

平成10年度厚生科学研究

(生活安全総合研究事業)

研究報告書

研究課題

ダイオキシン類の排泄促進に関する研究

平成11年3月

主任研究者 森田邦正

福岡県保健環境研究所

ダイオキシン類の排泄促進に関する研究

目 次

研究要旨	1
A. 研究目的	1
B. 研究方法	2
1. 実験材料	2
2. 動物実験	2
3. ダイオキシン類の定量	2
C. 研究結果	4
1. 野菜投与が飼料摂取量、体重及び糞量に及ぼす影響	4
2. ダイオキシン類の糞中排泄に及ぼす野菜投与の効果	4
3. ダイオキシン類の吸収抑制に及ぼす野菜投与の効果	7
4. ダイオキシン類の排泄量と野菜中のクロロフィル含有量との関係	10
D. 考察	10
E. 結論	11
F. 文献	12

図表

表1. ダイオキシン類の毒性等価係数及び油症原因 ライスオイル中のダイオキシン類の濃度	3
表2. ラットの飼料組成	3
表3. ラットの飼料摂取量、体重増加量及び糞量に及ぼす 野菜投与の影響	5
表4. ラットにおけるダイオキシン類の糞中排泄量と 消化管吸収率	6
表5. 野菜中のクロロフィル a 及びクロロフィル b 含有量	9
図1. 吸収抑制実験における試験飼料の投与方法	4
図2-1～図2-7. 野菜類のPCDD排泄促進効果	13
図3-1～図2-10. 野菜類のPCDF排泄促進効果	17
図4-1～図4-7. 野菜類のPCDD吸収抑制効果	22
図5-1～図5-10. 野菜類のPCDF吸収抑制効果	26
図6-1～図7-7. PCDD排泄量と野菜類のクロロフィル量 との関係	31
図7-1～図7-10. PCDF排泄量と野菜類のクロロフィル量 との関係	35

厚生科学研究費補助金（生活安全総合研究事業）
総括研究報告書

ダイオキシン類の排泄促進に関する研究

主任研究者 森田 邦正 福岡県保健環境研究所 専門研究員

研究要旨

ダイオキシン類をラットに経口投与すると、最初の3日間は大量が、その後5日目までは比較的少量が排泄される。投与1週間後からは体内のダイオキシン類が再び消化管内へ排出され、糞中へほぼ一定した割合で排泄される。このことから、ダイオキシン類が混入したカネミ油症の原因ライスオイルを、ラットの飼料に1回添加して投与し、5日間の糞を採取した。糞中のダイオキシン類を測定し、基本食群と16種類の野菜群の排泄量を比較検討した。

PCDD(polychlorinated dibenzo-*p*-di-oxins)同族体の中で、最も毒性の高い2,3,7,8-T₄CDDの糞中排泄量は、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が7.6～11.6倍、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が3.3～4.8倍、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.6～2.3倍の増加が認められた。

PCDF(polychlorinated dibenzofurans)同族体の中で、最も毒性の高い2,3,4,7,8-P₅CDFの糞中排泄量は、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が6.5～9.4倍、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が4.3～5.4倍、白菜及びブロッコリー群が2.2～2.4倍、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.2～1.3倍の増加が認められた。

クロロフィル含有量の多い小松菜、みつば、ほうれん草等の野菜を与えた群は、クロロフィル含有量の少ないキャベツ、セルリー等の野菜を与えた群と比べて、ダイオキシン類の吸収をさらに強く抑制し、排泄促進効果が認められた。

16種類の野菜群のダイオキシン類の糞中排泄量と野菜中のクロロフィル含有量との間には有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

本研究結果より、食品経由のダイオキシン類による健康影響を未然に防ぐ食生活の方法として、小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ等の緑色野菜を多く摂ることが重要であると思われる。

A. 研究目的

一般的な生活環境において、人はダイオキシン類を消化管、肺、皮膚から吸収すると考えられている。空気、水、土壌を経由した汚染経路は非常に少なく、主な経路は食品を経由した消化管吸収である。ダイオキシン類の吸収率は極めて高く、乳児の場合、授乳により母乳中のダイオキシン類は95%が吸収される。成人の場合、2,3,7,8-T₄CDDを投与した報告例では、人の消化管吸収率は95%である。食物から取り入れられたダイオキシン類

は小腸で吸収され、血液を経由して各組織に移行し、最終的には脂肪組織と肝臓に多く蓄積される。2,3,7,8-位に塩素が置換したダイオキシン類は代謝されにくく、かなり長期にわたって人体に残留する。人の血液や脂肪組織の生物学的半減期は5年以上と報告されている。それゆえ、一般の人の血液、肝臓、脂肪組織、母乳から微量（約20pg/g脂肪）であるが検出されている。しかし、体内に蓄積したダイオキシン類は、ごく一部が胆汁や腸液等を通じて再び消化管内に排出され、糞

便中へと排泄されていく。ダイオキシン類による人への健康障害を防止するためには、食品経路のダイオキシン類を消化管内で吸収抑制し、人体への吸収量を大幅に減少させる食生活の方法を開発することが必要である。また、すでにダイオキシン類に暴露された人に対しては、消化管内に排出されたダイオキシン類の再吸収を効果的に抑制することにより、体内蓄積量を減少させる方法を提示することが必要である。

これまでの研究から、クロロフィル（葉緑素）はダイオキシン類の消化管吸収を抑制する作用があることが示唆され、クロロフィルを含む野菜類にはダイオキシン類の排泄促進作用が期待される。そこで、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリーの16種類の野菜を用いて、ダイオキシン類の排泄促進について検討した。

略語 PCDD (polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins)、PCDF (polychlorinated dibenzofurans)、T₄CDD (tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin)、P₅CDD (pentachlorodibenzo-*p*-dioxin)、H₆CDD (hexachlorodibenzo-*p*-dioxin)、H₇CDD (heptachlorodibenzo-*p*-dioxin)、O₈CDD (octachlorodibenzo-*p*-dioxin)、T₄CDF (tetrachlorodibenzofuran)、P₅CDF (pentachlorodibenzofuran)、H₆CDF (hexachlorodibenzofuran)、H₇CDF (heptachlorodibenzofuran)、O₈CDF (octachlorodibenzofuran)。

B. 研究方法

1. 実験材料

小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリーは、青果市場で購入した。ケールは青汁

製造会社から提供された。16種類の野菜類は水道水でよく洗浄した後、27Lの大型なべで1~1.5分間ゆでた。水道水で冷却した後、熱風乾燥機に入れ、60℃で一夜乾燥した。これを食品用粉碎器を使って粉末にし、デシケータ中に保存した。

ラットの飼料に添加した油症原因ライスオイルは、油症患者から提供された未使用のものを使用した。表1に、研究方法の3に従って定量した油症原因ライスオイル中のダイオキシン類の濃度を示す。

クロロフィルa及びbの標準試薬はシグマ社製を用いた。井崎らのクロロフィルの定量法に準じ、高速液体クロマトグラフを使って野菜中のクロロフィルa及びクロロフィルbを測定した。

ヘキサン、アセトン、クロロホルム、メタノール、ジクロロメタン、無水硫酸ナトリウム、フロリジルは和光純薬（株）製の残留農薬試験用を使用した。硝酸銀シリカゲルは硝酸銀10gに水5mlを加えて加温して溶かし、これにメルク社製のKieselgel 60 (70~230mesh) 85gを加え、振り混ぜたのち一夜放置したものを用いた。その他の試薬は特級品を使用した。

2. 動物実験

ラットはセアック吉富（株）から5週齢のウィスター系雄ラットを購入し、ラットの餌のカゼイン、ミネラル（Harper配合）、ビタミン（Harper配合）はオリエンタル酵母（株）製を用いた。68匹のラットを1群4匹に分け、表2に示す食餌組成で調製した基本食及び10%の乾燥野菜を含む飼料を与えた。5日間予備飼育後、一夜絶食させ、それぞれの飼料4gに油症原因ライスオイル0.2mlを添加してラット（平均体重約151g）に1回投与した（図1）。飼料を完全に摂取させた後（約5時間）、引き続き、それぞれ同じ飼料で5日間飼育した。ラットは代謝ケージに1匹ずつ入れ、食餌と水は自由に与えた。糞は5日分を採取し、70℃で一夜乾燥し重量を秤量した。

表1 ダイオキシン類の毒性等価係数及び油症原因ラリスオイル中のダイオキシン類の濃度

	毒性等価係数 (TEF)	油症原因ラリスオイル (ng/g)
2, 3, 7, 8-T ₄ CDD	1	0.56
1, 2, 3, 7, 8-P ₅ CDD	0.5	7.50
1, 2, 3, 4, 7, 8-H ₆ CDD	0.1	5.6
1, 2, 3, 6, 7, 8-H ₆ CDD	0.1	34.3
1, 2, 3, 7, 8, 9-H ₆ CDD	0.1	24.5
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₇ CDD	0.01	133.0
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O ₈ CDD	0.001	80.9
2, 3, 7, 8-T ₄ CDF	0.1	501.6
1, 2, 3, 7, 8-P ₅ CDF	0.05	554.3
2, 3, 4, 7, 8-P ₅ CDF	0.5	877.4
1, 2, 3, 4, 7, 8-H ₆ CDF	0.1	822.6
1, 2, 3, 6, 7, 8-H ₆ CDF	0.1	128.9
1, 2, 3, 7, 8, 9-H ₆ CDF	0.1	11.9
2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₆ CDF	0.1	224.3
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₇ CDF	0.01	321.9
1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-H ₇ CDF	0.01	16.9
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O ₈ CDF	0.001	38.0

表2 ラットの飼料組成 (%)

成分	基本食	野菜食
ショ糖	70	60
蛋白質	20	20
コーンオイル	5	5
ミネラルミックス	4	4
ビタミンミックス	0.85	0.85
塩化コリン	0.15	0.15
粉末野菜	0	10

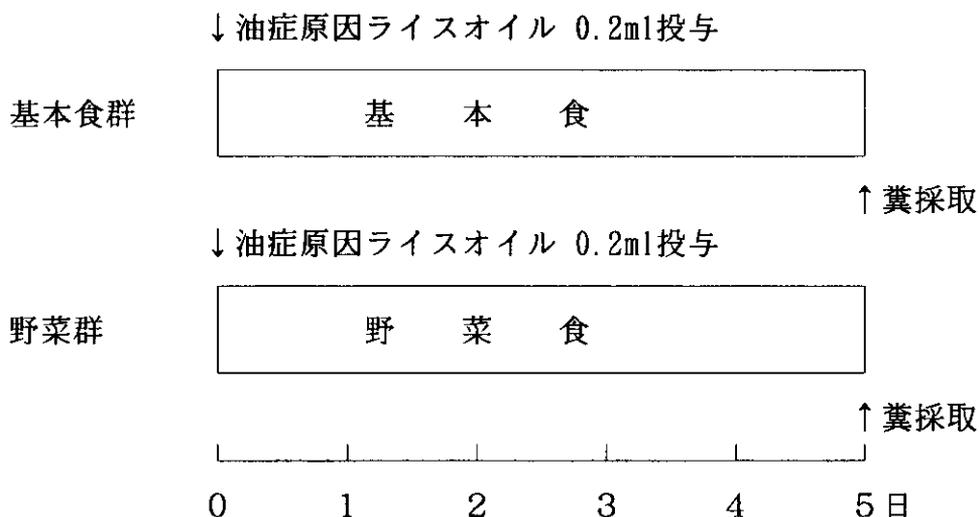


図1 吸収抑制実験における試験飼料の投与方法

3. ダイオキシン類の定量

糞は円筒のガラス繊維製ろ紙に入れ、ソックスレー抽出器を用いて、クロロホルム-メタノール (2:1, v/v) 150mlで10時間抽出した。抽出液は約5mlまで濃縮し、クロロホルムで50mlに定容した。ダイオキシン類の定量には糞の抽出液2~8mlをそれぞれ10mlの試験管にとり濃縮乾固し、ヘキサン1mlを加えた。これに¹³C₁₂の2, 3, 7, 8-位に塩素が置換した4~7塩化体の内標準物質を200pg及び8塩化体の内標準物質を400pg添加し、1N水酸化カリウムエタノール溶液1mlを加え室温で一夜アルカリ分解した。これにヘキサン1ml、水0.5mlを加え振とう後、遠心分離しヘキサン層を分取した。同様に、ヘキサン2mlを加えて再度抽出した。ヘキサン層を合わせ、水1mlで洗浄した後遠心分離し、水を除去した。濃硫酸2mlで5回処理した後、1ml以下に濃縮した。このヘキサン溶液を0.8gの硝酸銀シリカゲルカラム (7mmφ) に注入し、ヘキサン8mlで溶出し、溶出液を1ml以下に濃縮した。さらに0.6gのフロリジルカラム (7mmφ) にかへキサン4mlを流下させた後、ジクロロメタン8mlでダイオキシン類を溶出した。ジクロロメタン溶出液は乾固し、ヘキサン0.5mlを加え濃硫酸0.1mlで1回処理した。

ヘキサン層を取り乾固し、ノナン15μlを加え試料液とした。ダイオキシン類はスペルコ社製のキャピラリーカラム SP-2331 (0.32mm×30m) を装着したGC-MS (HEWLETT PACKARD 5890-FINNIGAN MAT-90) を用いて分解能7000に設定してSelected Ion Monitoring (SIM)法で定量した。

C. 研究結果

1. 野菜投与が飼料摂取量、体重及び糞量に及ぼす影響

本研究では16種類の野菜群と比較するため、野菜を含まない基本食をラットに投与しコントロールとした。飼料組成は表2に示すように、乾燥野菜量をショ糖で補正し、そのほかの組成は同一にした。その結果、10%の野菜飼料を投与することにより、ラットの飼料摂取量及び成長に特に影響はみられなかった(表3)。野菜群の糞量は基本食群と比べてかなり多くなり、有意な差が認められた。

2. ダイオキシン類の糞中排泄に及ぼす野菜投与の効果

表4に体重1kg当たりのダイオキシン類の投与量を示す。5日間の糞中排泄量を未吸収分と考えると、一夜絶食時に、ダイ

表3 ラットの飼料摂取量、体重増加量及び糞量に及ぼす野菜投与の影響

食餌	飼料摂取量 (g/5日間)	体重増加量 (g/5日間)	糞量 (g/5日間)
基本食	96.2±5.5	50.6±5.7	1.1±0.2
10%小松菜	101.7±2.9	56.5±6.6	4.5±0.6 ^{a)}
10%みつば	103.3±3.7	56.0±4.3	3.6±0.9 ^{a)}
10%ほうれん草	101.6±7.0	52.4±3.1	3.6±0.7 ^{a)}
10%青じそ	101.0±5.4	52.1±2.8	3.5±0.7 ^{a)}
10%ケール	103.7±2.7	57.6±4.1	4.2±0.2 ^{a)}
10%にら	104.8±2.4	59.8±4.2	3.5±0.3 ^{a)}
10%春菊	103.8±3.1	59.6±4.0	3.7±0.4 ^{a)}
10%チンゲンサイ	102.2±4.3	50.9±2.4	4.2±1.1
10%グリーンレタス	101.4±2.1	51.0±2.2	3.2±0.5 ^{a)}
10%ピーマン	101.5±5.9	56.6±5.3	3.8±0.7 ^{a)}
10%白菜	103.0±5.3	55.3±5.5	4.1±0.5 ^{a)}
10%ブロッコリー	102.2±7.0	57.2±8.4	2.8±1.0
10%たまねぎ	105.1±1.7	58.6±1.9	2.2±0.6 ^{a)}
10%ネギ	98.4±4.4	57.0±3.4	2.2±0.6 ^{a)}
10%キャベツ	104.0±3.7	56.6±4.6	3.0±0.4 ^{a)}
10%セルリー	103.4±2.4	55.4±4.7	2.2±0.9 ^{a)}

数値はラット4匹の平均値±標準偏差である。

a)基本食群と比較して有意な差があり (p<0.01)。

オキシシン類を飼料に添加して投与した時の消化管吸収率は、基本食群の場合、7種類のPCDDで31.5~98.4%、10種類のPCDFで36.3~99.8%であった(表4)。7種類のPCDDについて、基本食群の排泄量を1.0とした16種類の野菜群の排泄比率を、図2-1~図2-7に示す。

2,3,7,8-T₄CDDの排泄量は基本食群が投与量の1.6%、小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が投与量の12.0~18.3%、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が投与量の6.9~7.5%、白菜、ブロッコリー、たまねぎ及びネギ群が投与量の3.3~4.7%、キャベツ、セルリー群が投与量の2.6~3.1%であった。2,3,7,8-T₄CDDの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、

ほうれん草及び青じそ群が7.6~11.6倍、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が3.3~4.8倍、白菜、ブロッコリー、たまねぎ及びネギ群が2.1~2.3倍、キャベツ、セルリー群が1.6~1.9倍に増加した。

同様に、1,2,3,7,8-P₅CDDの排泄量は基本食群に対して、小松菜及びみつば群が7.3~7.8倍、ほうれん草、青じそ、ケール、にら及び春菊群が4.2~5.6倍、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン、白菜及びブロッコリー群が2.0~3.9倍、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.1倍に増加した。

1,2,3,4,7,8-H₆CDDの排泄量は基本食群に対して、小松菜及びみつば群が5.1~6.1倍、ほうれん草、青じそ、ケール、に

表4 ラットにおけるダイオキシン類の糞中排泄量と消化管吸収率

	投与量 (ng/kg)	基本食群	
		糞中排泄量 (%)	消化管吸収率 (%)
2, 3, 7, 8-T ₄ CDD	0.7	1.6±0.2	98.4±0.2
1, 2, 3, 7, 8-P ₅ CDD	9.1	4.8±0.5	95.2±0.5
1, 2, 3, 4, 7, 8-H ₆ CDD	6.8	12.4±1.7	87.6±1.7
1, 2, 3, 6, 7, 8-H ₆ CDD	41.6	15.2±2.6	84.8±2.6
1, 2, 3, 7, 8, 9-H ₆ CDD	29.8	16.1±7.9	83.9±7.9
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₇ CDD	161.3	39.8±3.1	60.2±3.1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O ₈ CDD	98.1	68.5±8.6	31.5±8.6
2, 3, 7, 8-T ₄ CDF	608.4	0.2±0.1	99.8±0.1
1, 2, 3, 7, 8-P ₅ CDF	672.3	1.7±0.2	98.3±0.2
2, 3, 4, 7, 8-P ₅ CDF	1064.2	3.7±0.4	96.3±0.4
1, 2, 3, 4, 7, 8-H ₆ CDF	997.7	14.2±1.0	85.8±1.0
1, 2, 3, 6, 7, 8-H ₆ CDF	156.3	17.2±1.9	82.8±1.9
1, 2, 3, 7, 8, 9-H ₆ CDF	14.5	27.1±2.6	72.9±2.6
2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₆ CDF	272.1	19.3±2.8	80.7±2.8
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H ₇ CDF	390.4	30.4±1.7	69.6±1.7
1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-H ₇ CDF	20.5	35.1±3.2	64.9±3.2
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O ₈ CDF	46.1	63.7±6.9	36.3±6.9

数値はラット4匹の平均値±標準偏差である。

ら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が3.0~4.7倍、白菜及びブロッコリー群が2.0~2.6倍、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.3~1.7倍に増加した。

1, 2, 3, 6, 7, 8-H₆CDDの排泄量は基本食群に対して、小松菜及びみつば群が4.3~4.5倍、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が2.6~3.4倍、白菜、ブロッコリー、ネギ及びキャベツ群が1.1~1.9倍に増加した。

1, 2, 3, 7, 8, 9-H₆CDDの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が3.3~4.8倍、白菜及びブロッコリー群が

2.4~2.9倍、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.4~1.9倍に増加した。

1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H₇CDDの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン及び白菜群が1.6~2.1倍、ブロッコリー、ネギ及びキャベツ群が1.1~1.4倍に増加した。

1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O₈CDDの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が1.2~1.4倍、白菜、ブロッコリー、たまねぎ及びネギ群が1.1~1.2倍に増加した。

10種類のPCDFについて、基本食群の排

泄量を1.0とした16種類の野菜群の排泄比率を、図3-1～図3-10に示す。

2, 3, 7, 8-T₄CDFの排泄量は基本食群が投与量の0.15%、小松菜及びみつば群が投与量の2.5～2.7%、ほうれん草及び青じそ群が投与量の1.4～1.8%、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が投与量の0.6～1.2%、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ及びセルリー群が投与量の0.2～0.4%であった。2, 3, 7, 8-T₄CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜及びみつば群が17.0～18.7倍、ほうれん草及び青じそ群が9.4～12.3倍、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が4.2～7.9倍、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ及びセルリー群が1.3～2.7倍に増加した。

同様に、1, 2, 3, 7, 8-P₅CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が8.3～13.6倍、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン群が5.2～6.3倍、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.1～2.8倍に増加した。

2, 3, 4, 7, 8-P₅CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜及びみつば群が9.2～9.4倍、ほうれん草及び青じそ群が6.5～7.0倍、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が4.3～5.4倍、白菜及びブロッコリー群が2.2～2.4倍、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.2～1.3倍に増加した。

1, 2, 3, 4, 7, 8-H₆CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ及びグリーンレタス群が3～4倍、ピーマン及び白菜群が2倍、ブロッコリー、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.1～1.5倍に増加した。

1, 2, 3, 6, 7, 8-H₆CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜及びみつば群が3.7～3.9倍、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタ

ス及びピーマン群が2.4～3.3倍、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.1～1.8倍に増加した。

1, 2, 3, 7, 8, 9-H₆CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が1.6～2.0倍、白菜、ブロッコリー及びネギ群が1.3倍に増加した。

2, 3, 4, 6, 7, 8-H₆CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が2.5～4.0倍、白菜及びブロッコリー群が1.8～1.9倍、ネギ及びキャベツ群が1.3倍に増加した。

1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-H₇CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン、白菜及びブロッコリー群が1.2～2.0倍、ネギ及びキャベツ群が1.1倍に増加した。

1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-H₇CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が1.9～2.4倍、白菜、ブロッコリー、ネギ及びキャベツ群が1.1～1.5倍に増加した。

1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-O₆CDFの排泄量は基本食群に対して、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン、白菜及びブロッコリー群が1.1～1.6倍に増加した。

小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群は、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群と比べて、ダイオキシン類を糞中に多く排泄する傾向がみられた。

3. ダイオキシン類の吸収抑制に及ぼす野菜投与の効果

ダイオキシン類の吸収抑制に及ぼす野菜投与の効果を数値で表した。計算は野

菜群の基本食群に対する吸収抑制率 (%) = (基本食群の吸収率 - 野菜群の吸収率) / 基本食群の吸収率 × 100] とした。

図4-1～図4-7に、7種類のPCDDについて野菜群の吸収抑制率を示す。2,3,7,8- T_4 CDDの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が10.6～17.0%、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が3.7～6.0%、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.0～3.2%吸収抑制した。

1,2,3,7,8- P_5 CDDの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が20.9～34.5%、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が13.0～18.4%、白菜及びブロッコリー群が5.0～6.0%、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が0.2～0.7%吸収抑制した。

1,2,3,4,7,8- H_6 CDDの場合、基本食群に対して小松菜及びみつば群が57.7～72.1%、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が28.4～51.8%、白菜及びブロッコリー群が14.3～22.9%、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が4.6～9.4%吸収抑制した。

1,2,3,6,7,8- H_6 CDDの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が28.4～61.8%、白菜及びブロッコリー群が12.7～16.4%、ネギ及びキャベツ群が1.3～5.0%吸収抑制した。

1,2,3,7,8,9- H_6 CDDの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が44.0～73.0%、白菜及びブロッコリー群が26.4～35.8%、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が7.0～16.7%吸収抑制した。

1,2,3,4,6,7,8- H_7 CDDの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、

青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が47.4～69.8%、白菜及びブロッコリー群が24.3～36.6%、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が0.6～13.0%吸収抑制した。

1,2,3,4,6,7,8,9- O_8 CDDの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が44.1～83.6%、白菜及びブロッコリー群が32.6～41.4%、たまねぎ及びネギ群が10.2～13.6%吸収抑制した。

図5-1～図5-10に、10種類のPCDFについて野菜群の吸収抑制率を示す。2,3,7,8- T_4 CDFの場合、基本食群に対して小松菜及びみつば群が2.3～2.6%、ほうれん草及び青じそ群が1.2～1.7%、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン、白菜、ブロッコリー、たまねぎ及びセルリー群が0.1～1.0%吸収抑制した。

1,2,3,7,8- P_5 CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が12.1～21.0%、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が7.2～8.8%、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が0.2～3.0%吸収抑制した。

2,3,4,7,8- P_5 CDFの場合、基本食群に対して小松菜及びみつば群が31.7～32.4%、ほうれん草及び青じそ群が21.2～23.4%、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が12.7～17.0%、白菜及びブロッコリー群が4.6～5.3%、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が0.6～1.1%吸収抑制した。

1,2,3,4,7,8- H_6 CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ及びグリーンレタス群が34.7～50.2%、ピーマン及び白菜群が18.1～19.2%、ブロッコリー、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.6～8.6%吸収抑制した。

1,2,3,6,7,8- H_6 CDFの場合、基本食群に

対して小松菜及びみつば群が58.5~59.1%、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が28.7~48.7%、白菜及びブロッコリー群が15.8~16.2%、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.4~6.5%吸収抑制した。

1,2,3,7,8,9-H₆CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が21.2~38.7%、白菜、ブロッコリー、たまねぎ及びネギ群が1.5~12.7%吸収抑制した。

2,3,4,6,7,8-H₆CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が36.7~71.3%、白菜及びブロッコリー群が17.9~21.5%、たまねぎ、ネギ、キャ

ベツ及びセルリー群が0.7~7.1%吸収抑制した。

1,2,3,4,6,7,8-H₇CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ及びグリーンレタス群が30.9~42.8%、ピーマン、白菜及びブロッコリー群が10.1~21.6%、ネギ及びキャベツ群が2.3~3.6%吸収抑制した。

1,2,3,4,7,8,9-H₇CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が46.6~73.8%、白菜及びブロッコリー群が18.7~27.6%、ネギ及びキャベツ群が7.0~9.9%吸収抑制した。

1,2,3,4,6,7,8,9-O₈CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が

表5 野菜中のクロロフィルa及びクロロフィルb含有量

	クロロフィルa (%)	クロロフィルb (%)	a+b (%)	a+b* (%)
小松菜	0.380	0.137	0.518	0.102
みつば	0.602	0.198	0.800	0.086
ほうれん草	0.225	0.088	0.312	0.102
青じそ	0.382	0.145	0.527	0.320
ケール	0.292	0.115	0.407	0.230
にら	0.116	0.057	0.173	0.031
春菊	0.349	0.100	0.449	0.070
チンゲンサイ	0.090	0.048	0.138	0.029
グリーンレタス	0.041	0.023	0.063	0.067
ピーマン	0.009	0.006	0.014	0.008
白菜	0.035	0.014	0.049	0.027
ブロッコリー	0.034	0.011	0.045	0.014
たまねぎ	0.000	0.000	0.000	—
ネギ	0.015	0.009	0.024	0.030
キャベツ	0.003	0.000	0.003	0.003
セルリー	0.001	0.000	0.001	0.005

*井崎らのデータから引用した生の野菜のクロロフィルa+b含有量。

61.4~101.5%、白菜及びブロッコリー群が35.3~51.1%、たまねぎ、ネギ及びキャベツ群が8.1~13.7%吸収抑制した。

4. ダイオキシン類の排泄量と野菜中のクロロフィル含有量との関係

表5に16種類の野菜中のクロロフィルa及びクロロフィルb含有量を高速液体クロマトグラフで定量した結果を示す。16種類の野菜群のPCDD排泄量と野菜中のクロロフィルa+b含有量との関係を、図6-1~図6-7に示す。同様に、PCDF排泄量と野菜中のクロロフィルa+b含有量との関係を、図7-1~図7-10に示す。その結果、ダイオキシン類の中で、1,2,3,4,6,7,8,9-0_sCDD及び1,2,3,7,8,9-H₆CDFを除いて、ダイオキシン類の糞中排泄量と野菜中のクロロフィル含有量との間には有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

D. 考察

人の食物経路のダイオキシン類の暴露量を評価するには、これらの消化管吸収率を知ることがきわめて大切である。Abrahamらは母乳を与えた乳児から糞便を採取し、ダイオキシン類の排泄量を測定した。その結果、消化管吸収率は摂取量に対して、2,3,7,8-T₄CDDが約94%、1,2,3,7,8-P₅CDDが約94%、1,2,3,4,7,8-H₆CDDが約88%、1,2,3,6,7,8-H₆CDDが約91%、1,2,3,7,8,9-H₆CDDが約80%、1,2,3,4,6,7,8-H₇CDDが約62%、1,2,3,4,6,7,8,9-0_sCDDが約17%、2,3,7,8-T₄CDFで約96%、1,2,3,7,8-P₅CDFが約97%、2,3,4,7,8-P₅CDFが約95%、1,2,3,4,7,8-H₆CDFが約90%、1,2,3,6,7,8-H₆CDFが約89%、2,3,4,6,7,8-H₆CDFが約91%、1,2,3,4,6,7,8-H₇CDFが約51%、1,2,3,4,6,7,8,9-0_sCDFが約4%であったと報告している。これをラットの場合と比べると(表4)、4~7塩化ダイオキシン類の消化管吸収率は、授乳による母乳からの吸収率とかなり近い値であることがわかる。乳児とラットでは吸収に関して大きな動物間の種差はなく、特に、高毒性で塩素置換数の少な

い4~5塩化ダイオキシン類は容易く吸収される。また、成人の場合においても2,3,7,8-T₄CDDの消化管吸収率は95%と報告されているようにきわめて高い。

一般に、ダイオキシン類の消化管吸収は、食事内容により大きな影響を受けると考えられる。ダイオキシン類の消化管吸収を抑制する要因として、1) ダイオキシン類が食餌成分に吸着され、吸収されにくくする。2) ダイオキシン類が食餌成分と吸収されにくい複合体を形成する。3) ダイオキシン類が消化管内に分泌される生体成分と吸着するかあるいは複合体を形成することが挙げられる。また、ダイオキシン類を効果的に体外へ排泄促進するためには、それ自体が吸収されず、消化液にも安定で、さらに腸内細菌で分解されず、糞中に速やかに排泄される物で、毒性がないことが必要である。保水性の高い水溶性あるいは固形様の物や、油状の物は下痢を生じやすいので、大量投与が難しいと考えられる。

前に、1)の要素を満たす食餌成分として、食物繊維を用いて*in vitro*における吸着試験を行った。その結果、米ぬか繊維、そば繊維、ほうれん草繊維、だいこん葉繊維等の食物繊維は、2,3,4,7,8-P₅CDF及び1,2,3,4-T₄CDDをよく吸着する作用があることが分かった。さらに、米ぬか繊維等の12種類の食物繊維をラットに投与し、ダイオキシン類の排泄促進作用について検討した。その結果、食物繊維はダイオキシン類の排泄促進に有効であることが分かった。特に、米ぬか繊維はほうれん草、だいこん葉、白菜、ごぼう、だいこん根、にんじん、小豆、大麦、キャベツ、コーン、大豆の11種類の繊維と比べて高い効果が認められた。食物繊維は野菜、果実、穀類、豆類、海藻類等の植物に含まれ、主な成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニン及びペクチン質である。食物繊維の中で、ダイオキシン類の吸着作用が非常に弱いセルロースにも、*in vivo*において、ダイオキシン類の排泄促進作用があることが分かった。

同様に、2)の要素を満たす食餌成分として、クロレラ、スピルリナ及びクロロフィルリンをラットに投与し、ダイオキシン類の排泄促進作用について検討した。クロロフィル含有量の多いクロレラ及びスピルリナと、クロロフィルから製造されるクロロフィルリンは米ぬか繊維よりさらに高いダイオキシン類の排泄促進効果を示した。このことから、クロロフィルにはダイオキシン類の消化管吸収を抑制する作用があることが示唆された。さらにまた、抹茶(緑茶)を用いて検討した結果、抹茶のダイオキシン類の排泄促進効果は、米ぬか繊維とクロレラのほぼ中間の値を示した。クロロフィルによるダイオキシン類の排泄機構として、化学構造が平面であるクロロフィルが、同じく平面構造をもつダイオキシン類と複合体を形成することが推測される。

今回、1)及び2)の要素を満たす食品として、16種類の野菜を用い、ダイオキシン類の排泄促進作用について検討した。その結果、クロロフィル含有量の多い小松菜、みつば、ほうれん草等の緑色野菜は、クロロフィル含有量の少ないキャベツ、セルリー等に比べて、ダイオキシン類の排泄促進に有効であることが分かった。投与量が同じ10%の野菜類と、クロレラ、抹茶及び米ぬか繊維とを比較した場合、1,2,3,7,8-P₅CDDの排泄量は小松菜及びみつば群が基本食群の7.3~7.8倍であったのに対し、クロレラ群が6.6倍であった。ほうれん草、青じそ、ケール、にら及び春菊群が基本食群の4.2~5.6倍であったのに対し、抹茶群が4.7倍と近似し、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が基本食群の3.6~3.9倍であったのに対し、米ぬか繊維群が3.3倍と近い効果であった。白菜及びブロッコリー群が基本食群の2.0~2.2倍、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.1倍であった。

2,3,4,7,8-P₅CDFの排泄量の場合、小松菜及びみつば群が基本食群の9.2~9.4倍であったのに対し、クロレラ群が8.9倍とほぼ同等であった。ほうれん草及び青じ

そ群が基本食群の6.5~7.0倍であったのに対し、抹茶群が基本食群の6.5倍と近似し、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が4.3~5.4倍であったのに対し、米ぬか繊維群が4.8倍とほぼ同等の効果であった。白菜及びブロッコリー群が2.2~2.4倍、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.2~1.3倍に増加したが、米ぬか繊維群よりかなり低い効果であった。

厚生省の国民栄養調査成績と井崎らが調査した野菜中のクロロフィルa及びbの含有量を用いて、日本人が摂取している1日当たりのクロロフィル量を試算すると、約65mg/dayとなる。これから、食品総量(乾燥重量として約425g)に占めるクロロフィル含有量は、乾燥重量当たり約0.015%である。このことから、ラットに投与した16種類の野菜の中で、チンゲンサイ及びにら飼料のクロロフィル含有量(0.0138%及び0.0173%)は日本人が摂取している食品のクロロフィル含有量(約0.015%)に最も近い値であると考えられる。

4~5塩化ダイオキシン類の場合、図6及び図7に示したダイオキシン類の排泄量と野菜中のクロロフィル含有量との間には、ほぼ直線的な傾向が認められる。このことから食生活のうえで、緑色野菜を多くとることにより、クロロフィル摂取量を増加させることが、2,3,7,8-T₄CDD及び2,3,4,7,8-P₅CDF等の排泄促進のために重要であると思われる。

E. 結論

食品経由のダイオキシン類を消化管で吸収抑制し、糞中に多く排泄促進する方法を検討した。動物実験には日常の食生活で比較的多く摂取されている、小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ、ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス、ピーマン、白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリーの16種類の野菜を用いた。

1) ダイオキシン類の中で最も毒性の

高い2,3,7,8-T₄CDDの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が2,3,7,8-T₄CDDの吸収を11~17%抑制することにより、その糞中排泄量を7.6~11.6倍増加させた。ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が3.7~6.0%吸収抑制することにより、排泄量を3.3~4.8倍上昇させた。白菜、ブロッコリー、たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が1.0~3.2%吸収抑制することにより、糞中排泄量を1.6~1.9倍上昇させた。

PCDFの中で最も毒性の高い2,3,4,7,8-P₅CDFの場合、基本食群に対して小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそ群が2,3,4,7,8-P₅CDFの吸収を21.2~23.4%抑制することにより、その糞中排泄量を6.5~9.4倍増加させた。ケール、にら、春菊、チンゲンサイ、グリーンレタス及びピーマン群が12.7~17.0%吸収抑制することにより、排泄量を4.3~5.4倍上昇させた。白菜及びブロッコリー群が4.6~5.3%吸収抑制することにより、排泄量を2.2~2.4倍増加させた。たまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群が0.6~1.1%吸収抑制することにより、排泄量を1.2~1.3倍上昇させた。

2) クロロフィル含有量の多い小松菜、みつば、ほうれん草及び青じそを投与した群は、クロロフィル含有量の少ないたまねぎ、ネギ、キャベツ及びセルリー群に比べて、ダイオキシン類の糞中排泄量が顕著に増加した。

3) 16種類の野菜群のダイオキシン類の排泄量と野菜中のクロロフィル含有量との間には有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.01$)。

4) 食品経由のダイオキシン類の消化管吸収を抑制し、効果的に体外に排泄促進する食生活の方法として、クロロフィル含有量が多い小松菜、みつば、ほうれん草、青じそ等の緑色野菜をより多く摂ることが重要である。

F. 文献

- 1) 森田邦正、平川博仙、松枝隆彦、飯田隆雄、常盤寛：ラットにおける食物繊維のPCDF及びPCDD排泄促進効果。福岡医誌. 84:273-281,1993。
- 2) 森田邦正、松枝隆彦、飯田隆雄：PCDFの糞中排泄および肝臓分布に対する食物繊維の効果。福岡医誌. 86:218-225,1995。
- 3) 森田邦正、濱村研伍、飯田隆雄：食物繊維のPCB吸着作用—in vivoとin vitroの比較—。福岡医誌. 86:212-217,1995。
- 4) 森田邦正、松枝隆彦、飯田隆雄：ラットにおけるPolychlorinated Dibenz o-*p*-dioxinsの糞中排泄に対する食物繊維の効果。衛生化学. 43:35-41,1997。
- 5) 森田邦正、松枝隆彦、飯田隆雄：ラットにおけるPolychlorinated Dibenz o-*p*-dioxinsの糞中排泄に対するクロレラ、スピルリナ及びクロロフィリンの効果。衛生化学. 43:42-47,1997。
- 6) 森田邦正：ダイオキシン類の体外排除—食物繊維と緑黄色野菜が有効—。Kewpie News. 285:1-15,1997。
- 7) 森田邦正：食物繊維による体内ダイオキシン類の排出促進。生活と環境. 43(12):39-44,1998。

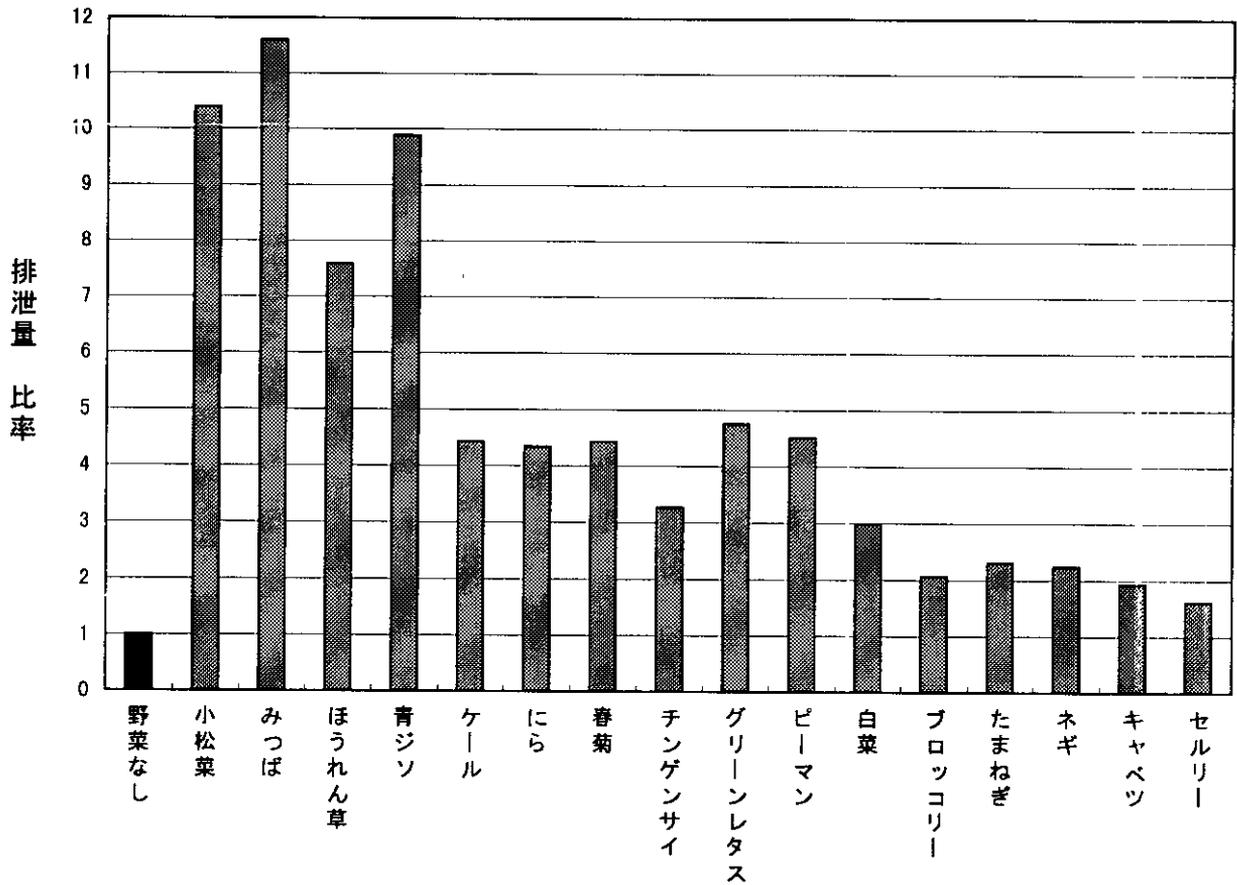


図2-1 野菜類の 2,3,7,8-T4CDD排泄促進効果

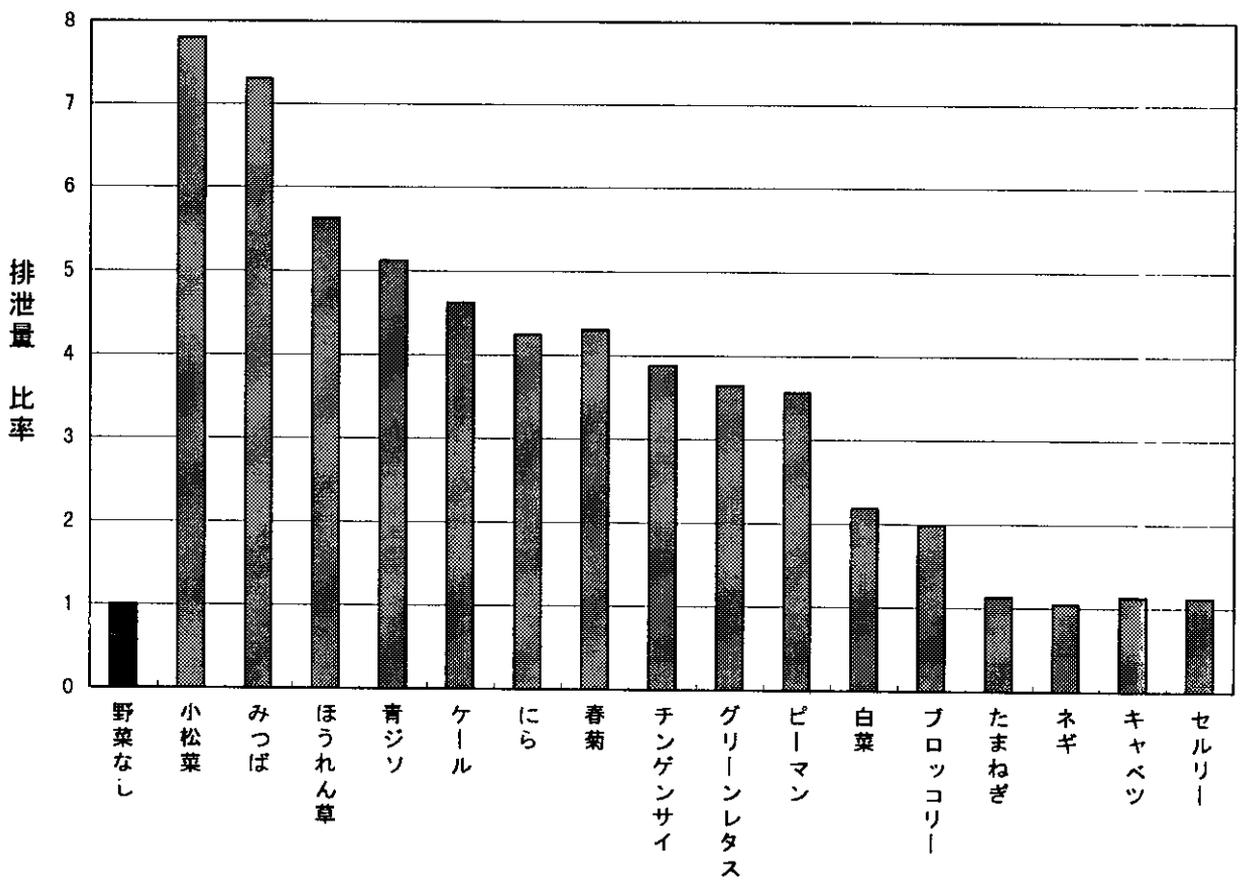


図2-2 野菜類の 1,2,3,7,8-P5CDD排泄促進効果

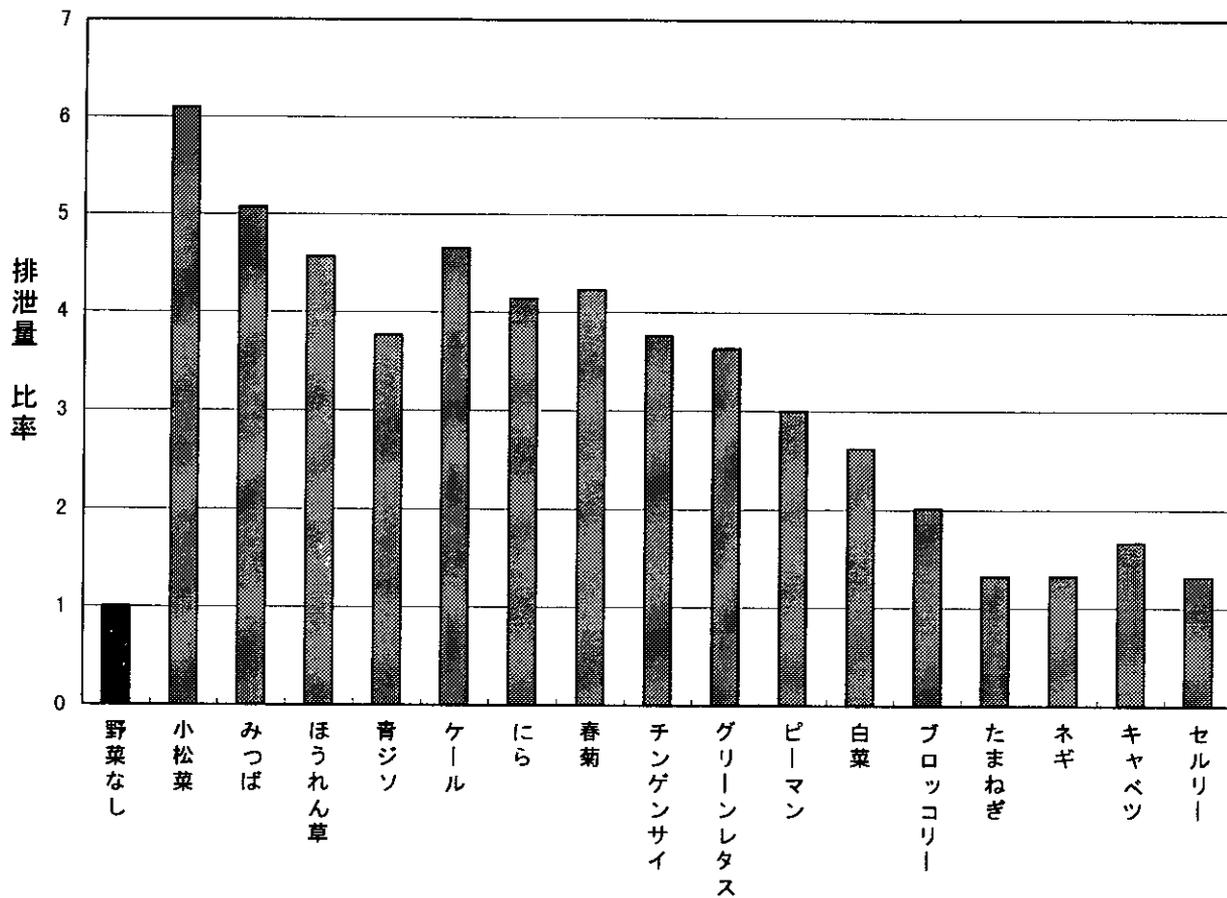


図2-3 野菜類の 1,2,3,4,7,8-H6CDD排泄促進効果

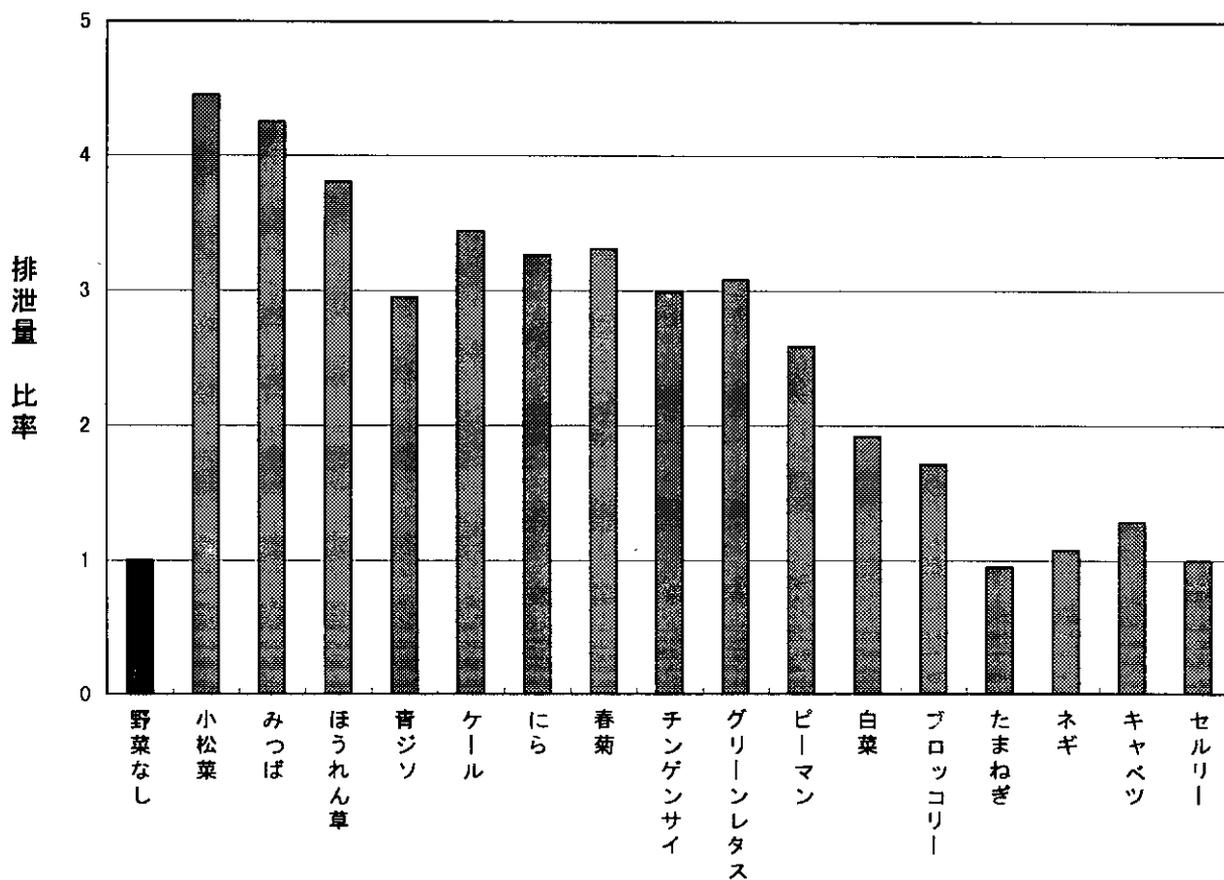


図2-4 野菜類の 1,2,3,6,7,8-H6CDD排泄促進効果

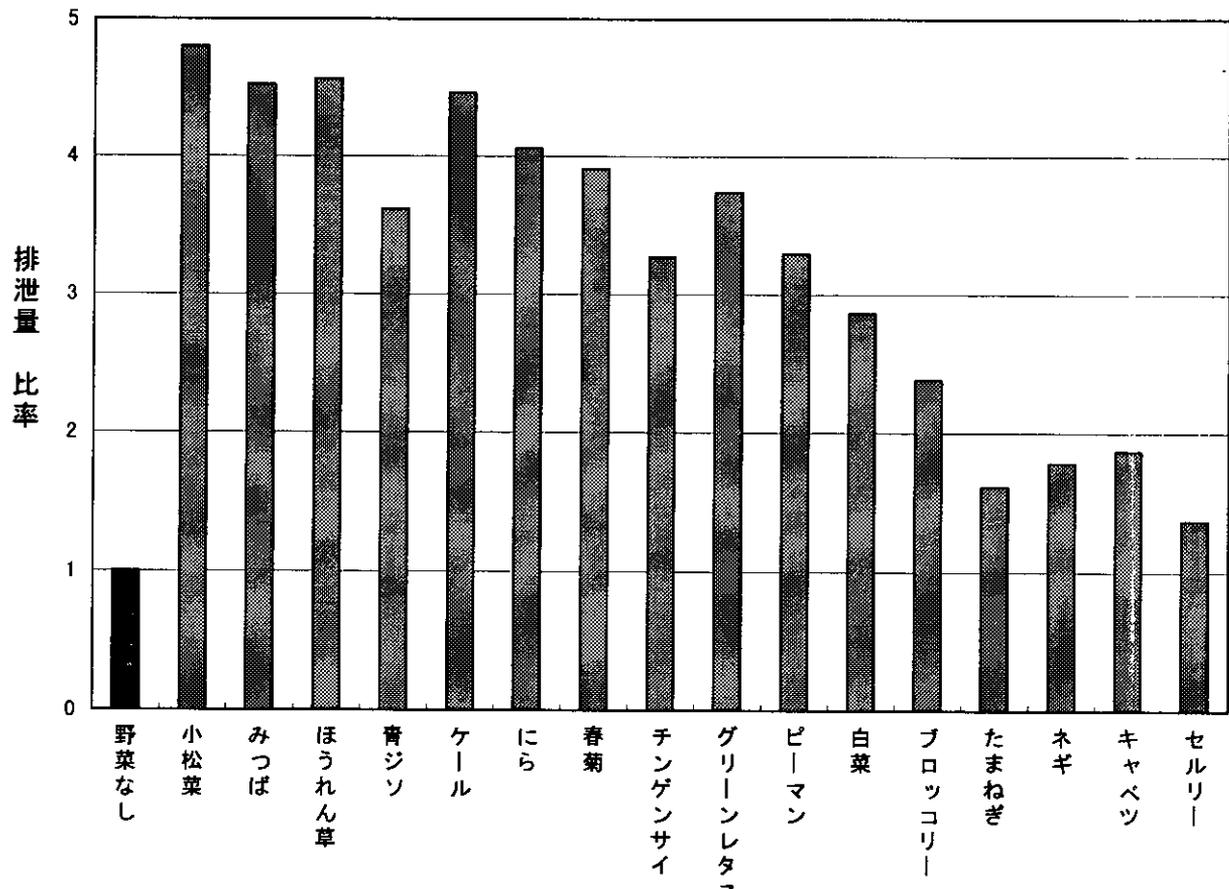


図2-5 野菜類の 1,2,3,7,8,9-H6CDD排泄促進効果

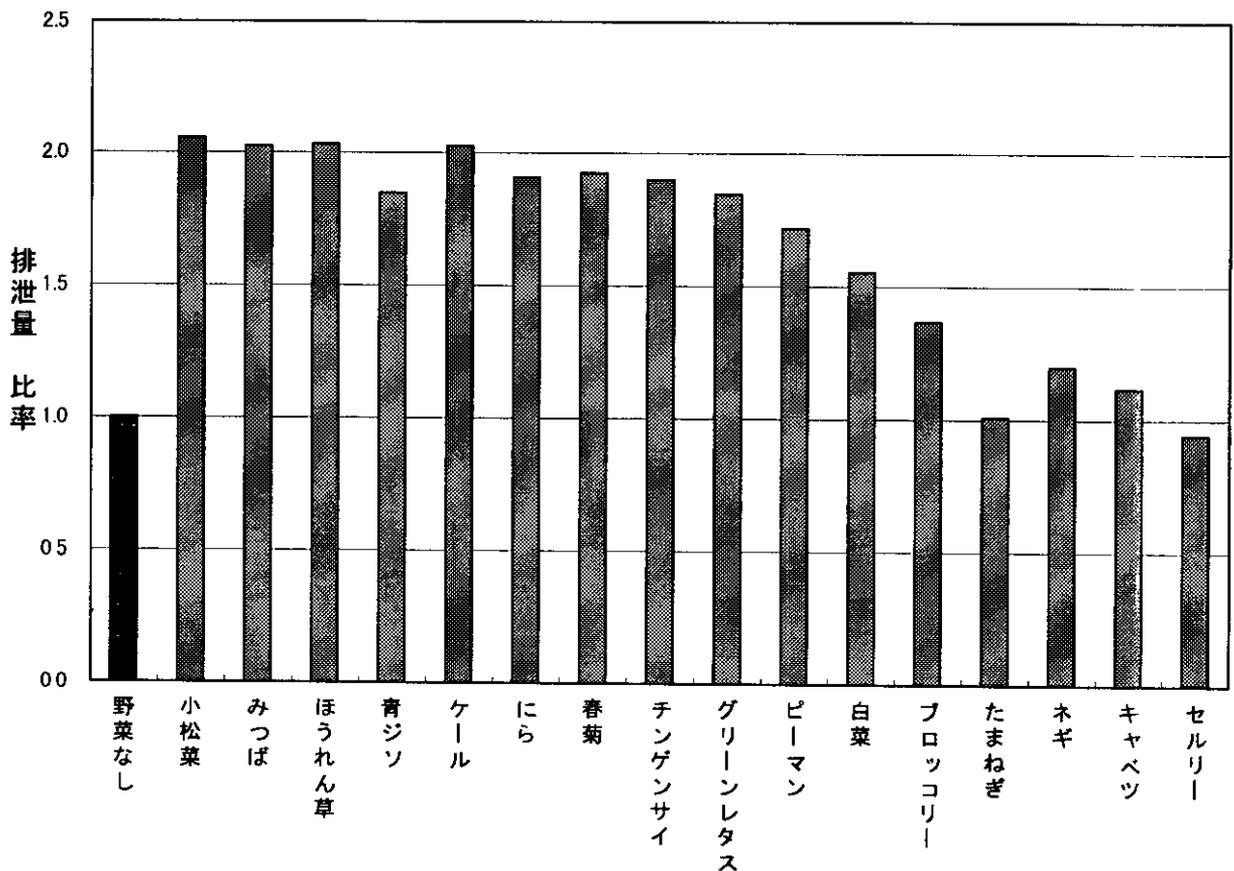


図2-6 野菜類の 1,2,3,4,6,7,8-H7CDD排泄促進効果

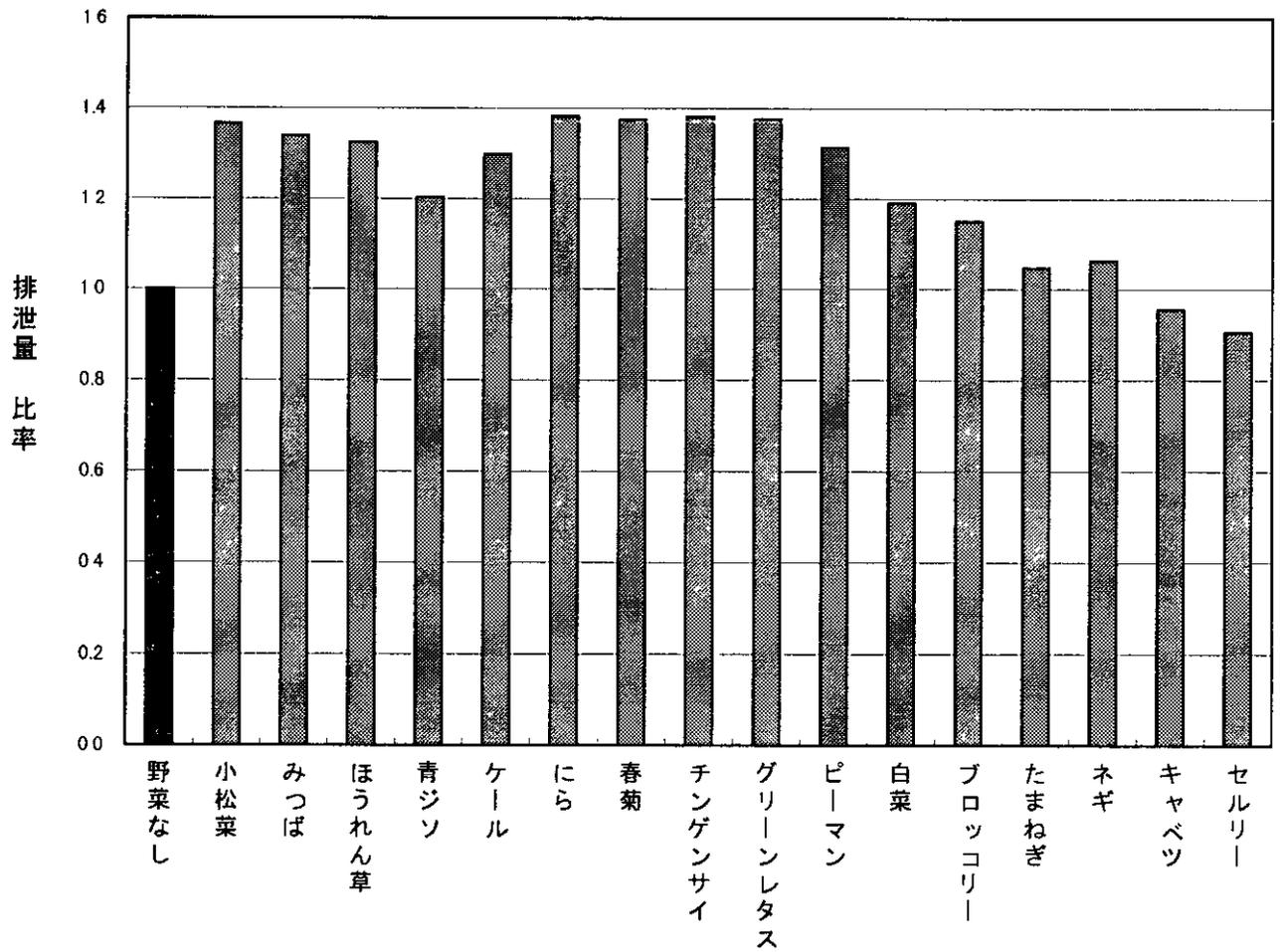


図2-7 野菜類の 1,2,3,4,6,7,8,9-O8CDD排泄促進効果

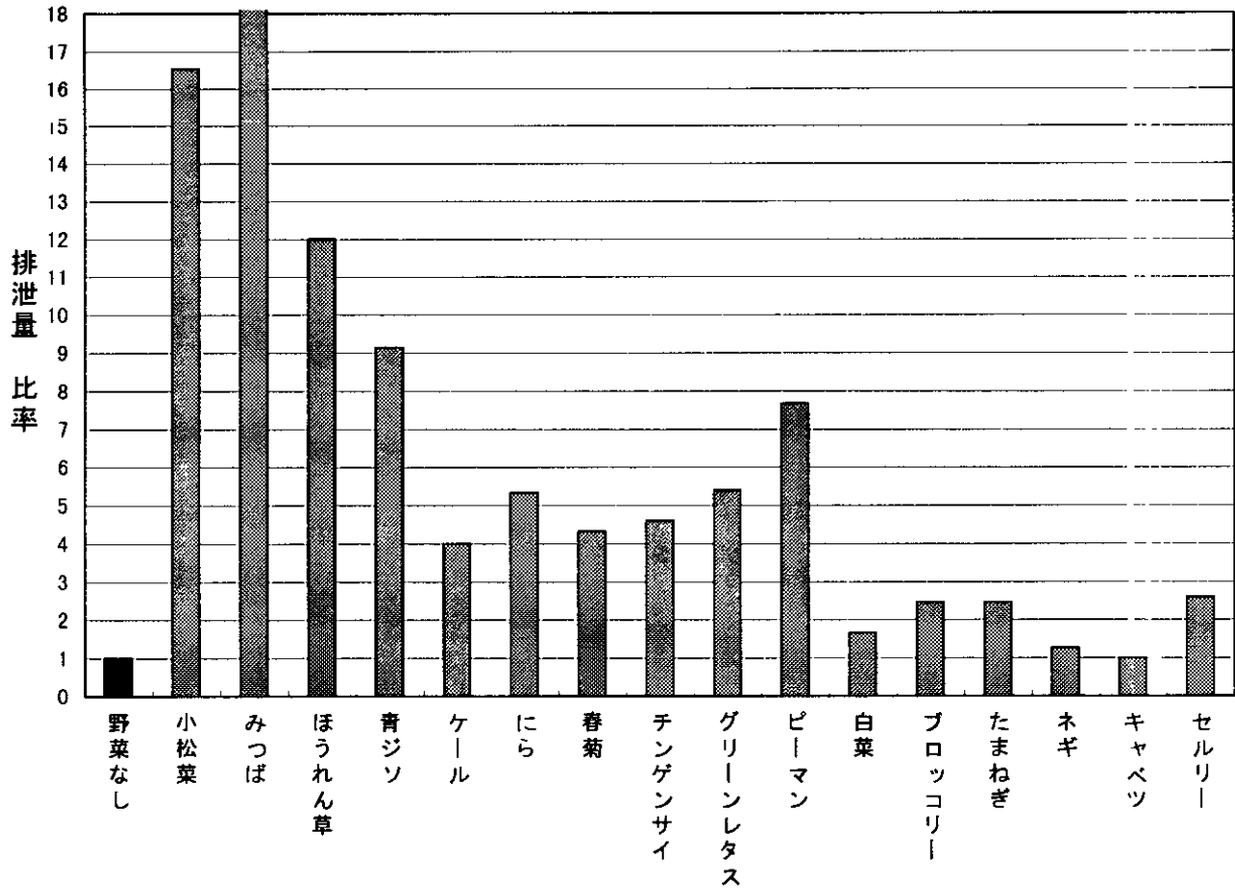


図3-1 野菜類の 2,3,7,8-T4CDF排泄促進効果

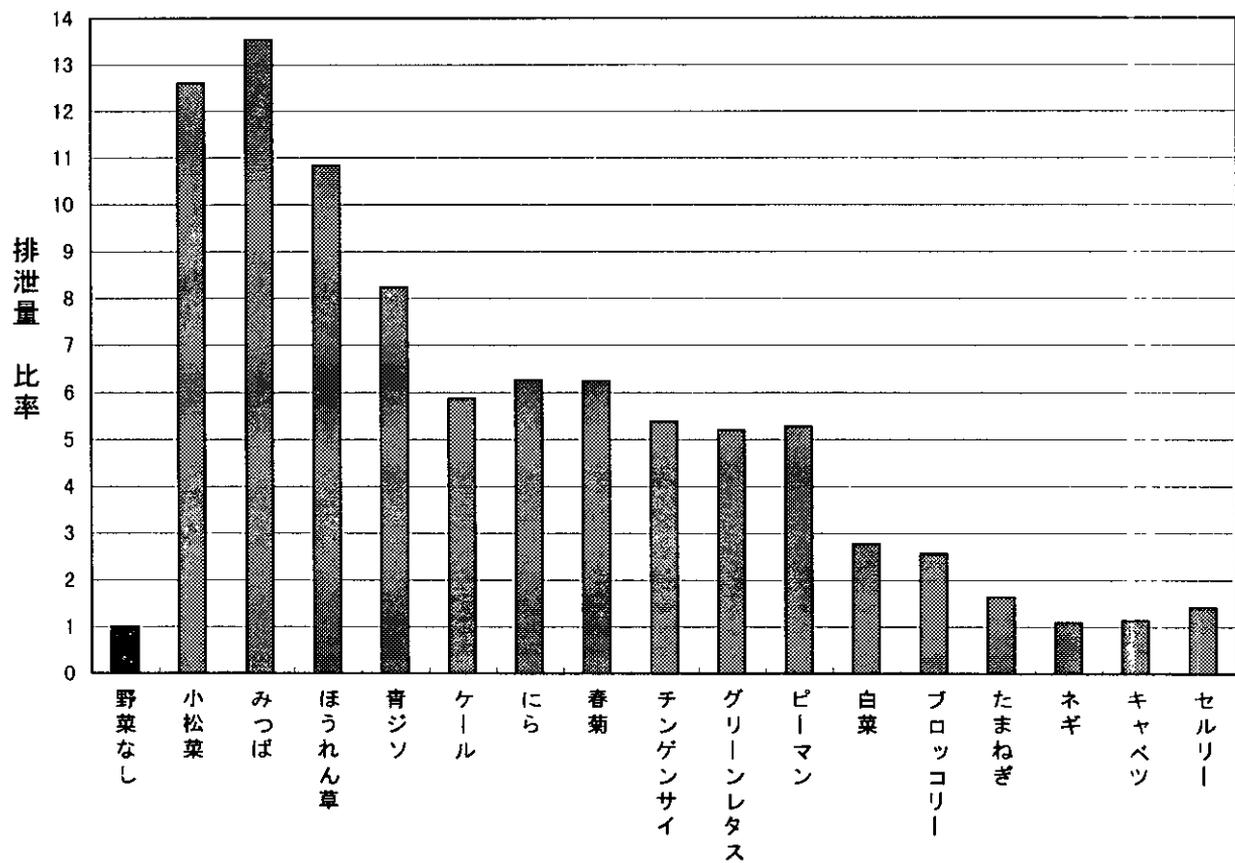


図3-2 野菜類の 1,2,3,7,8-P5CDF排泄促進効果

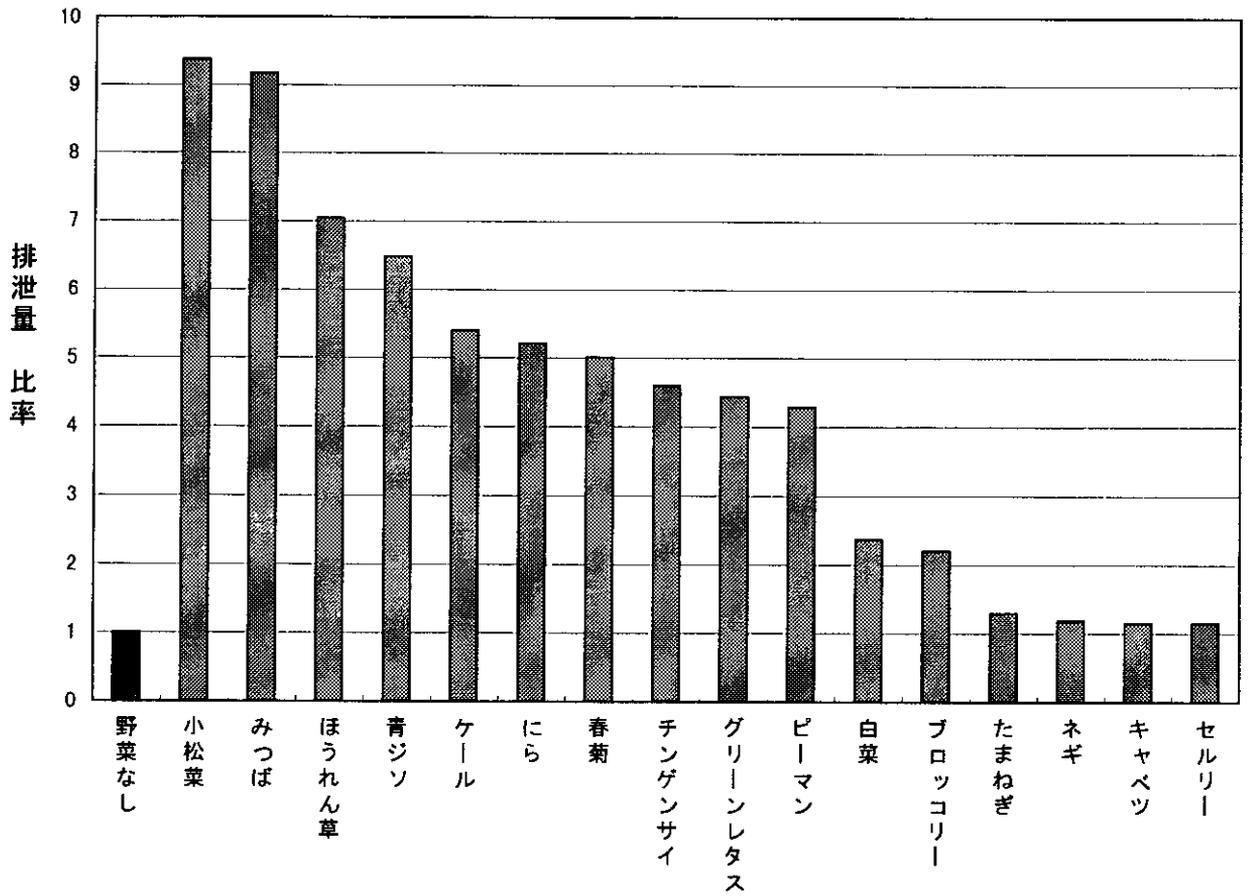


図3-3 野菜類の 2,3,4,7,8-P5CDF排泄促進効果

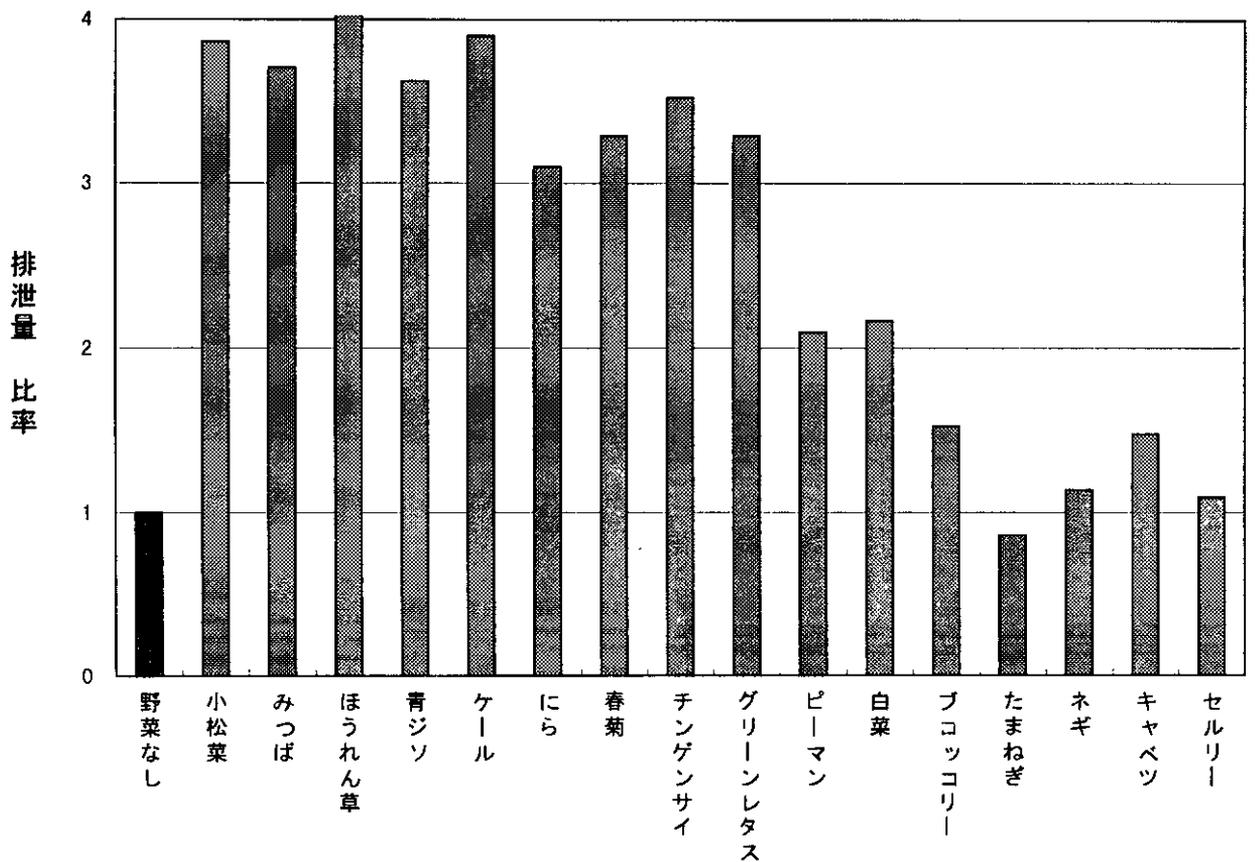


図3-4 野菜類の 1,2,3,4,7,8-H6CDF排泄促進効果