

β -Carotene 及びホウレンソウカロテノイドの ラットにおける吸収と蓄積

高木茂明・佐藤美郎・木村吉伸
(生物資源開発学講座)

Received July 1, 1991

Absorption and Accumulation of Carotenoid and Retinoid Production in Rat

Shigeaki TAKAGI, Yoshiro SATO and Yoshinobu KIMURA
(Department of Bioresources Chemistry)

Functions of beta-carotene as antitumour agent, bioantioxidant and some other bioactive agents except for provitamin A have been clarified. However, the carotenoid mechanisms of digestion, absorption and accumulation, information of which are essential for the administration of carotenoid as food or drugs, have yet not been known in detail. In this experiment, we studied the behaviors of absorption and accumulation of beta-carotene or spinach carotenoids in relation to retinol production, using rats. When only beta-carotene was dosed, the absorption ratio was about 50%. This ratio was much lower than that of beta carotene at a dosage of spinach carotenoid. The results indicate that the beta carotene absorption is prevented by the xanthophylls taken at the time of dosage.

Beta carotene is the most abundant carotenoid in liver, and neoxanthin is the second. Lutein, the best absorbable carotenoid, was not detected in liver, but a small amount of this carotenoid was in blood. These absorption and distribution of both carotenoids are found only in the carotenoid non-accumulating animals. Just after the dosage of non carotenoid diet, the retinol concentration showed immediately a transient increase in blood, while it decreased in liver. These temporary variations of retinol concentration in blood, however, revived to the ordinary level after a continuous carotenoid dosage. The net increase of retinol in liver was 474 and 522 $\mu\text{g}/\text{rat}$ by the 25 days administration of beta-carotene and spinach carotenoid, respectively, while blood retinol levels were almost constant. These facts indicate the presence of some control mechanisms of regulating blood retinols level to be constant, even if a sufficient amount of retinol exists in liver. From the above mentioned results, it is concluded that carotenoid administration strongly affects the retinol metabolism in carotenoid nonaccumulating mammals.

緒 言

近年 β -carotene は provitamin A としての作用以外に抗癌性¹⁴⁾, 生体酸化防止効果などビタミンA以外の機能が認められつつあるが, その摂取・服用の基礎となる消化吸収と体内移行の機構についてはよくわかっていない。 β -carotene が小腸粘膜に存在する β -carotene-15, 15'-dioxygenase によって retinal に分解されることは広く知られており^{4,10)}, retinal は retinal 還元酵素によって retinol に還元される^{3,15)}。生成した retinol は粘膜細胞内でエステ

ル化されて肝に入って貯蔵され、必要に応じて再び遊離型となり retinol 結合蛋白質 (RBP) と結合して血中に放出される。

一方、カロテノイドのまま体内に取り込まれたものは血液、乳、肝などのカロテノイドレベルに強く影響する^{5,18)}。ヒトはカロテノイドを蓄積する数少ない哺乳動物であり、ヒト以外にはキツネ、アナグマ、ノネズミがいる^{2,7)}。これらは主としてキサントフィル類を蓄積するのに対して牛、羊、馬など¹³⁾はカロテン類を蓄積する。しかしその量は前者よりかなり少ない。例えば牛乳の全カロテノイド濃度は人乳の約1/2であるが、 β -carotene の全カロテノイドに対する組成比は牛乳の場合85%、人乳では25%となっている。さらにカロテノイド非蓄積動物と呼ばれる大部分の哺乳動物が含まれる1群⁹⁾がある。

これら体内へのカロテノイド蓄積から見た3つのグループにおけるカロテノイド蓄積の挙動の相異を惹き起す原因¹⁰⁾として1) 小腸粘膜におけるカロテノイドの膜透過性を含めた吸収機構、2) β -carotene dioxygenase のカロテン及びキサントフィルに対する活性と基質特異性、及び3) 甲状腺ホルモンの作用¹⁾などが挙げられる。これらに関する報告⁸⁾は少なく不明の点も多い。ここではラットによる投与カロテノイドの吸収と体内に正味蓄積したカロテノイド及びレチノイド量を分析してラットがカロテノイド非蓄積動物である原因について若干の知見を得たので報告する。

材 料 と 方 法

ラットと飼育；ラットは Wister 系メス7週齢を1区5匹で3区設定した。A区は無カロテノイド区 (Blank control)、B区はハウレンソウ葉カロテノイド区、C区は β -carotene 区である。飼料中のカロテノイド量はB区が20mg/kg、C区は β -carotene 5.4mg/kgとした。その他の飼料成分組成を Table 1 に示す。

Blank 飼料 (A) を20日間投与したのち、各飼料 (A, B, C) に切り替えて1日18g平均の飼料を投与して25日間試験飼育を行った。試験飼育開始日 (0日)、14日間投与、及び25日間投与後に各区ごとにそれぞれ1, 1, 3匹のラットをエーテ麻酔後断頭屠殺して血液、肝、小腸、卵巣を採取して分析に供した。小腸は内容物と一緒に供試した。

HPLC 分析；カロテノイド及びレチノイドはHPLCにより分析定量した。分析試料 (1~5

Table 1 Composition of ingredient in basal diet

Ingredient	Content		
Starch	650 g	Thiamine	6 mg
Cellulose	50	Riboflavine	6
Soy bean oil	50	Ryriodoxal	7
Choline	2	Nicotinic acid	30
Casein	200	Panhotenic acid	16
Methionine	3	Folic acid	2
Mineral mix.	35*1	Biotine	0.2
Vitamin mix.	10*2	Cyanocobalamine	0.01
Total	1,000	D, L-Tocopherol	50
		Calciferol	0.025
		Menaquinone	0.05
		Saccharose	9,900
		Total*2	10 g

*1 McCollum salt No. 185.

*2 Detail components are shown in the last column.

g) を約5倍量のアセトンと共に磨碎して脂質を抽出する。3回の抽出液を合せて減圧溶媒除去し、残液にエーテル：石油エーテル（2：1）混液を加えて3回抽出する。抽出液を減圧濃縮後1 N KOH エタノール溶液にて暗所12 hr 燻化し、不燻化物をメタノール溶液として HPLC 分析に供した。

カロテノイドの HPLC 分析：日本分光製 HPLC 装置（880 PU）を用い、3×250mmのステンレスカラム管に Finepack SIL-3000 C₁₈ を充填して分析カラムとした。溶出は95%メタノール (initial) とアセトンのグラディエント溶出であり、95%メタノールが開始から10 min まで100%、50 min に0%になるようにした。流量は1 ml/min, UV 検出波長450 nm である。クロマトグラムを Fig. 1 A に示す。緑葉各カロテノイドの打ち込み分析量とピーク面積との関係をプロットし、作図的に関係式を求めた (式 (1))。

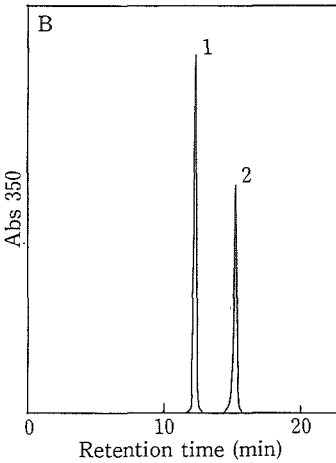
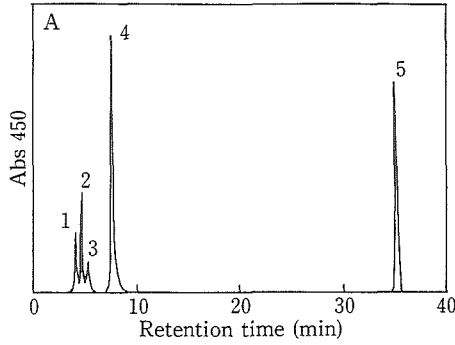


Fig. 1 Typical HPLC patterns of spinach carotenoid and retinoid
 A : Peak 1, neoxanthin; 2, violaxanthin; 3, antheraxanthin; 4, lutein; 5, β -carotene.
 B : Peak 1, retinol ; 2, retinal.

$$\text{カロテノイド (ng)} = 1/5600 \times S \times f_1 \times f_2 \dots \dots \dots (1)$$

但し S はピーク面積, f_1 はルテインを 1 としたときの各カロテノイドの $E_{1\text{cm}}^{1\%}$, f_2 は各カロテノイドの $\text{Abs. max}/\text{Abs. 450}$ である。

Table 2 に上記条件における緑葉カロテノイドの f_1 と f_2 を示す。

レチノイドの HPLC 分析：装置はカロテノイドと同じである。3×250mmのステンレスカラム管に Capcellpack C₁₈SG-120 を充填して分析カラムとした。溶出はアセトニトリル：1%酢酸アンモニウム（8：2）を20 min まで100%、30分に0%とし、アセトニトリル：イソプロパノール（6：4）を100%とするグラディエント溶出を行った。流速は1.1ml/min, UV 検出波長350 nm である。クロマトグラムを Fig. 1 B に示す。レチノールとレチナールの各標品を用いて

Table 2 Calibration factor for HPLC analysis of leaf carotenoid

Carotenoid	f 1*	f 2**
β -Carotene	1.12	1.00
Lutein	1.00	1.01
Antheraxanthin	1.07	1.13
Violaxanthin	1.09	1.33
Neoxanthin	0.96	1.23

* $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ of each carotenoid/ $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ of lutein.

** $\text{Abs}_{\text{max}}/\text{Abs}_{450}$ for each carotenoid.

Table 3 Absorption of carotenoids by rat

(B group)				
Carotenoid	Dose $\mu\text{g}/\text{rat}$	Feces $\mu\text{g}/\text{rat}$	Intestine $\mu\text{g}/\text{rat}$	Absorption %
β -Carotene	68.4	31.9	39.1	0
Lutein	138.3	26.5	1.4	79.8
Antheraxanthin	43.3	1.4	24.0	41.3
Violaxanthin	96.1	11.8	25.5	61.2
Neoxanthin	11.7	12.3	15.6	—
Total	357.8	83.9	105.6	47.0
(C group)				
β -Carotene	50.2	20.7	3.1	52.6

HPLC 注入量とピーク面積との関係式を
作図的に求めて (2) 及び (3) 式を得
た。

$$\text{Retinol (ng)} = S/3125 \dots\dots (2)$$

$$\text{Retinal (ng)} = S/2812 \dots\dots (3)$$

但し面積はピーク面積

結果と考察

ラットによるホウレンソウ葉カロテノ
イドの吸収：A 飼料は微量 (220 ng/10 g)
の原料由来のカロテノイドを含み、その
うち 30 ng は β -carotene である。B 飼料
は 200 $\mu\text{g}/10\text{g}$ のホウレンソウ葉カロテノ
イドを含み、うち 55 μg が β -carotene で
ある。C 飼料は 54 $\mu\text{g}/10\text{g}$ の β -carotene
のみを含む。

投与 B 飼料中各カロテノイドのみかけ
吸収率を Table 3 に示す。みかけ吸収率
は摂取カロテノイド量から糞中への排泄
量及び腸内存在量を除いた残量の摂取量
に対する 100 分率である。B 飼料を投与し
たとき全カロテノイド吸収率は約 50% で
あるが、そのうち β -carotene の吸収率
は非常に低くほとんどゼロである。しか
しながら、 β -carotene のみを投与した C
区においては吸収率が 50% を越えてい
ることから、ラットでは β -carotene の吸
収が xanthophyll によって強く阻害され
ているように見える。このことは B 区に

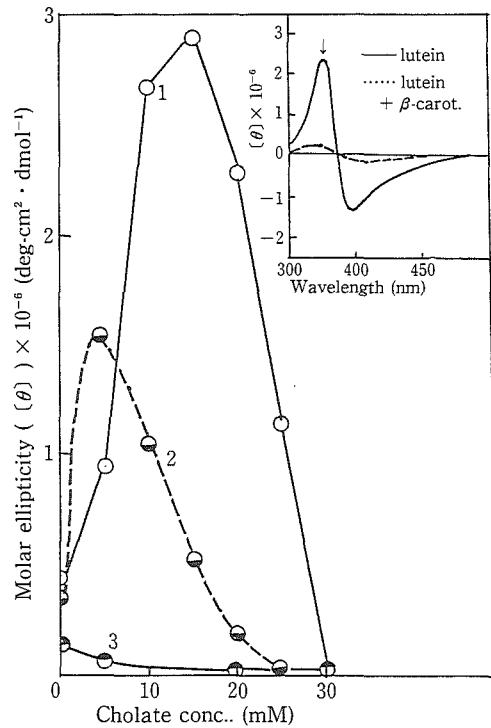


Fig. 2 Effect of β -carotene on formation of lutein aggregate dispersed in 10 mM phosphate buffer, pH 7.0 containing Na-cholate.

Curve 1, 1.88 μM lutein ; 2, 1.63 μM lutein + 0.25 μM β -carotene ; 3, 0.52 μM lutein + 0.6 μM β -carotene. Molar ellipticities at 376 nm were plotted from CD spectra shown in the inset at upper side.

における β -carotene 腸内残存量がC区のそれとくらべて高いことから明らかである。一方, xanthophyll 類の吸収率は高く (Table 3, B区), これには水溶性のカロテノイド分子集合体の形成¹⁶⁾が貢献しているものと考えられる。lutein 及び β -carotene をコール酸塩水溶液に分散させた消化管内モデルにおいて, カロテノイド分子集合体の吸収スペクトル及び円二色性分散スペクトルの変化挙動を調べると lutein の分散性が β -carotene のそれと比較して極めて大きいことがわかった。

lutein に異なる量比の β -carotene を混合してコール酸溶液に分散させたものの円二色性分散スペクトルを測定してコール酸濃度とモル楕円率(θ)の極大値(376 nm)との関係をプロットしたのが Fig 2 である。キラールな左巻きらせん構造の分子集合体を形成する lutein に対し¹⁷⁾, ほぼ等モルの β -carotene を加えた混合系ではキラール集合体はほとんど形成されない。このことは β -carotene が lutein の水溶性集合体形成を阻害することを意味し, β -carotene 自身がコール酸塩に分散しにくいことを示している。小腸粘膜表面における, これらカロテノイドの分子集合体, オリゴマー又はモノマーの挙動は不明であるが, 今回の実験結果からは lutein など水溶性分子集合体を形成する xanthophyll 類が優先的に吸収されるために β -carotene の吸収が阻害又は遅延されたと考える。

肝と血中カロテノイド及びレチノイドレベルの経時的变化: 試験飼育以前に市販飼料 (日本クレア, CE-2) を投与したラット肝には β -carotene が $0.6 \mu\text{g/g}$ 検出され他のカロテノイドはほとんどなかった。また血液にはカロテノイドは検出できなかった。この状態のラットにA飼料 (無カロテノイド) を投与すると20日後には肝の β -carotene レベルはほとんどゼロまで低下した (Fig. 3 の test breed-

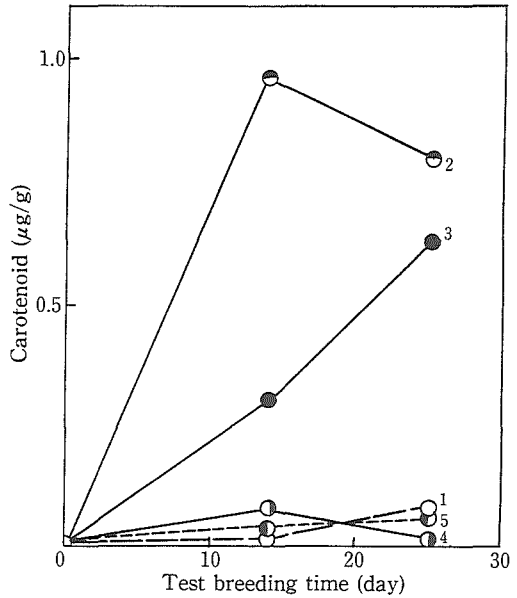


Fig. 3 Effect of carotenoid dosage on carotenoid level in rat liver and blood.

Curve 1, β -carotene ; 2, β -carotene in B group liver ; 3, β -carotene in C group liver ; 4, lutein in B group blood ; 5, lutein in C group liver.

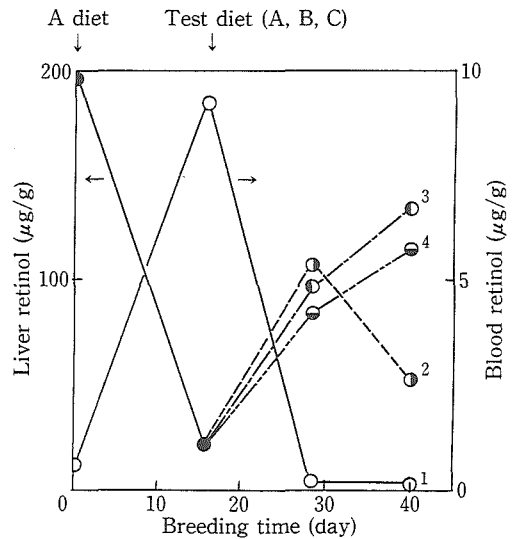


Fig. 4 Effect of carotenoid dosage on retinol level in rat liver and blood.

Curve 1, blood (A, B, C) ; 2, A liver ; 3, B liver ; 4, C liver.

ing time zero). 続いて各飼料を投与すると肝の β -carotene レベルは回復してくる. B 飼料投与の場合に β -carotene のみかけ吸収率は小さい (Table 3) が肝への蓄積速度は C 飼料と同等ないしは大きい. しかし lutein レベルは低いままである. 血中には β -carotene は検出できず, lutein が B 飼料区において $0.06 \mu\text{g}/\text{g}$ と低い値を示したのみであった. 肝及び血中のこれらカロテノイド量は吸収カロテノイド量 (Table 3) と比較してあまりにも少ない. これは吸収された β -carotene ならびに lutein を主とする xanthophyll の多くがビタミン A を含むレチノイドへ変換されていることを示すものである. カロテノイド非蓄積動物においてはこのように xanthophyll までも小腸粘膜で変換を強く受けることが特徴であり, この吸収・代謝の挙動が何を意味しているかの検討が今後必要である.

次に, カロテノイド投与による肝と血中の retinol レベルの経時的変化を Fig. 4 に示す. 市販飼料を投与した場合の retinol 水準は肝において約 $200 \mu\text{g}/\text{g}$, 血液において $0.33 \mu\text{g}/\text{g}$ であったが, これに A 飼料を与えると 14 日後に肝において速やかに低下し, 血液において上昇 ($9.2 \mu\text{g}/\text{g}$) した. A 飼料を投与し続けると肝の retinol 水準は回復し, 血液のそれは元の低い水準に戻る. これは 14 日後 B, C 飼料を投与した場合も類似の挙動を示した. ラットにおけるカロテノイド投与は血液及び肝臓の retinol 水準に非常に大きな影響を及ぼしている. すなわち, カロテノイドの供給が一時的に絶たれると肝以外の組織へ送る retinol を肝から多量に動員する必要性を生じるようであり, このため血中 retinol の上昇と肝 retinol の低下が起ったものと考えられる. 一般に血中 retinol 濃度は肝に貯蔵型 retinol が存在する場合には比較的安定 ($30 \sim 50 \mu\text{g}/100\text{ml}$) であるとされている¹²⁾. しかし, カロテノイド欠乏食投与の場合には何らかの理由によってラットは組織に供給する retinol を多量に確保する必要性が生じて肝から血中に retinol を放出するものと考えられることができる.

カロテノイドの血液及びいくつかの組織への正味の蓄積: ホウレンソウ葉カロテノイド (B 飼料) を 25 日間投与したときの血液, 肝, 腸, 卵巣における各カロテノイドの正味増加量を B 区の各カロテノイド量から A 区の量を差し引いた値として示した (Table 4).

B 飼料投与 14 日後の測定値 (示していない) と 25 日後の値を比較してほとんど変わらないで, これらの組織と血中の各カロテノイド量はほぼ定常状態にあると考えてよい. β -carotene のみかけの吸収量は少ないが (Table 3), 正味増加の多くは肝に存在することがわかる.

lutein は吸収された $110 \mu\text{g}$ のうち血中に $0.89 \mu\text{g}$ が存在するのみで肝への蓄積もなく, 吸収 lutein の大部分がレチノイド等への変換を受けたものと考えられるが, その吸収・代謝の詳細は不明である. lutein など xanthophyll の小腸粘膜においてビタミン A_2 を含むレチノイドへの変換が魚類で明らかにされているが, 哺乳動物における研究は端緒にすぎたばかりである¹¹⁾. lutein の腸内存在量は他のカロテノイドと比較して非常に少く, もっとも吸収されやすいカロテノイドと云える.

Table 4 Net carotenoids transported or accumulated into blood, liver, intestine and ovary of rat administered with leaf carotenoid for 25 days

Carotenoid	Net Carotenoid Increase ($\mu\text{g}/\text{rat}$)				Dosage $\mu\text{g}/\text{rat}/\text{day}$	Feces $\mu\text{g}/\text{rat}/\text{day}$
	Blood*	Liver	Intestine	Ovary		
β -Carotene	0.05	4.7	39.1	0.02	68.2	32.0
Lutein	0.89	trace	1.4	—	138.5	26.5
Antheraxanthin	—	—	24.0	—	43.1	0.47
Violaxanthin	0.23	—	25.5	—	95.9	3.9
Neoxanthin	0.34	1.5	15.5	0.01	11.7	4.0

* Total blood volume was calculated as 1/13 of body weight.

次に、 β -carotene のみ (C 区) を 25 日間投与した場合の血液、肝、腸、卵巣における正味蓄積量を B 区の場合と同様に求めた (Table 5)。 β -carotene 単独投与の場合には吸収率は高くなる (Table 3) が、肝には B 区とほぼ同じ量の β -carotene 正味蓄積量があり、血液及び卵巣中の蓄積量も B 区と近似している。 β -carotene のみかけ吸収量が $26.5 \mu\text{g}/\text{rat}/\text{day}$ と高いにもかかわらず定常状態における肝への β -carotene 正味蓄積量がホウレンソウカロテノイド投与の場合と近似していることは、小腸粘膜における酵素的レチノイド変換のためと考えられる。

カロテノイド投与時の retinol の正味蓄積： B 飼料及び C 飼料を投与したときの血液、肝、小腸、卵巣への retinol の正味蓄積量をカロテノイドの場合と同じく A 区との差として求めた (Table 6)。A 飼料を 25 日間投与したときの肝 retinol 量は $325 \mu\text{g}/\text{g}$ であり、B 飼料又は C 飼料を投与した場合の retinol の正味増加量はそれぞれ $522 \mu\text{g}$ と $474 \mu\text{g}$ となった。このことは次のように考えることができる。C 飼料投与により β -carotene $50 \mu\text{g}$ を 25 日間摂取したとすると、 $474 \mu\text{g}$ の retinol の正味蓄積は 1 日平均約 $20 \mu\text{g}$ の retinol の蓄積に相当する。この $20 \mu\text{g}$ retinol は 1 日間の β -carotene 吸収量 $30 \mu\text{g}$ (Table 3) の 60% に相当し、体内における retinol 消費を考えるとラットにおいては投与 β -carotene の大部分は retinol に変換されておもに肝臓に蓄積されることがわかる。本実験においては retinal は検出できなかった。

一方、B 飼料投与の場合、 β -carotene の吸収量が極めて少ない (数 $\mu\text{g}/\text{rat}/\text{day}$ と推定) にもかかわらず $520 \mu\text{g}$ の retinol が 25 日間に蓄積した。この場合、retinol 変換に lutein をはじめ他の xanthophyll 類が寄与しているかどうかは現在不明であるが、lutein からビタミン A_2 が魚で生成することは以前から知られており⁶⁾、今後の検討課題である。しかしながら、カロテノイド非蓄積動物において xanthophyll が小腸粘膜において速やかに酵素的変換を受けることは明らかとなった。最近ラットにおいても xanthophyll 類から retinol が生成するこ

Table 5 Net corotenoids transported or accumulated into blood, liver, intestine and ovary of rat administered β -carotene for 25 days

Carotenoid	Net carotenoid Increase ($\mu\text{g}/\text{rat}$)				Dosage $\mu\text{g}/\text{rat}/\text{day}$	Feces $\mu\text{g}/\text{rat}/\text{day}$
	Blood*	Liver	Intestine	Ovary		
β -Carotene	0.04	3.9	3.1	0.03	50.0	20.5
Lutein	—	0.03	—	—	0.32	0.17
Antheraxanthin	—	0.10	—	—	—	—
Violaxanthin	—	0.03	0.03	—	—	—
Neoxanthin	—	-0.11	0.16	-0.01	—	—

* Total blood volume was calculated as 1/13 of body weight.

Table 6 Net retinol transported or accumulated into blood, liver, intestine and ovary of rat administered with β -carotene and leaf carotenoid

	Net Retinol Increase ($\mu\text{g}/\text{rat}$)*		Retinol ($\mu\text{g}/\text{rat}$)
	β -Carotene (C diet)	Leaf Carotenoid (B diet)	Blank Control (A diet)
Blood	-0.36	0	1.3
Liver	473.9	522.4	325.2
Intestine	1.2	3.4	ND**
Ovary	-0.96	0.2	—

* Differences between test groups (B & C diet) and carotenoid blank control (A diet).

**ND, not detected.

とが示されており¹¹⁾, さらに詳しいことがわかれば従来からのプロビタミンAに関するビタミン学の定説は書き改められるものと考えられる。

摘 要

植物性食品に広く含まれるカロテノイドのうち, β -caroteneなどはプロビタミンA効果以外に抗ガン, 抗酸化防止効果などが注目されているが, カロテノイドの消化・吸収機構及び体内分布に関する基礎的知見は少ない, カロテノイド非蓄積動物と呼ばれるラットについて β -carotene 単独投与及びホウレンソウカロテノイドとを投与し, それぞれにおける各カロテノイドの吸収挙動と吸収カロテノイド及び生成 retinol の体内存在状態を調べた。 β -carotene は単独に投与すると約50%の吸収率となるが, xanthophyll 共存下では数%にまで低下する。これは β -carotene の吸収を xanthophyll が妨害していることを示す。 β -carotene は肝臓にもっとも多く蓄積され neoxanthin がこれを次いでいる。もっとも多く吸収された lutein は肝臓にはほとんど検出されず, 血液中に少量存在していた。このような両カロテノイドの挙動はカロテノイド非蓄積動物に特徴的なものと考えられる。カロテノイドを含まない飼料を投与すると一時的に retinol の血中濃度は上昇し, 肝濃度は低下するが, カロテノイドを投与すると恒常的血中 retinol 濃度に速やかに戻る。 β -carotene 及びホウレンソウカロテノイドを25日間投与したときの retinol の正味増加量はそれぞれ474 μ gと522 μ gであるが血中の retinol レベルはほとんど変化していない。このことは肝に充分量の retinol が存在しておれば血中 retinol レベルはほぼ一定に保たれる制御作用のあることを示している。

文 献

- 1) Cama, H. R., and T. W. Goodwin: The role of the thyroid in carotene and V. A metabolism. *Biochem. J.*, **45**, 236—241 (1949)
- 2) Czczuga, B., and E. Malzahn: Carotenoid contents in mammals. (I) *Apodemus laricollis* and *Clethrionomys glareolus*. *Acta Theriologica*, **25**, 501—509 (1980)
- 3) Fidge, N. H. T. Shiratori, J. Ganguly, and D. S. Goodman: Pathways of absorption of retinol and retinoic acid in the rat. *J. Lipid Res.* **9**, 103—109 (1968)
- 4) Goodman D. S. and J. A. Olson: Method in *Ezymol.* (R. B. Clayton eds.) **15**, 462—475, Academic Press, New York (1969)
- 5) Goodwin T. W.: *The Biochem. of the carotenoids*. 173—195, Chapman and Holl, New York (1984)
- 6) Gross J., and P. Budowski: Conversion of carotenoids into Vitamins A₁ and A₂ in two species of freshwater fish. *Biochem. J.* **101**, 747—753 (1966)
- 7) Jensen, H. B., and T. K. With: Vitamin A and carotenoidis in the liver of mammals, birds, reptiles and man with particular regard to the intensity of the ultraviolet absorption and Carr-Price reaction of vitamin A. *Biochem. J.* **33**, 1771—1786 (1939)
- 8) Johnson R. M., and C. A. Baumann: Storage and distribution of vitamin A in rats fed certain isomers of carotene. *Arch. Biochem.*, **14**, 361—367 (1947)
- 9) Krause, R. F., and H. B. Pierce: The extrahepatic conversion of carotene to Vitamin A. *Arch. Biochem.*, **19**, 145—148 (1948)
- 10) Lakshman M. R., I. Mychkovsky, and M. Attelesy: Enzymatic conversion of all-trans- β -carotene to retinol by a cytosolic enzyme from rabbit and rat intestinal mucosa. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **86**, 9124—9127 (1989)
- 11) Matsuno Takao: Xanthopcylls as precursors of retinoids. *Pure & Appl. Chem.*, **63**, 81—88 (1991)
- 12) Olson J. A.: Metabolism and function of Vitamin A. *Fed. Proc., Fed. Amer. Soc. Exp. Biol.*, **28**, 1670—1677 (1969)
- 13) Palmer L. S.: The physiological relation of plant carotenoids to the carotenoids of the cow, horse, sheep, goat, pig and hen. *J. Biol. Chem.*, **27**, 27—32 (1916)
- 14) Reto, R.: Can dietary β -carotene materially reduce human cancer rates? *Nature*, **290**, 201—202 (1981)
- 15) Singh, H., and H. R. Cama: Enzymatic cleavage of carotenoids. *Biochim. Biophys. Acta*, **370**, 49

- 61 (1974)
- 16) Takagi S., K. Takeda, K. Kameyama, and T. Takagi : Visible circular dichroism of lutein acquired on dispersion in an aqueous solution in the presence of a limited amount of SDS and a dramatic change of the CD spectrum with concentration of the surfactant. *Agric. Biol. Chem.*, **46**, 2035—2040 (1982)
 - 17) Takagi S., T. Yamagami, K. Takeda, and T. Takagi : Helical configuration of lutein aggregate dispersed in liposomes of PC and DG DG. *Agric. Biol. Chem.*, **51**, 1567—1572 (1987)
 - 18) 高木茂明・中野浩行・木村吉伸・近藤康博・田辺 昭：緑葉カロテノイドのニワトリ卵黄への選択的移行とその機構. *岡山大農学報* **77**, 1—8 (1991)