

トマトに含まれるリコピンの生理作用について

泉田 光¹

¹ 鯉淵学園農業栄養専門学校 食品栄養科

キーワード：トマト，リコピン，カロテノイド，抗酸化作用

I はじめに

栄養士の役割として、ポピュレーションアプローチ^(注1)により、人々の健康に寄与することが挙げられる。また、令和6年度から始まる「健康日本21(第三次)」では、高血圧、脂質(LDL コレステロール)高値の者の減少を目標としており¹⁾、打開策の模索と実施が急務とされている。そして高血圧の予防対策の一つとして、生理活性物質であるリコピン(lycopene)という栄養素が注目されている。リコピンは、天然に存在する赤や黄の色素であるカロテノイドの一種であり、 β -カロテンの前駆体でもある。トマト、西瓜(かぼちゃ)、柿などの赤色の野菜や果物に含まれている。これらの果実や果物では、熟度が増すにつれてリコピンの量は増大する²⁾。リコピンは、その構造に β -イオノン環^(注2)(図1)を持っていないため、 β -カロテンのように体内でビタミンAに変化しないことから栄養学的な研究がこれまで進んでいなかった。しかし、近年ではカロテノイド自体に強い抗酸化作用があることが知られ、注目されるようになった³⁾。また、リコピンは、紫外線によるメラニンの生成を抑制する効果(シミの予防)やコラーゲンの生成を促す効果があることが知られており、美容の観点においても注目されている。

そこで本論文では、リコピンの構造や生理作用、生のトマトとトマトジュースでの吸収率の違いなどについて解説する。

II リコピン

1. リコピンの構造

リコピンは、成熟したトマト等に存在するカロテノイド色素の一種で、通常1kgの新鮮な成熟トマトには0.02g程度含まれている。化学構造は、8個のイソプレレン(C_5H_8)単位が集まったテトラテルペンである(図2)。また、炭素と水素のみから構成される炭化水素であり、非極性のため水に溶けない(脂溶性)深赤色の針状晶である。トマトの他、西瓜、柿、ピンクグレープフルーツ、グァバなどの赤色の果物・野菜に含まれているが、イチゴやサクランボには含まれてない。リコピンの名称は、トマトの学名である「*Lycopersicon esculentum*(リコペルシコン・エスクレンタム)」に由来している⁴⁾。

リコピンには構造異性体(トランス体とシス体)が存在する(図3)。分子中の二重結合がすべてトランス結合である場合、トランス体(またはオールトランス体)と言われている。一方、二重結合が部分的にシス結合になっているものは、シス体(モノシス体またはポリシス体)と言われ、これらをシスリコピンあるいはプロリコピンなどと呼ぶことがある。シス体は、トランス体と比べて、色強度が低いこと、融点が低いこと、吸光係数が小さいこと、そして、油に溶けやすく、結晶化しにくいなどの特徴がある。リコピンは、加工時にトランス体からシス体に異性化することが知られており、各種のトマト

¹ 〒319-0323 茨城県水戸市鯉淵町 5965

(注1) 集団全体を対象に保健活動を展開して疾病の発生を予防すること。生活習慣の改善等の一次予防を中心に集団全体で取り組み、社会全体の行動変容によって患者数を減らす長期的な戦略をいう。

(注2) 小腸粘膜で酵素によりビタミンAに変換されるのに必要な環状構造。

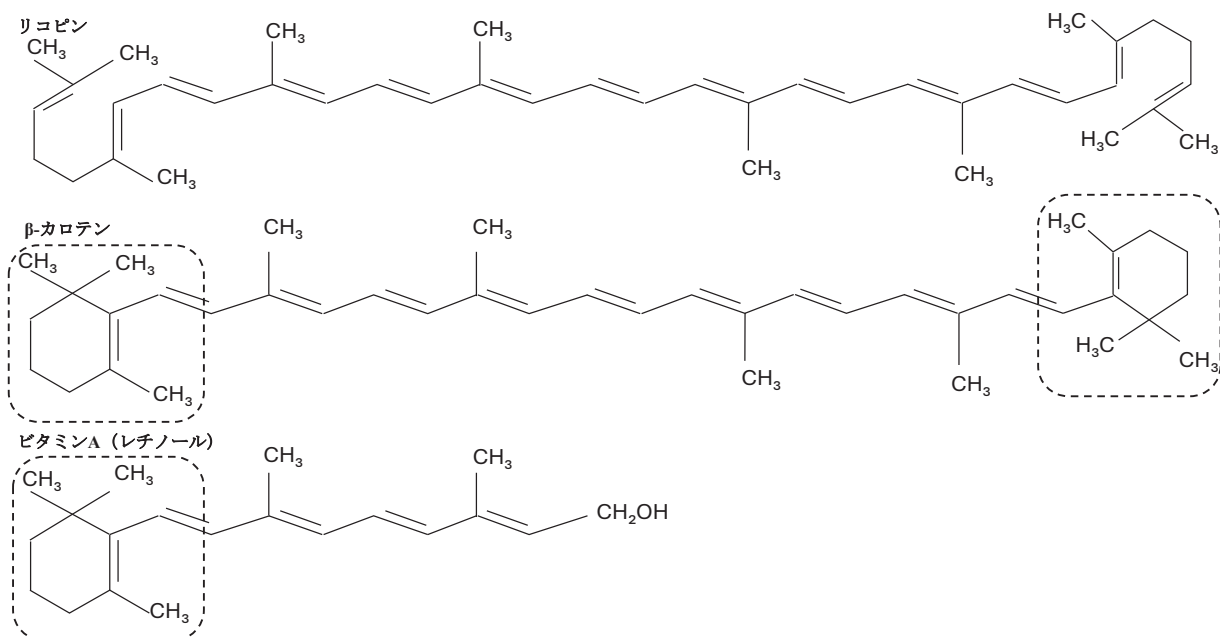


図1. リコピン、 β -カロテン及びビタミンA (レチノール) の構造
破線四角は、 β -イオノン環を示す。

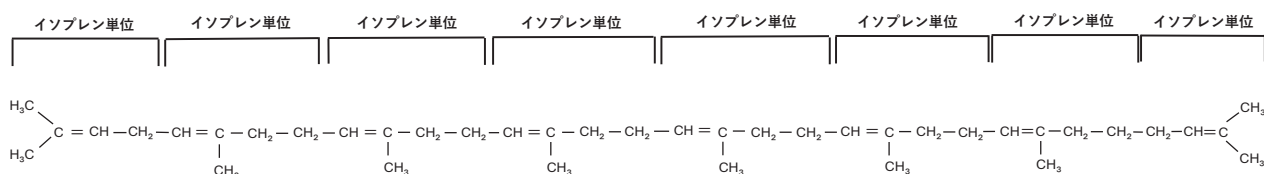


図2. リコピンの構造 (イソプレレン単位)

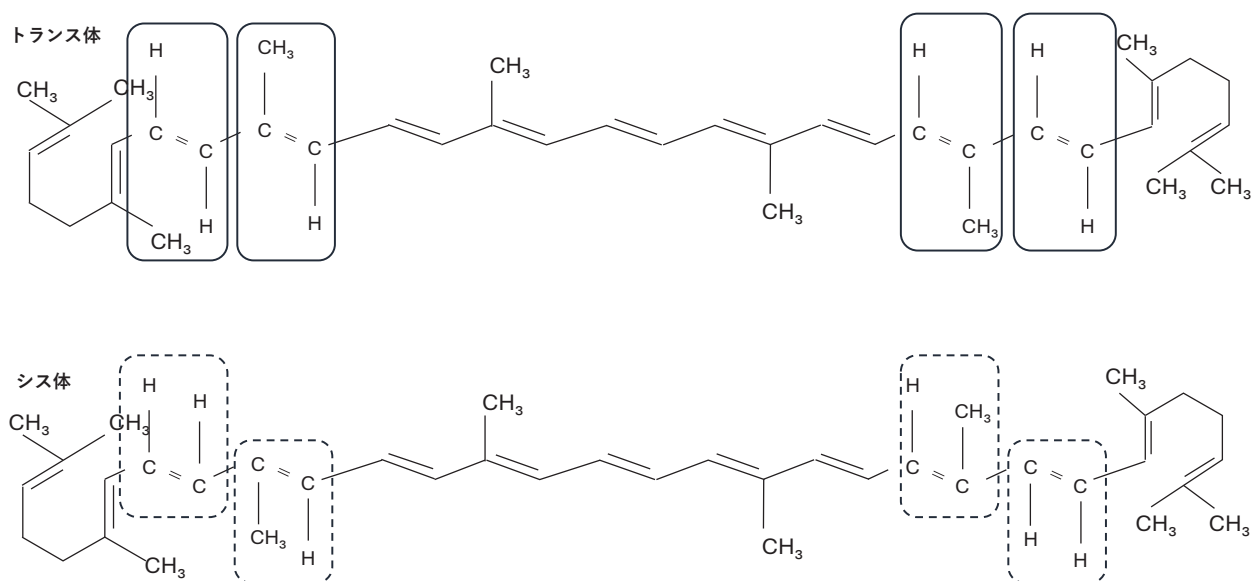


図3. リコピンのトランス体とシス体
実線四角は、トランス二重結合を示す。
破線四角は、シス二重結合を示す。

ベースの食品における含有割合は、トランス体が35～96%，シス体が4～27%となっている。ただし、トランス体のほうが安定であることから、製品の貯蔵時にはシス体からトランス体への変換が起こり得る。トランス体とシス体は、体内での効果は同じとされているが、シス体はトランス体よりも体内への吸収がよく（2.5倍以上）、体内での利用効率が高いとの報告もある^{4, 5)}。リコピンは、赤いトマトだけでなく、黄色のトマトにも含まれており、そのうえ、シス体が多く含まれているという報告もある⁴⁾。

2. リコピンの生理作用

リコピンの生理作用としては、活性酸素を消去する抗酸化作用などを有することが明らかになっている⁶⁾。活性酸素はヒトが酸素を利用して生きていく上で、必ず生成されるものである。しかし過剰に生成された活性酸素は、その強い酸化力により正常な細胞を破壊し、DNAを傷つけがん細胞を発生させ、体内のコレステロールや中性脂肪を酸化させ血管をもろくすることで内臓や皮膚、骨などのあらゆる組織にダメージを与え、老化や生活習慣病につながるといわれている⁶⁾。

抗酸化物質とは、活性酸素を無害化するものであり、体内の酵素ではスーパーオキシドディスムターゼ（SOD）、カタラーゼ、グルタチオンペルオキシターゼなどがあり、活性酸素を防ぐ成分としては、抗酸化ビタミン、無機質、ファイトケミカル（ポリフェノールなど植物に含まれる苦み、香り、色素）がある。ヒトは抗酸化ビタミンを体内で合成することができないため、普段の食事から十分に摂取する必要がある。そこで抗酸化ビタミンのカロテノイドとして、トマトのリコピンが注目されている⁶⁾。

リコピンの抗酸化作用は、ビタミンEの100倍以上とされている⁷⁾。動物実験では、化学的に誘発されたラット膀胱腫瘍形成を阻害すること等が報告されており⁸⁾、肝臓、大腸における腫瘍形成の抑制作用が報告されている⁸⁾。ヒトでは、トマトの加工食品を摂取することで前立腺がんのリスク低下が関連付けられており、食品中に含まれるリコピンの存在に起因することが示唆されている^{5, 9-12)}。40歳以

上の男性において、リコピン（1日にリコピン15mg）を主成分とするサプリメントを継続的に摂取することで、前立腺肥大のリスクが35%抑制されたとの報告もある^{4, 13)}。また、血清リコピン濃度は、女性における乳がんリスクの低下とも関連付けられている。カルマノス・ガン研究所（米デトロイト）内科・腫瘍学科のクチューク教授は、がん予防のためにリコピンを「1日5～10mg摂ると良い」、ただし、「生のトマトに含まれる状態では吸収率が良くない。加熱すると吸収率が高まるためトマトピューレなら1日40g程度摂れば良い」と述べている^{4, 13)}。その他にもリコピンには、メラニン生成抑制、コラーゲン産生促進、日焼け予防、肥厚抑制、角質層状態の改善、眼下のシワの改善効果があるとの報告もある⁴⁾。

3. リコピンの吸収と摂取時刻の関係

リコピンは、小腸粘膜細胞に吸収され、カイロミクロン^(注3)に取り込まれてリンパ液中へ分泌される。その後リンパ管、胸管を経て大循環系に流入し、肝臓に達する。リコピンの体内での分布について、リポタンパク質中ではVLDL（very low density lipoprotein）やLDL（low density lipoprotein）に分布しやすい特徴がある。また、組織においては、副腎や肝臓、精巣に高濃度に蓄積することが知られている¹⁴⁾。リコピンのカイロミクロンへの取り込みは小腸上皮細胞での脂質代謝と関係しており、摂取した油脂の影響を受けることが知られている¹⁴⁾。

強力な抗酸化作用をもつリコピンが体内で有効に利用されるためには、全身を循環する血液中に多く分布することが重要である。朝食でトマトを摂取した場合、血中リコピン濃度が著しく上昇しており、活性酸素の消去において他の摂取時刻に比べて効果的との報告がある¹⁴⁾。

Canoらは、男性ホルモンであるテストステロンが、リコピンの肝臓組織などへの蓄積を阻害することを報告している¹⁵⁾。ヒトにおいて血中テストステロンが高値となる活動期初期（朝の食事）にトマトを摂取することで吸収されたリコピンは、肝臓へ蓄積されにくく、血液を介して全身に供給されると考えられる¹⁴⁾。これらの報告から、リコピンの体

(注3) 脂質とタンパク質の複合体であるリポタンパク質の一種。カイロミクロンは、腸で吸収された食物中の脂質を運搬する働きがある。

内への吸収は摂取時刻によって異なり、特に朝の摂取が重要であることが分かる。青木らは、活動期初期（朝）にリコピンを摂取することで吸収率が高くなること、そして、この結果には絶食時間の長さに関係していると考えられることを示したが、今回の試験のみではリコピンの吸収と絶食時間との関連は明確にすることが出来なかったとしている¹⁶⁾。今後、食事の多様性を考え、他の栄養素との相互作用についても時間栄養学的に検討していくことが新しい栄養学の方針性として示されている^{14, 17)}。

4. トマトの加工方法によるリコピンの吸収特性の変化

リコピンの吸収は、生トマトとトマトペーストを摂取した場合で比較するとトマトペーストの方がAUC（血中濃度－時間曲線下面積）、Cmax（最大血中濃度）ともに高い数値が認められており、それはペースト（加工）にすることで細胞壁が破壊され、リコピンが遊離するため吸収率が高まると考えられている（これは、加熱処理でも同様のことが言える⁹⁾）。さらに、トランス体よりもシス体の方が体内に吸収されやすいことが報告されている^{4, 18)}。生トマトに含まれるリコピンは主にトランス体として存在するが、油と一緒に加熱することでトランス体からシス体に変化することから、体内への吸収も促進される。さらに後藤らは、リコピンは、油に加え、にんにくやたまねぎと一緒に加熱した方が、シス体に変化しやすいため体内への吸収率が高まることを報告し、シス体への構造変化促進成分の一つが、にんにくやたまねぎを調理することで生成されるジアリルジスルフィド（香り成分）であることを明らかにした¹⁸⁾。これらの報告から、にんにく・たまねぎ・油を用いたトマトメニューはおいしさだけでなく、リコピンを体内に効率良く取り入れるのに適したメニューであると考えられている¹⁸⁾。

また、トランス体のリコピンの吸収を高める手法として、乳製品や油との同時摂取が知られている。リコピンはトランス体、シス体ともに脂溶性のため、油を使用した料理、またはオールドレッシング等と一緒に摂取すると吸収が良くなる。

Ⅲ リコピンの吸収率を考えた場合のトマトジュースの有用性

トマトジュースは、生のトマトを加熱・加工することで細胞が破壊され、リコピンが遊離し吸収率が高まるので、リコピンを摂取するには良い食品である。リコピンの生理作用を効果的に得るためにはトマトジュースを1日200 mL（リコピン含有量15~20 mgに相当）、朝に摂取すると良い。また、トマトジュースを加熱したり、油や乳製品と一緒に摂取したり、にんにくやたまねぎと一緒に調理すると吸収率の点から効果的である。

年々、人々の健康志向が高まっている中、一次予防の観点からもリコピンの摂取を目的としてトマトジュースやトマトペーストを使用した料理を日々の生活に取り入れることは、高血圧や高血糖¹⁹⁾、がんの予防⁸⁾が期待できる。とはいえ、これらを日常の食生活に取り入れている人はどれくらいいるだろうか。東尾らは、トマトジュースの官能評価、嗜好調査（延べ約300人）を行った結果、トマトジュースの酸味、粘度、生臭さに苦手意識を持つ人がある程度存在していたことを報告²⁰⁾しており、リンゴやオレンジジュースと比べ日常的に摂取することは難しいとも言える。

そこでトマトジュースについて、本校学生を対象とした嗜好調査を行い、現状でどの程度受け入れられているのか明らかにし、日常的に摂取している割合が低かった場合にどのような取り組みをすれば摂取率が向上するのか検討する価値はあると考える。このような活動を実践することによって、今後、健康日本21（第三次）の目標達成に繋がっていくと考える。

Ⅳ 引用文献

- 1) 厚生労働省（2024）、健康日本21（第三次）の推進のための説明資料（その2）pp. 65-70. [https://www.mhlw.go.jp/content/001158871.pdf]（参照2024-8-28）.
- 2) Y. Dumas, M. Dadomo, G.D. Lucca and P. Grolier (2003), Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agr.* **83**(5): 369-382.
- 3) 西野 梓, 市原敬司, 安井裕之, 眞岡孝至 (2018), パプリカカロテノイドの血中動態と抗酸化機構の解析. *オレオサイエンス* **18**(3): 91-97.
- 4) アイアール技術者教育研究所（2024）、3分でわかる

- 技術の超キホン リコピンとは？（化学構造・作用，トランス体/シス体など）．〔<https://engineer-education.com/lycopene/>〕（参照 2024-9-17）．
- 5) S. Agarwal and A.V. Rao (2000), Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *CMAJ* **163**(6): 739-744.
 - 6) 大越ひろ，品川弘子（2017），食品素材の調理による変化とサイエンス．pp. 164-165，健康と調理のサイエンス 調理科学と健康の接点 第4版，学文社，東京都目黒区．
 - 7) P. DiMascio, S. Kaiser and H. Sies (1989), Lycopene as the most efficient biological carotenoid single oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.* **274**(2): 532-538.
 - 8) 横田 正，大嶽徹朗，鈴木理英，衛藤英男，大島俊二，稲熊隆博，石黒幸雄（2003），カロテノイド，リコピンの抗酸化機構の解明研究—ペルオキシナイトライトとの反応を中心に—．天然有機化合物討論会講演要旨集 **76**:(P-67) 449-454.
 - 9) G. Christine, S. Wilhelm and S. Helmut (1997), Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes^{I-III}. *Am. J. Clin. Nutr.* **66**: 116-122.
 - 10) M. G. Jain, G.T. Hislop, G. R. Howe and P. Chadirian (1999), Plant foods, antioxidants, and prostate cancer risk: findings from case-control studies in Canada. *Nutr. Cancer* **34**: 173-184.
 - 11) L. Arab and S. Steck (2000), Lycopene and cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.* **71**: 1691S-7S.
 - 12) E. Giovannucci, E. B. Rimm, Y. Liu, M. J. Stampfer and W. C. Willett (2002), A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *J. Natl. Cancer Inst.* **94**(5): 391-398.
 - 13) 日経メディカル（2004），トマトのリコピン，再発した前立腺癌の進行を抑制—米専門医が臨床データを公表．〔<https://medical.nikkeibp.co.jp/nc/all/hotnews/archives/346920.html>〕（参照 2024-11-18）．
 - 14) 前田朝美，出口佳奈絵，本橋 綾，加藤秀夫，苧坂枝織，西田由香（2014），トマトの摂取時刻の違いによるリコピンの生体内利用．東北女子大学・東北女子短期大学紀要 **53**: 89-95.
 - 15) P. Cano, V. Jimenez-Ortega, A. Larrad, C. F. Reyes Toso, D. P. Cardinali and A. I. Esquifino (2008), Effect of high-fat diet on 24-h pattern of circulating levels of prolactin, luteinizing hormone, testosterone, corticosterone, thyroid-stimulating hormone and glucose, and pineal melatonin content, in rats. *Endocrine* **33**(2): 118-125.
 - 16) 青木雄大，吉田和敬，信田幸大，砂堀 諭，西田由香，加藤秀夫，菅沼大行（2017），リコピン摂取時間帯がラットおよびヒトにおける体内吸収に与える影響．日本栄養・食糧学会誌 **70**(4): 147-155.
 - 17) 宇佐美晶子（2022），時間栄養学に基づく食事指導の可能性．鯉淵学園教育研究報告 **32**: 43-48.
 - 18) カゴメ株式会社（2018），一カゴメ・名古屋大学共同研究—トマトに含まれるリコピンの構造変化（トランス体からシス体）を促進する新事実を発見 トマトをにんにくやたまねぎ，油と一緒に加熱することで，おいしさだけでなく，リコピンが体内に吸収されやすくなることが期待できる．〔<https://www.kagome.co.jp/library/company/news/2018/img/201805140.pdf>〕（参照 2024-9-17）．
 - 19) 橋本直人，富永直樹，若木 学，石川祐子（2019），リコピン高含有トマトの継続摂取は食後血糖値の急激な上昇を抑制する．研究結果情報．農研機構．
 - 20) 東尾久雄，山口優一，木幡勝則，東 敬子（1999），トマトジュースの嗜好性と加工法との関係．日本食品科学工学会誌 **46**(6): 410-415.