄積に対する難消化性多糖類の影響. 食衛誌. 1992, 33, p.241-246.
- 【6】 Ikegami, S et al. Viscous indigestible polysaccharides reduce accumulation of pentachlorobenzene in rats. J. Nutr. 1994, 124, p754-760.
- 【7】 斎藤木綿子ほか. ヘキサクロロベンゼンのラット体内蓄積に対する食物繊維の影響. ルミナコイド研究. 2014, 18, p.95-100.
- 【8】 Nakashima, Y. et al. Masking of guar gum-induced acceleration on hexachlorobenzene excretion by its rapid excretion through lactation in adult female rats. J. Agr. Food Chem. 1998, 46, p.2241-2247.
- 【9】 Nakashima, Y. et al. High-fat diet enhances accumulation of hexachlorobenzene in rats dams and delays its transfer from rat dams to suckling pups through milk. J. Agr. Food Chem. 1999, 47, p.1587-1592.
- 【10】 Folch, J, et al. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Bio. Chem. 1957, 193, p265-275.
- 【11】 堀伸二郎, 食品中のダイオキシン等有機化学物質の分析と暴露評価. 食衛誌. 2010, 51, p.373-381.
- 【12】 Lanoue, L. et al. Glucose-restricted diets alter milk composition and mammary gland development in lactating rat dams. J. Nutr. 1994, 124, p.94-102.
- 【13】 Matsumoto, A. Y. et al. Low intensity exercise and varying proportions of dietary glucose and fat modify milk and mammary gland compositions and pup growth. J. Nutr. 1999, 129, p.1167-1175.
- 【14】 Del Parado, M, et al. Maternal lipid intake

during pregnancy and lactation alters milk composition and production and litter growth in rats. *J. Nutr.* 1997, 127, p.458-462.  
【15】 Del Parado, M, et al. A high dietary lipid intake

during pregnancy and lactation enhances mammary gland lipid uptake and lipoprotein lipase activity in rats. *J. Nutr.* 1999, 129, p.1574-1578.

---

### Abstract

The organochlorine environmental pollutants such as dioxins transfer to infants through mother's milk. In the study we used less toxic hexachlorobenzene (HCB) and examined the effects of dietary lipid level on the distribution and transfer of HCB from dams to suckling pups. In pregnant rats fed with high-fat diet, the amount of HCB accumulated in fat tissues was slightly higher compared with the control diet and the low-fat diet groups. In all groups, a large proportion of HCB in the dams disappeared during lactation period and was transferred to their pups through the milk. In the pups of the high-fat diet group, the amount of HCB in stomach contents was lower immediately until 10 day after birth compared with those of the control and the low-fats diets. These results showed a high-fat diet reduced the speed of the transfer of HCB from the dams to suckling pups through milk.

---

(受付日 : 2015 年 5 月 22 日, 受理日 : 2015 年 7 月 3 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.