

各色のトマトに含まれる色素に関する研究

横田 正

Study on Pigment of Color Tomato

Tadashi Yokota

キーワード：トマト tomato、リコピン lycopene、 β -カロテン β -carotene、クロロフィル Chlorophyll

はじめに

『トマトが赤くなると医者が青くなる』これはヨーロッパのことわざである。このことわざのように、トマトは熟して赤色になり、それを食すものとするのが一般的である。通常の赤いトマトは実が熟すのに従い、緑色の色素であるクロロフィルが減少し、カロテノイドの一種であるリコピンが増加して赤色になる。今でこそリコピンの名が知られているが、もともとは、同じカロテノイドの一種である β -カロテンが、プロビタミンA活性をもつことや抗がん作用を有すことで注目されており¹⁾、プロビタミンA活性を有していないリコピンは、ただ赤いだけであるといわれ、あまり注目されていなかった。しかし、近年リコピンの強い抗酸化作用や抗がん作用など様々な生理活性が報告され^{2) 3)}、注目されるようになり、先ほどのことわざもこのリコピンに起因するものが多い。CMや雑誌などにも多く取り上げられるようになり、現在では『トマト=リコピン』というようなイメージが多くのヒトにあるように思われる。

しかしながら、最近のスーパーでは赤色だけでなく、黄色やオレンジ色のトマトが、また、インターネットではそれに加え、緑色や黒色、白色のトマトまでもが紹介され、販売されるようになった。そこで、本研究はそれぞれの色別トマトに含まれる色素、主にリコピン、 β -カロテン及びクロロフィルの含有量について調べたので報告する。また、これら様々な色のトマト

がどれだけ周知されているのかのアンケート調査も行った。

実験方法

1. 試料

今回の実験では黄色、オレンジ色、黒色、緑色と通常の赤色のトマトを使用した。

1) イエローミニトマト、オレンジミニトマト、ブラックミニトマト、グリーンゼブラトマトは、インターネットで購入した。ミニトマト(以下、色を区別するためレッドミニトマト)は市内のスーパーで購入した。今回入手したトマトはそれぞれの大きさを統一することができなかった。各トマトの1個当たりの平均重量は、イエローミニトマト 7.0 g、オレンジミニトマト 9.3 g、ブラックミニトマト 15.5 g、グリーンゼブラトマト 44.5 g、レッドミニトマト 9.5 gであった。

2) 試料トマトの調整

トマトのヘタを除去し、2等分もしくは4等分し、ミキサーに入れ、5秒間5回攪拌してピューレとした。このピューレを試料とした。

2. 測定方法

1) リコピン、 β -カロテンの測定法

試料 5 g に水 5 g を加えて攪拌し、遠心分離(1400×g、15分)を行った。その残渣にアセトン 5 ml、ヘキサン 1 ml を加え遠心分離(1400

×g、15分)を2回行った。このヘキサン層 10 μl を HPLC (島津高速液体クロマトグラフ LC-10AD VP、島津高速液体クロマトグラフ用検出器 SPD-10AV VP) に供した。HPLC の分析条件は以下の通りである。

カラム : LUNA C-18(250mm×4.6)
 移動相 : アセトニトリル : メタノール =
 70 : 30
 流量 : 1 ml/min
 温度 : 40℃
 測定波長 : 485 nm

2) クロロフィルの測定法

試料 3g にアセトン 3g を加えて攪拌し、遠心分離 (1400×g、15分) を行った。この上澄み液 20 μl を HPLC (島津高速液体クロマトグラフ LC-10AD VP、島津高速液体クロマトグラフ用検出器 SPD-10AV VP) に供した。HPLC の分析条件は以下の通りである。

カラム : LUNA C-18(250mm×4.6)
 移動相 : アセトニトリル : メタノール =
 70 : 30
 流量 : 1 ml/min
 温度 : 40℃
 測定波長 : 440 nm

実験結果と考察

1. 各トマトに含まれるカロテノイド

図1に各色別トマトのヘキサン抽出物の液体クロマトグラムのチャートを示した。上からグリーンゼブラトマト、イエローミニトマト、オレンジミニトマト、ブラックミニトマト、レッドミニトマトの順番である。今回の条件で検出された色素類は Rt30 付近のリコピンと Rt60 付近のβ-カロテンであった。α-カロテンは Rt55 付近に検出されてくるが、今回のトマトにはいずれも検出されなかった。

1) レッドミニトマト

通常の赤いトマトには、リコピンとβ-カロテンが含まれており、文献通りリコピンのほうが多かった。

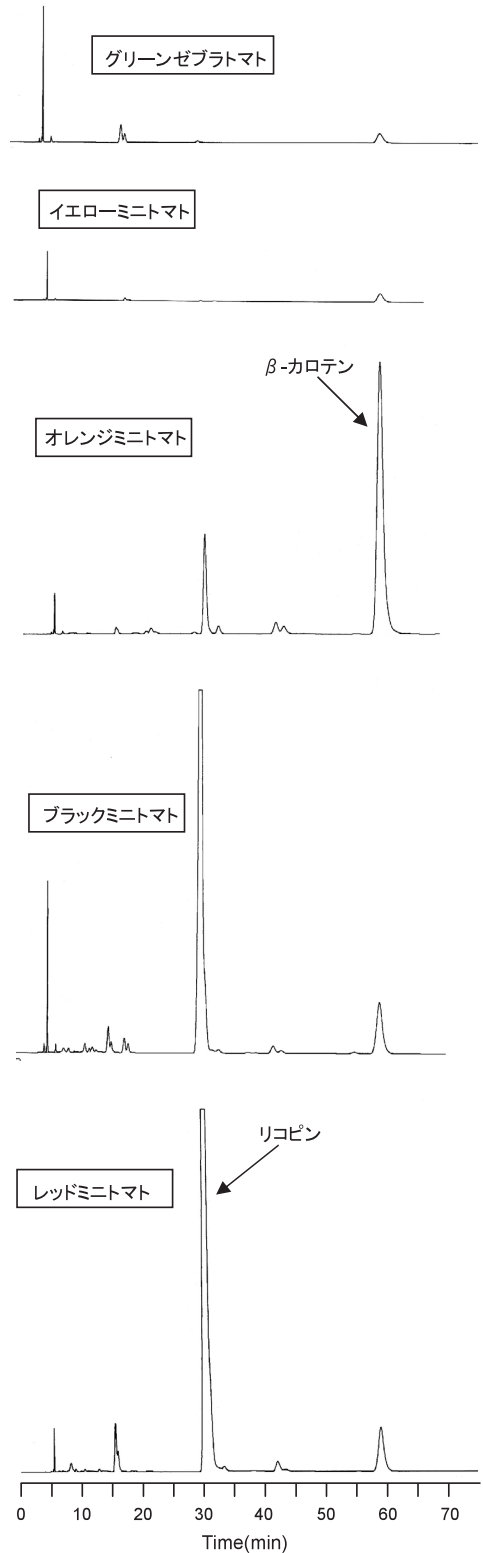


図1 各トマトのヘキサン層のHPLCクロマトグラム (485nm)

2) ブラックミニトマト

ブラックミニトマトも通常のトマトと同様でリコピンとβ・カロテンが含まれており、リコピンのほうが多かった。

3) オレンジミニトマト

オレンジミニトマトには、リコピンとβ・カロテンが検出され、β・カロテンのほうが多かった。

4) イエローミニトマト

イエローミニトマトに含まれるカロテノイドは、β・カロテンのみで、今回の実験条件では、リコピンは検出されなかった。

5) グリーンゼブラトマト

グリーンゼブラトマトに含まれるカロテノイドは、β・カロテンとリコピンが検出された。

各色別トマトに含まれるリコピンとβ・カロテンの含有量を、それぞれのクロマトグラムピーク面積が最も大きかったトマト、つまり、リコピンはレッドミニトマト、β・カロテンはオレンジミニトマトを100として、他のトマトに含まれる割合(%)グラフにしたものを図2に示した。

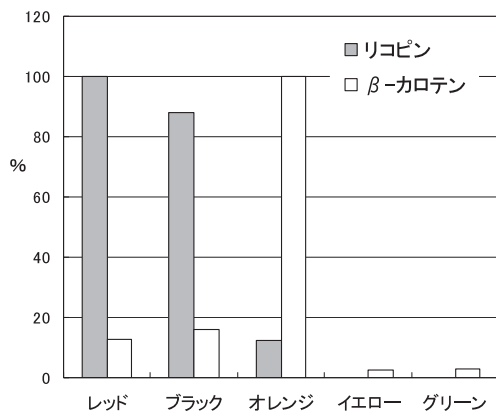


図2 各トマトのリコピン、β-カロテンの割合

その結果、はっきりと3つのタイプに分類できた。通常のトマトのようにリコピンが主カロテノイドで、少量のβ・カロテンを含むパターンがレッドミニトマト、ブラックミニトマトであった。これらとは逆でβ・カロテンを多く含み、少量のリコピンを含むトマトがオレンジミニトマトだった。一方で、イエローミニトマトとグリーンゼブラトマトは、いずれのカロテノイド

も少量しか検出されなかった。リコピンは、イエローミニトマトにおいては検出されず、グリーンゼブラトマトにおいてもリコピンの0.2%であった。β・カロテンは、イエローミニトマトにおいてオレンジミニトマトの2.4%、グリーンゼブラトマトにおいて2.9%であった。

リコピンをはじめとしたC₄₀の骨格を有すカロテノイドの生合成は、メバロン酸から生じるC₅骨格のイソペンテニル二リン酸が順次作用してC₂₀の骨格が形成され、これが2分子縮合して最初のC₄₀炭化水素、フィトエンができる。このフィトエンから順次2原子ずつ脱水素していくと最終的にリコピンとなる。β・カロテンなどのヨノン環を有すカロテノイドは、リコピンまたはその前段階での分子の末端の開環によって生じる。⁴⁾ さらに酸素の付加によりゼアキサントニンとルテインのキサントフィル類が生成する。

今回、通常の赤色ではなく、それよりも薄いオレンジ色や黄色のトマトの色は、赤色であるリコピンからさらに反応が進んだオレンジ色のβ・カロテンであることがわかった。

今回の実験でリコピンをほとんど、もしくは全く含まないトマトが存在した。これまでの『トマト=リコピン』のイメージを裏切った結果となった。もともとリコピン(Lycopene)は、トマト(学名: *Lycopersicon esculentum* Mill)から初めて単離されたため命名された。このリコピンの名称の元となったトマトに、リコピンを全く含まないものが存在するということがわかった。

2 各トマトに含まれるクロロフィル

図3に各色別トマトのアセトン抽出物の液体クロマトグラムのチャートを示した。

上から、グリーンゼブラトマト、イエローミニトマト、オレンジミニトマト、ブラックミニトマト、レッドミニトマトの順である。グリーンゼブラトマトには見た目どおり緑色の色素であるクロロフィルが存在しており、Rt17付近にクロロフィルbが、Rt28付近にクロロフィルaのピークが観測された。それぞれの含有量を最もピーク面積が多かったグリーンゼブラトマトの面積を100としてその割合(%)で表した。

その結果を図4に示した。

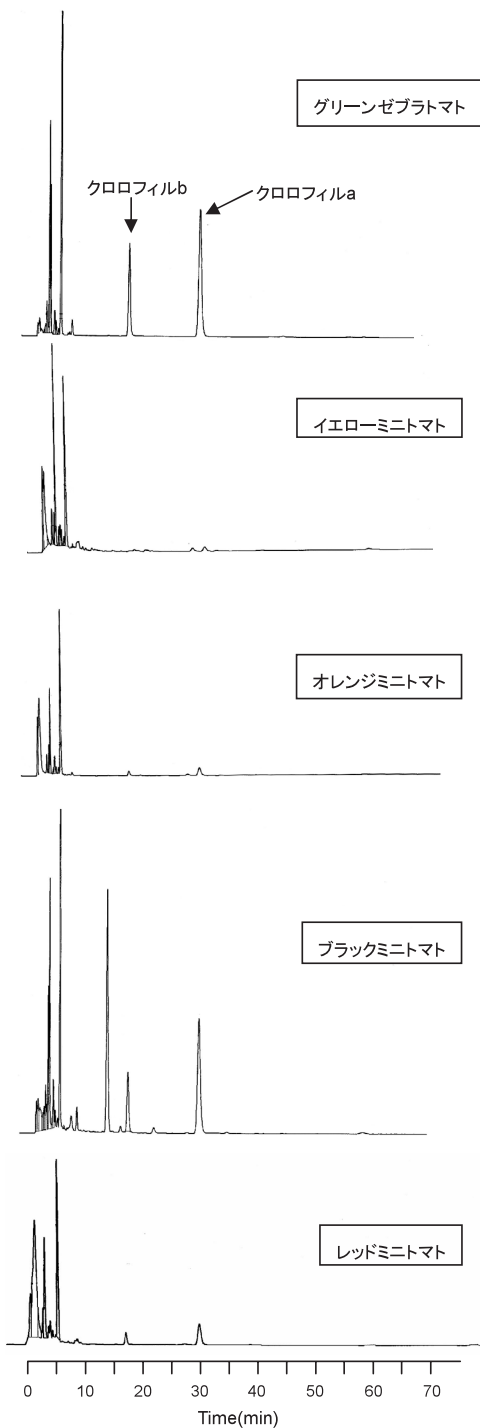


図3 各トマトのアセトン抽出物の液体クロマトグラム(440nm)

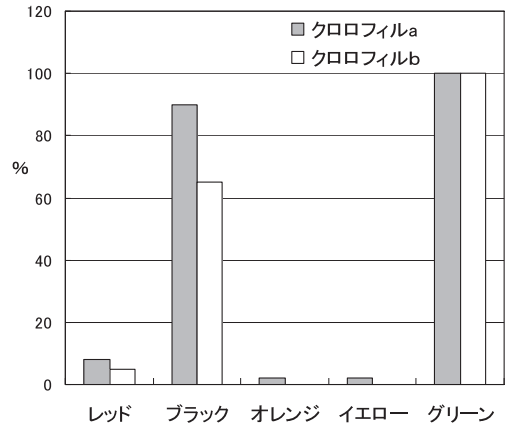


図4 各トマトのクロロフィルの含有割合

イエローミニトマト、オレンジミニトマトには、クロロフィル b は検出されず、クロロフィル a がグリーンゼブラトマトに対して数%含まれる程度であった。レッドミニトマトも、クロロフィル a、b 共に 10%以下であった。ブラックミニトマトについては、クロロフィル a が 90%以上、クロロフィル b が 60%以上存在した。前述したように通常の赤いトマトは実が熟すのに従い、クロロフィルが減少し、リコピンが増加して赤色になる。従って、熟度によってクロロフィル含量は異なることが考えられるが、今回使用した各トマトは、外見から緑色部分がほとんどない(グリーンゼブラトマトは除く)着色度 30⁵⁾のものであると考えられるため、ブラックミニトマトは熟しても、相当量のクロロフィルが残存しているものと思われる。一般に、クロロフィルを分解する酵素であるクロロフィラーゼは、緑葉、未熟果実などに存在し、老化や成熟過程でクロロフィルを分解する。この酵素は、クロロフィルのフィチル基に作用し、フィトールを切り離してクロロフィリドを生成する⁶⁾。グリーンゼブラトマトやブラックミニトマトは熟してもこの作用を受けないと考えられる。

今回の実験では、色素の分析のみで、その他の成分の違いについては分析していない。また、グリーンゼブラトマトはやや大きく、イエローミニトマトはやや小さくと、トマトの大きさを

統一できなかった。前回の報告でトマトの大きさによりビタミンCや糖度が異なることを報告している。今後は、トマトの大きさを統一して、それぞれの成分の違いについて研究していく予定である。

アンケート調査

各色別トマトに関する意識調査を行うため、食の勉強をしている学生 83 名に対して、以下のようなアンケート調査を行った。

- 1) 存在を知っているか。
- 2) 実際に見たことがあるか。
- 3) 実際に食べたことがあるか。
- 4) 食べたいと思うか。

このアンケート結果を表 1~4 に示した。

表 1 知っていた色のトマト

トマトの色	割合 (%)
黒色	16.9
オレンジ色	60.2
黄色	85.5
緑色	27.7

通常の赤色トマト以外で最も認知度が高かったのが、黄色のトマトで 86%もの学生が知っていた。次いでオレンジ色のトマトで 60%。黒色、緑色のトマトはあまり知られておらず、いずれも 20%以下であった。

表 2 実際に見たことがあるトマト

トマトの色	割合 (%)
黒色	0
オレンジ色	31.3
黄色	66.3
緑色	12.0

見たことがあるトマトも最も多いのが黄色のトマトで 66%もの学生が見ていた。この多くが、『小さな黄色のトマトをスーパーでみた』というものであった。中には、『小学校のときに栽培したことがある』というのもあった。次いで多かったのが、オレンジ色の 31%、緑色の 12%

であった。黒色のトマトを実際に見た学生は皆無であった。オレンジ色や緑色のトマトはレストランやイタリアンのお店で見たという学生が多かった。黄色以外のトマトは、まだ、あまりスーパーなどでもあまり見られないようである。

表 3 実際に食べたことがあるトマト

トマトの色	割合 (%)
黒色	0
オレンジ色	16.9
黄色	37.3
緑色	3.6

食べたことがあるトマトもこれまでの結果と同様に最も多いのが黄色で 37%、次いでオレンジ色、緑色のトマトも 4%の学生が食べたことがあると答えた。黄色やオレンジ色のトマトのほうが甘かったという意見と、他の色のトマトも普通のトマトと変わらなかったという意見がほぼ半々だった。先ほども述べたとおりで、大きさや品種により異なることが考えられるので、色によって甘い、甘くないは判断できないように思われる。

表 4 食べてみたい色のトマト

トマトの色	割合 (%)
黒色	44.6
オレンジ色	43.4
黄色	31.3
緑色	30.1

食べてみたい色のトマトは各色とも 30%~45%であり、大きな差はみられなかったが、その理由は大きく異なった。オレンジ色、黄色のトマトについては、『見た目がかわいいから』『甘くておいしそう』という積極的な意見が多かったのに対して、緑色、黒色のトマトは『どんな味が想像できないから』『チャレンジャーだから』などと、好奇心からくるような理由が多かった。今回は、食べてみたいと言ってくれた学生に食べさせることはできなかったが、次回は、試食させて、その他の成分との関連性や、学生

ならではの発想力を活かしたカラフルトマトを用いたレシピなどの研究をしていく予定である。

山美江、赤川知令：トマトの成分に関する研究
(第1報)、愛知学泉大学・短期大学紀要、**39**、
11-19 (2004)

要約

6) 片山脩、田島眞：『食品と色、光琳』、73 (2003)

1. ブラックミニトマトには、通常の赤色トマトと同様にリコピンを多く含んでいた。オレンジミニトマトは、 β -カロテンが主カロテノイドであり、リコピンはレッドミニトマトに対して12%だった。イエローミニトマト、グリーンゼブラトマトには、リコピンはほとんど検出されず(イエローミニトマトは検出されず、グリーンゼブラトマトはレッドミニトマトに対して0.2%)、 β -カロテンも、オレンジミニトマトに対して2~3%しか存在しなかった。

2. グリーンゼブラトマトには、クロロフィルが多く存在していた。ブラックミニトマトには、グリーンゼブラに対してクロロフィル a は90%以上、クロロフィル b が60%以上の割合で残存していた。他のカラートマトにはクロロフィルはほとんど残存していなかった。

3. 黄色のトマトが最も認知度があり、食べたことがある学生も最も多かった。逆に黒色のトマトは、最も認知度が低く、食べたことのある学生もいなかった。

参考文献

- 1) Knet P, Javinen R, Seppanen R,: Dietary antioxidants and the risk of lung cancer. *Am J Epidemiol*, **134**,471-479(1991)
- 2) P. DiMascio, S. Kaiser, and H. Sies,: Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.*, **274**, 532-538(1989).
- 3) E. Giovannucci, A. Ascherio, E. B. Rimm, M. J. Stampfer, G. A. Colditz, and W. C. Willett,: Intake of carotenoids and retinol in relation to risk of prostate cancer *J. the National Cancer Institute*, **87**, 1767-1776 (1995)
- 4) 今堀和友、山川民夫：『生化学辞典(第2版)』、東京化学同人、300 (1990)
- 5) 榊原住枝、横田正、井関道夫、中根めぐみ、古