報 文

ニンジンおよびトマトジュースの連続摂取による 血清中カロテノイド，レチノール濃度の変化

坂 本 秀 樹^{*1,*2}，大 嶋 俊 二^{*1}，小 嶋 文 博^{*1,*4}
石 黒 幸 雄^{*1}，小 川 睦 美^{*3}，福 場 博 保^{*3}

^{*1} カゴメ株式会社総合研究所

^{*2} 広島大学工学部発酵工学講座

^{*3} 昭和女子大学家政学部生活科学科

Changes of Serum Carotenoids and Retinol Levels after Continual Ingestion of Carrot or Tomato Juice in Human Subjects

Hideki SAKAMOTO,^{*1,*2} Syunji OSHIMA,^{*1} Fumihiro OJIMA,^{*1,*4}
Yukio ISHIGURO,^{*1} Mutsumi OGAWA^{*3} and Hiroyasu FUKUBA^{*3}

^{*1} Research Institute, Kagome Co., Ltd., Nasu-gun, Tochigi 329-27

^{*2} Department of Fermentation Technology, Faculty of Engineering,
Hiroshima University, Higashihiroshima 724

^{*3} Department of Human Economics, Showa Women's University,
Setagaya-ku, Tokyo 154

J. Jpn. Soc. Nutr. Food Sci., **50**, 21~24 (1997)

Changes in serum carotenoids and retinol concentrations were assessed before and after continual ingestion of carrot juice or tomato juice. Sixty-four healthy female college students were divided into 3 groups. Two of the groups consumed 2 cans of each juice, and the control group received 2 cans of apple juice per day for 6 days. The levels of β -carotene and α -carotene in serum showed a significant increase following the consumption of carrot juice. The serum lycopene concentration increased significantly, and the β -carotene concentration showed a small increase after consumption of tomato juice. No significant changes were observed in the level of carotenoids in the apple juice group, or in the level of retinol in all the tested groups. It is concluded that continual ingestion of carrot juice or tomato juice is effective for elevation of the serum carotenoid level in humans.

Key Words carrot juice, tomato juice, continual ingestion, serum carotenoids.

(Received July 8, 1996)

カロテノイドは自然界に約 600 種類，ヒト血清中にも 20 種類程度の存在が報告されている¹⁾。ヒト体内に多く含まれるカロテノイドとしては，プロビタミン A 活性を持つ β -カロテン，ビタミン A に変換されないリコペンが代表的である。近年，これらのカロテノイドの生理作用が注目されており，がんの化学予防の候補物質とし

て，大規模な介入試験や疫学調査が数多く行われてきている²⁾。ヒトはカロテノイドを生合成できないことから，その体内への分布，蓄積は食物摂取に起因していると考えられる。ニンジンやトマトは β -カロテン， α -カロテンおよびリコペンを多く含む緑黄色野菜であり，その国内消費量も多いことから，これらの野菜の摂取はヒト体内へのカロテノイドの蓄積に関与しているものと考えられる。しかしながら，緑黄色野菜やその加工品の摂取によるカロテノイドの体内吸収，蓄積に関する報告は少ない。

著者らは，トマトジュースの連続的な摂取が血清中の

^{*1} 〒 329-27 栃木県那須郡西那須野町西富山 17

^{*2} 〒 724 広島市鏡山 1-4-1

^{*3} 〒 154 東京都世田谷区太子堂 1-7

^{*4} 現住所：〒 020-01 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字砂
込 808

リコペンおよび β -カロテン濃度の有意な上昇を引き起こすことを報告している³⁾。そこで今回は、 β -カロテン、 α -カロテンを多く含有するニンジンジュースの摂取による血清中のカロテノイド、レチノール濃度の変化を、トマトジュースおよびリンゴジュースの摂取との比較により検討した。

試 験 方 法

1. 摂取方法

本研究の趣旨に同意を得た健康な女子大生（東京都在住）64名を被験者とした。被験者は全員喫煙、飲酒習慣はなく、かつ生活科学専攻の学生である。試験用ジュースは市販のニンジンジュース（160 g 缶）およびトマトジュース（160 g 缶）を、またカロテノイドを含まない飲料としてリンゴジュース（160 g 缶）を用いた。各試験用ジュースの栄養成分を Table 1 に示した。各被験者は、以下に示す3群、すなわちニンジンジュース摂取群20名、トマトジュース摂取群23名、リンゴジュース摂取群21名にそれぞれ群分けした。試験は6日間の研修合宿として行い、試験期間中のジュース以外の食事は、1日約2,350 kcalの同一献立とした。各ジュースの摂取は、朝食および夕食時に1本ずつ、計10本（合宿初日は夕食時のみ、また6日目は朝食時のみの摂取とした）の連続摂取とした。採血は、合宿初日および終了日の昼食前にそれぞれ真空採血管を用いて行い、遠心処理後（3,000 rpm, 10 min）、上清から血清を得た。血清は分析を行うまで -30°C で冷凍保存した。なお、試験の前後において被験者全員に体調の異常は認められなかった。本研究はヒトを対象としたものであることから、試験の遂行に関して、昭和女子大学の倫理委員会にその旨を届け、承認を得て実施した（承認番号：昭和女子大学 95-2）。

2. 血清分析方法

血清中のカロテノイド、レチノール濃度は以下に示す方法で HPLC 法により分析を行った。血清処理および分析条件は前報で示した方法³⁾に従った。すなわち、*n*-ヘキサンにより抽出操作を行い、2-プロパノールに溶解後、

HPLC 分析に供した。分析カラムは、Inertsil ODS-2 カラム（6.0 ϕ $\times$ 150 mm, GL サイエンス社製）を使用し、移動相にはアセトニトリル：エタノール（3：2, v/v）を用いた。流速は2.0 ml/min、カロテノイドの検出は450 nmの可視吸収により、レチノールの検出は蛍光（Ex 340 nm, Em 460 nm）にて行った。各物質の同定は、各標準物質（シグマ社製）との保持時間の一致により行った。また、血清中の各濃度はそれぞれの標準物質を用いて作成した検量線に従って求めた。

3. 統計的解析

各グループ間のカロテノイド、レチノール濃度の有意差の検定は分散分析後、補正チューキー法によって行い、危険率5%以下を有意とした。また、摂取前に対する摂取後の血清の濃度比の検定については Student's *t*-test によって行った。

結 果

各ジュース連続摂取前後の血清中カロテノイドおよびレチノール濃度の変化を Table 2 に、摂取前に対する摂取後の血清濃度の比を Fig. 1 に示した。ニンジンジュースおよびトマトジュース摂取群において、カロテノイドの濃度上昇が認められたのに対して、リンゴジュース摂取群では見られなかった。ニンジンジュース摂取群では、血清中 β -カロテン濃度が摂取後に113.1 $\mu\text{g/dl}$ となり、摂取前の1.7倍に上昇した。 α -カロテン濃度も摂取後に49.5 $\mu\text{g/dl}$ となり、摂取前の2.3倍の上昇を示した。いずれも有意な増加であったが、リコペン濃度に変化は認められなかった。一方、トマトジュース摂取群では、リコペン濃度に有意な上昇が認められ、摂取後では108.0 $\mu\text{g/dl}$ となり、摂取前に比べて2.6倍に上昇した。 β -カロテン濃度は摂取後では76.4 $\mu\text{g/dl}$ となり有意な差を示し、摂取前の1.4倍の上昇が認められたが、 α -カロテン濃度に有意な変化はなかった。レチノール濃度については、どの摂取群においても顕著な変化は認められなかった。

Table 1. Nutritional components of carrot, tomato and apple juice.

	β -Carotene (mg/100g)	α -Carotene (mg/100g)	Lycopene (mg/100g)	Vitamin C (mg/100g)	Energy (kcal/100g)	Fiber (%)	Carbohydrate (%)	Protein (%)	Crude fat (%)
Carrot Juice	2.2	0.5	ND	ND	28	trace	6.8	0.5	trace
Tomato Juice	0.3	ND	9.2	10	17	0.2	3.7	0.9	0.1
Apple Juice	ND	ND	ND	31	42	trace	11.4	0.2	trace

ND : not detected.

Table 2. Changes of serum carotenoids and retinol levels before and after ingestion.

($\mu\text{g}/\text{dl}$)

Groups	n		β -Carotene	α -Carotene	Lycopene	Retinol
Carrot juice	20	before	68.2 $\pm$ 26.9 ^a	21.2 $\pm$ 7.3 ^a	49.5 $\pm$ 13.4 ^a	29.8 $\pm$ 5.0 ^a
		after	113.1 $\pm$ 28.6 ^b	49.5 $\pm$ 6.6 ^b	56.4 $\pm$ 10.4 ^a	34.2 $\pm$ 7.0 ^a
Tomato juice	23	before	54.5 $\pm$ 18.5 ^a	15.3 $\pm$ 6.3 ^a	41.8 $\pm$ 12.4 ^a	26.3 $\pm$ 2.8 ^a
		after	76.4 $\pm$ 23.1 ^{ab}	18.8 $\pm$ 7.3 ^a	108.0 $\pm$ 24.3 ^b	32.5 $\pm$ 3.7 ^a
Apple juice	21	before	48.2 $\pm$ 22.2 ^a	13.8 $\pm$ 5.6 ^a	40.3 $\pm$ 21.0 ^a	25.8 $\pm$ 3.5 ^a
		after	56.5 $\pm$ 17.1 ^a	17.6 $\pm$ 5.6 ^a	49.3 $\pm$ 13.9 ^a	30.9 $\pm$ 4.0 ^a

Values : mean $\pm$ SD. Values in the column not sharing the same superscript letter are significantly different at $p < 0.05$.

Fig. 1. The rate of increase of serum carotenoids and retinol levels.

Values are mean $\pm$ SD. * Significant difference from ingestion group of apple juice, $p < 0.01$.

考 察

ヒトにおけるカロテノイドのバイオアベイラビリティは、これまで β -カロテンを中心に報告されてきている。玉井らの報告⁴⁾では、健康な男性に合成 β -カロテン 60 mg を 1 日 1 回連続投与したところ、約 2 週間後に β -カロテン濃度はピークに達し、その濃度上昇は 60~70 $\mu\text{g}/\text{dl}$ であった。また、Brown ら⁵⁾は、カプセル入りの合成 β -カロテン 30 mg および同量の β -カロテンを含む調理ニンジンの単回摂取による、血漿中 β -カロテン濃度の変化を検討している。その結果、調理ニンジンの摂取による濃度上昇は 2 日後で約 5 $\mu\text{g}/\text{dl}$ であり、カプセルの摂取の 5 分の 1 程度の上昇であったと報告している。一方、今回のわれわれの試験では、1 日約 7 mg の β -カロテンをニンジンジュースとして連続摂取することにより、6 日後で約 45 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の血清 β -カロテン濃

度の上昇を示し、Brown らの報告した結果⁵⁾と比較して、顕著な濃度上昇であった。この理由として、ニンジンの摂取形態の違い、1 日 2 回の連続摂取であったこと、被験者が女性であったこと、さらに食事と同時に摂取したことなどが考えられた。カロテノイドは脂溶性物質であるため、脂質成分との共存により吸収されやすくなることが報告されている⁶⁾。さらに、脂質以外の成分の影響が報告されているが⁷⁾、今回の試験の場合も 1 日約 2,350 kcal の食事の際にジュースを摂取したことから、同時摂取がカロテノイドの吸収率に影響を及ぼしたものと推察された。

われわれは前報³⁾で、1 日 2 缶のトマトジュースを 4 週間連続摂取することに伴う、 β -カロテン濃度の有意な上昇について報告した。今回の試験でも 6 日間にわたる 10 缶の連続摂取に伴い、有意ではないが β -カロテンの濃度上昇が示された。これらの結果から、トマトジュースの連続摂取は血清中 β -カロテン濃度の上昇に有効であることが示唆された。また、ジュース形態の場合、製造工程において植物組織が物理的な破壊を受け、液部への色素体および遊離 β -カロテンの移行が増加し、吸収性が向上することが報告されている⁸⁾。これらの結果を考慮すると、ジュース形態での連続摂取は、体内へのカロテノイドの吸収に有効であると考えられる。

ニンジンには、 β -カロテンとともに α -カロテンも多く含まれている⁹⁾。今回、ニンジンジュースの摂取により α -カロテンの有意な濃度上昇が認められた。ニンジンジュース中の α -カロテン含量は β -カロテンの約 4 分の 1 であるにも関わらず、その濃度上昇は約 2 分の 1 の値を示し、ニンジンジュース中の α -カロテンは β -カロテンよりも体内に蓄積されやすいことが示された。この理由としては、摂取前の血中濃度に差があったこと、両物質のプロビタミン A 活性を含めた代謝の違いやバイオアベイラビリティの相違などが考えられた。

血清レチノール濃度は、すべての摂取群において顕著な変化は認められなかった。玉井ら⁴⁾は、1 日 60 mg の

44週間にわたる β -カロテンの連続摂取によって、血漿中レチノール濃度はわずかに季節変動するのみで、顕著な変化は示さなかったことを報告している。今回、 β -カロテンを含むニンジンジュースおよびトマトジュースの摂取によっても、血清レチノール濃度は変化しないことが示唆された。

リコペンは、前報³⁾と同様にトマトジュースの摂取で血清の濃度が有意に増加した。前述したニンジンの単回摂取の場合⁹⁾と同様、トマトジュースにおいても、その単回摂取は血清中リコペンの有意な増加をもたらさないことが報告されている¹⁰⁾。今回の試験では単回摂取と連続摂取との比較は行っていないが、ジュース摂取による濃度上昇には、連続的な摂取が必要であることが推察された。

カロテノイドの複合的な摂取は、おのおののバイオアベイラビリティに影響すると考えられている。Erdmanらは、 β -カロテンの吸収率がリコペンの共存により上昇することを報告しており¹¹⁾、われわれも、トマトジュースの摂取において、リコペンに比べ含量の少ない β -カロテンの有意な上昇を認めている³⁾。一方、Whiteら¹²⁾は、カンタキサンチンの投与による血清カンタキサンチン濃度の上昇が、 β -カロテンとの複合投与により抑制されることを報告している。食品中のカロテノイドは単独で存在することはほとんどないと考えられることから、複合系でのバイオアベイラビリティの解明は今後の課題であると考えられた。

今回の試験より、ニンジンおよびトマトのジュース形態による連続的な摂取は、血清カロテノイド濃度の有意な上昇をもたらすことが明らかとなった。

要 約

ニンジンジュースおよびトマトジュースの連続摂取に伴う、血清中カロテノイド、レチノール濃度の変化を検討した。健康な女子大生64名を、1日2本のニンジンジュース、トマトジュース、対照としてリングジュースの飲用区に分け、各々1日2缶、6日間の摂取を行った。その結果、以下に示す内容が明らかとなった。

1) ニンジンジュースの連続摂取により、 β -カロテンとともに α -カロテンの有意な血清濃度の上昇が認められた。

2) トマトジュースの連続摂取により、リコペン濃度の有意な上昇とともに、含有量の少ない β -カロテン濃度も上昇傾向を示した。

3) ニンジン、トマトおよびリングジュースの摂取によるレチノール濃度への影響は認められなかった。

4) 以上の結果から、ニンジンおよびトマトのジュース形態による連続的な摂取は、カロテノイドの血清中の濃度の上昇に有効であることが明らかとなった。

本研究に際し、広島大学工学部教授宮川都吉先生の御助言を賜りましたことを深謝申し上げます。

文 献

- 1) Khachik, F., Beecher, G.R. and Smith, J.C., Jr. : *J. Cell. Biochem.*, Suppl., **22**, 236 (1995)
- 2) Giovannucci, E., Ascherio, A., Rimm, E.B., Stampfer, M.J., Colditz, G.A. and Willett, W.C. : *J. Natl. Cancer Inst.*, **87**, 1767 (1995)
- 3) 坂本秀樹, 森 啓信, 小嶋文博, 石黒幸雄, 有元祥三, 今江裕美子, 難波経篤, 小川睦美, 福場博保 : 栄食誌, **47**, 93 (1994)
- 4) 玉井 浩, 村田卓士, 森信孝雄, 久野友子, 穂積正俊, 茂地秀紀, 真砂光宏, 美濃 真 : ビタミン, **70**, 9 (1996)
- 5) Brown, E.D., Micozzi, M.S., Craft, N.E., Bieri, J.G., Beecher, G., Edwards, B.K., Rose, A., Taylor, P.R. and Smith, J.C., Jr. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **49**, 1258 (1989)
- 6) Prince, M.R. and Frisoli, J. : *Am. J. Clin. Nutr.*, **57**, 175 (1993)
- 7) Erdman, J.W., Jr., Poor, C.L. and Dietz, J.M. : *Food Technol.*, **42**, 214 (1988)
- 8) Dietz, J.M., Kantha, S.S. and Erdman, J.W., Jr. : *Plant Foods Hum. Nutr.*, **38**, 333 (1988)
- 9) Hart, D.J. and Scott, K.J. : *Food Chem.*, **54**, 101 (1995)
- 10) Stahl, W. and Sies, H. : *J. Nutr.*, **122**, 2161 (1992)
- 11) Erdman, J.W., Jr. : *Clin. Nutr.*, **7**, 101 (1988)
- 12) White, W.S., Stacewitz-Sapuntzakis, M., Erdman, J.W. and Bowen, P.E. : *J. Am. Coll. Nutr.*, **13**, 665 (1994)

(1996年7月8日受理)