

食品機能性を重視したメタボローム解析による果実の “食べごろ” 評価法の開発

神奈川県立大学応用バイオ科学部 栄養生命科学科

飯島 陽子

1. 研究の目的と背景

トマトやピーマンなどの果実野菜は、果実の成熟段階により、色、香り、味などに関わる成分組成が変化することが知られ、生産者や消費者にとっては、葉野菜に比べると「いつが食べごろであるか？」が意識される。そのため、今までにトマト、メロン、イチゴなどの果実において、成熟度の違いによる成分変動についての報告は多くあり、香氣成分や味成分に対して注目したものが多く、特にトマトでは、香氣成分や味成分（糖やアミノ酸）、色成分（カロテノイドなど）などの食品二次機能を担う成分について、その生成も含めて多くの報告があり、生合成に関与する酵素および転写因子などについても遺伝子レベルで詳細に調べた報告もある。しかし、いずれも、限られた成分について着目したものが多く、総体的に捉えた例はほとんどない。特に無味無臭の成分の変動については今までに見落とされてきた。さらに、各成分の生合成・代謝ネットワークを考えると、果実の成熟によって特定の成分だけがドラスティックな量的変化をすることは少なく、代謝に関わる多数の成分において連動的な量的変化が起きていることが予想される。このような背景から、本研究では、果実の成熟度と食べごろ、各種食品成分の変動について、包括的な解析を行うことを目的とした。近年、生体成分の変動を網羅的に分析し、その増減の変動について多変量解析などによりその相関性を調べるメタボローム解析が確立している。本研究では、この手法をトマト果実に利用し、果実の成熟と成分変動の網羅的な関連性を調べ、どの成熟段階でどのような成分が高蓄積し、それと官能的な“食べごろ”との関係を考察することとした。

トマトは、エチレンの生成および受容により果実成熟が起こる典型的なクライマクテリック果実であり、エチレンの生成および受容に関する転写因子が機能しない変異体も見出されている。本研究では、成熟中およびポストハーベストにおける植物生理状態を考慮した成分変動について考慮し、これらの変異体果実を用いて、各種トマト果実成分の変動がエチレン生成および受容に関して変動するののかも検証することとした。

2. 研究の方法

2-1. 実験サンプル

官能評価および成分分析には、ミニトマト種であるキャロル 10（株サカタのタネ）を用いた。トマト農家で温度制御されたグリーンハウスにて、一定条件下、水耕栽培

により生育した。このトマトは、実際市場で販売されているものである。受粉後、約 35 日の果実（グリーン段階）、約 40 日の果実（イエロー段階）、イエロー段階から 1, 2 日過ぎた果実（オレンジ段階）、イエロー段階から 6 日後の果実（レッド段階）、レッドの果実を収穫し、室温で 7 日後の果実（過熟段階）の計 5 成熟段階の果実をサンプルとした。エチレン変異体（nor, rin, Nr およびコントロール）については、Rutgers 種の種を C.M.Rick Tomato Genomics Resource Center (University of California, Davis, CA) より取り寄せ、キャロル 10 と同様に生育した。受粉後 35 日（グリーン段階に相当）のものと 50-55 日のもの（コントロールがレッド段階相当）をサンプルとした。成分分析サンプルには 3 個体～5 個体を 1 組とし、3 組調製した。

2-2. 官能評価

官能評価のパネルは、五基準味を使った識別テスト、においの識別テストについて日本官能評価学会が作成した官能評価士テキストに基づき選抜した。合格したパネル 30 名（19-22 歳）を選抜し、パネルとした。サンプルは、成熟段階の異なるキャロル 10 ミニトマトを用いた。予備実験においてトマト果実を直接評価すると、色や食感、成熟段階におけるゼリー部と果肉の比率の変化などが大きく影響を与え、微妙な差を見出すことができなかった。そのため、色および食感の要因を排除するため、各成熟段階のトマトをジュースにてジュースにし（トマト 100 g に対し水 200mL を加えた）、目隠しのコップに入れて、評価することとした。オレンジ段階のトマトで調製したジュースを使って、トマトの性質についての項目を作成し、基準合わせを行った。本試験では、室温（23-25℃）にて、トマトジュースを提供し、7 点評点法により強さと好ましさにについて評価した。なお、サンプル間では水を自由摂取とし、トマトサンプルはできるだけ飲み込まず吐き出してもらうこととした。評価項目は、“甘味”、“酸味”、“苦味”、“うま味”、“熟したトマト味”、“青臭い香り”、“熟したトマトの香り”については、「強さ」と「好ましき」をそれぞれ評価し、トマトとしての“総合的な好ましき”を追加した。

2-3. 各種トマトに含まれる生体成分（有機化合物）の 同定と定量分析

トマトに含まれる有機化合物については、糖やアミノ酸などの一次代謝物は、TMS 誘導体化後、GC-MS で

分析した。二次代謝物のうち、揮発性成分については、SPME-GC-MS で分析した。不揮発性成分(中極性物質)は、LC-ESI-MS 法で分析を行い、カロテノイドなどの低極性物質は、LC-APCI-MS 法で分析を行った。各成分の同定および定量は、標準品を用いて作成した検量線に従った。各化合物の標準品は、共同研究先である(財)かずさ DNA 研究所産業基盤開発研究部より提供をうけ、同定、定量に用いた。また、標準品のないものは、推定成分として、入手可能な類似化合物を用いて(例えば、未知グリコアルカロイドであれば、トマチンを用いるなど)、暫定的な定量値を算出した。各詳細な分析条件は以下のとおりである。また、検出した成分類は Table 2 に示した。合計で 154 成分を同定または推定し、解析に用いた。

2-3-1. 一次代謝物の GC-MS による分析

凍結粉碎トマト果実 100 mg を 2 mL のエッペンチューブに溶かさないように測り取り、300 μ L のメタノールおよび内部標準として 0.2 mg/mL H_2O のリピトール 50 μ L を加え、ジルコニアビーズを入れたのち、Tissue Lyser にて成分抽出した (25 Freq $\times$ 2 min)。水 200 μ L を加え、クロロホルム 600 μ L を加えたのち、ボルテックスにて攪拌し、遠心分離を行った (15,000 rpm $\times$ 10 min)。上清を新しいエッペンチューブに移し、残さに水 300 μ L を加え、同様に抽出を行った。集めた上清のうち 100 μ L を 1.5 mL のエッペンチューブに移し、遠心エバポレーターで乾燥した。メトキシアミン塩酸塩ピリジン溶液 (20 mg/mL ピリジン) を 40 μ L 使用し、サンプルを 37 $^{\circ}$ C で 90 min インキュベートした (メトキシ化処理)。次に、N-methyl-N-(trimethylsilyl) trifluoroacetamide (MSTFA) 溶液 (sigma-aldrich, M7891) を 50 μ L 加え、37 $^{\circ}$ C で 30 min 誘導化処理をした。GC-MS の装置は、Agilent 6890 GC-Agilent 5975 を用いた。条件は以下の通りである； カラム：HP-5 (内径 0.25 mm, 長さ 30 m, 膜厚 0.25 μ m), 注入口温度：250 $^{\circ}$ C, 注入法：split (10 : 1), オープン温度：60 $^{\circ}$ C (1min hold) -10 $^{\circ}$ C /min-325 $^{\circ}$ C (10 min), He 流量：1.1 mL/min, トランスファーライン：290 $^{\circ}$ C, イオン源：250 $^{\circ}$ C, 四重極温度：150 $^{\circ}$ C。各種標準品は、水溶液またはメタノール溶液を異なる濃度で用意し、トマトサンプルの代わりに 100 μ L を用いてトマトサンプルの場合と同様に誘導体化処理して分析を行った。

2-3-2. 中極性二次代謝物の LC-MS による分析

凍結粉碎トマト果実 100 mg に対し、300 μ L のメタノール (内部標準として formononetin 20 μ g/mL 含む) を加え、ジルコニアビーズをいれて、Tissue Lyser にて成分抽出した (25 Freq $\times$ 2 min) にて抽出した。遠心分離後、上清を取り除き、再度同様に抽出した。上清を合わせ、フィルター過後、LC-MS に供した。LC-MS 装置は、Waters UPLC ACQUITY -Micromass LCT premier (UPLC-TOF-MS) を用いた。ESI- ポジティブおよびネガティブモードで分析を行った。条件は以下の通りである；

カラム：ACQUITY UPLC BEH-C18 (内径 2.1mm, 長さ 150mm, 粒径 1.7 μ m), グラジエント条件：0.1% ギ酸 / 水溶液 (A) と 0.1% ギ酸 / アセトニトリル溶液 (B) を用いた。A : 99% (0-1min hold), 80% (1-10min, gradient), 50% (10-20min, gradient), 5% (20-30min, gradient), 3% (30-35min, hold)。流速：0.3mL/min, カラムオープン温度：40 $^{\circ}$ C, Capillary 電圧：3000V, Sample Cone: 50V, Desolvation 温度：320 $^{\circ}$ C, Source 温度：120 $^{\circ}$ C。ポジティブモード、ネガティブモードとも同条件で行った。質量精度は Leucine enkephalin によって補正した。化合物の同定・推定は、標準品および筆者らが作成したトマト代謝物データベースを用いた。

2-3-3. 揮発性成分の GC-MS による分析

凍結粉碎トマト果実 1 g を 20 mL スクリューバイヤルに測りとり、 $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 1.5g および 100 m M EDTA-NaOH 溶液 (pH 7.5) を 1 mL 加えた。内部標準として、50 μ g/mL nonanol を 3 μ L 加えた。3 分間超音波処理を行った。そのうち 2 mL を香気捕集用バイヤルに移し、スターラーを入れ、50 $^{\circ}$ C で 10min 攪拌しながら放置した。その後 SPME ファイバー (PDMS/DVD, Spelco 57310) を刺し、香気捕集を行った (20min, 50 $^{\circ}$ C)。香気捕集した SPME ファイバーは、GC-MS に直接インジェクションし、分析を行った。GC-MS 条件は以下のとおりである。GC 装置およびカラムは一次代謝成分分析 (A) と同様。注入口温度：250 $^{\circ}$ C, 注入法：splitless, オープン温度：40 $^{\circ}$ C (2 min hold) -5 $^{\circ}$ C /min-180 $^{\circ}$ C (0min) -250 $^{\circ}$ C (3min hold), He 流量：1.0mL/min, トランスファーライン：200 $^{\circ}$ C。イオン源：200 $^{\circ}$ C, 四重極温度：150 $^{\circ}$ C。各種標準品は段階に希釈し、トマトサンプルの代わりに蒸留水 1 g を使って、サンプルと同様に SPME 捕集を行い、検量線を作成した。

2-3-4. カロテノイド類の LC-MS による分析

凍結粉碎トマト果実 50mg に対し、100mM Tris-HCl (pH8.0) 100 μ L, $CHCl_3$: MeOH (3 : 1) 500 μ L および内部標準として astaxanthin (10 μ g/mL) 10 μ L を加えて、ジルコニアビーズを入れたのち Tissue Lyser (Qiagen) にて粉碎抽出した。遠心分離後、下層を別のチューブに移し、残さに再度 $CHCl_3$: MeOH (3 : 1) 0.3 mL を加え、同様に粉碎抽出したのち遠心分離し、下層を合わせた。予備実験において、ケン化したものとケン化しないものを比較したが、差がみられなかったため、この抽出液を直接 LC-MS 分析に供した。APCI- ポジティブモードで分析を行った。LC-MS 装置は、Agilent 1100 series, Finnigan LTQ-FT-MS (Thermo Fisher Scientific) を用いた。条件は以下の通りである； カラム：C30 (YMC carotenoid S-5; Waters) (内径 4.6 mm, 長さ 250 mm, 粒径 5 μ m), グラジエント条件：メタノール / 水 (95/5) 溶液 (A) と、メタノール / メチル tert-ブチルエーテル (30:70) 溶液 (B) を用いた。A : 100% (0-2min hold), 0% (2-25 min, gradient), 0%

(25-40 min, hold). 流速: 0.8 mL/min, カラムオープン温度: 30℃, Source voltage: 6 kV, Source current: 3 uA, Capillary 温度: 200℃, Vaporizer 温度: 375℃. 各成分は, 標品または精密質量値による組成式, UV/Vis パターンより同定した.

2-3-5. 各質量分析計で検出したピークイオン (m/z) のデコンボリューション, ピークアライメントおよび定量

各分析において取得したデータで検出したピークイオン (m/z) のデコンボリューションとピークアライメントは, MetAlign (一次代謝物, 中極性二次代謝物, 揮発性成分) を用いた. また, GC-MS データ (一次代謝物, 揮発性成分) については, AMDIS も用いてデコンボリューションした後, 成分同定を行った. 定量は, 各成分に特徴的なシングルイオン (m/z) を用いて, 検量線から算出した.

2-4. 統計解析

一元配置の分散分析, 主成分分析, 相関解析については, エクセル統計ソフトウェアを用いた. BL-SOM (一括学習型自己組織化マップ) は, Simple SOM (<http://kanaya.aist-nara.ac.jp/SOM/>) を用いた.

3. 研究の実施結果と考察

3-1. 官能評価結果

官能評価の結果を Figure 1 に示す. それぞれの項目について, 一元配置の分散分析を行った. いずれの項目においても「好ましさ」については, 成熟に従い, 明らかに増していくことが分かった. ただし, レッド段階と過熟段階では, 有意差なくいずれも好ましく, また, 各項目の「強さ」についても差がみられなかった. よって, 未熟な段階から赤色になるまでの変化がトマトのおいしさに関与することが推測された. 「苦味」と「青臭い香り」は成熟に従って弱くなる傾向があり, それに反して「甘味」, 「うま味」が増加した. 一方, 「酸味」については, イエロー段階とオレンジ段階では, 有意に他の段階よりも強い傾向にあった. 官能評価における各項目の「強さ」と「好ましさ」の相関について Table 1 に示した. 甘味やうま味は, 好ましさについて正の相関があるのに対し, 酸味や苦味は, 負の相関を示した. これらの結果から, 食べごろの好ましいトマトは, 「甘味」「うま味」「熟した香り」「熟した味」が強いほうが好ましく, 「酸っぱい味」「苦味」「青臭い香り」が弱いことが好ましいことが分かった.

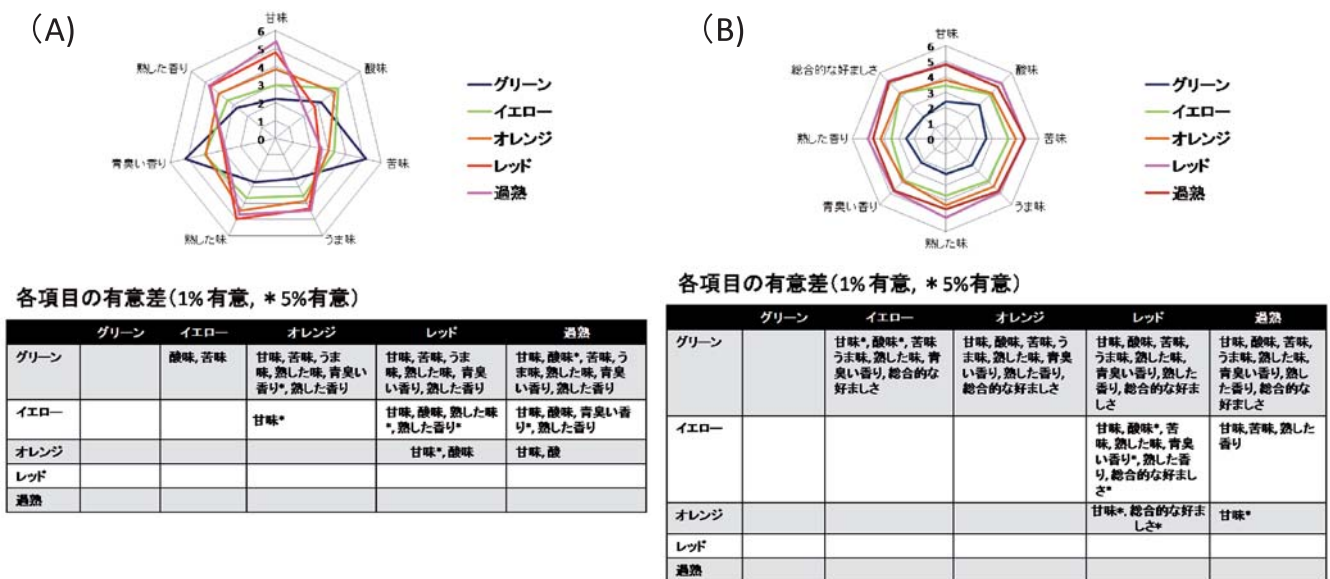


Figure 1. 成熟段階の異なるトマトの官能評価の結果

(A) 各項目に対する強さ (B) 各項目に対する好ましさ

Table 1. 官能評価における各項目の「強さ」と「好ましさ」の相関分析

		好ましさ						
		甘味	酸味	苦味	うま味	熟した味	青臭い香り	熟したトマトの香り
相関	甘味	0.746	0.467	0.490	0.558	0.590	0.551	0.594
	酸味	-0.350	-0.290	-0.269	-0.237	-0.262	-0.289	-0.242
	苦味	-0.449	-0.371	-0.636	-0.422	-0.476	-0.539	-0.385
	うま味	0.549	0.466	0.391	0.805	0.554	0.431	0.524
	熟した味	0.508	0.567	0.473	0.651	0.776	0.503	0.673
	青臭い香り	-0.437	-0.289	-0.457	-0.415	-0.554	-0.639	-0.415
熟したトマトの香り		0.494	0.438	0.381	0.593	0.556	0.488	0.782
								0.678

3-2. 果実の成熟と成分変動

トマトに含まれる成分については網羅的分析に関する報告がすでにいくつかあり、糖やアミノ酸などの一次代謝物については、Schauer らの報告 (Schauer et al., 2005)、二次代謝物については我々の報告 (Iijima et al., 2008)、香氣成分については、Tikunov らの報告 (Tikunov et al., 2005) を参考にし、各成分が今回使用した Carol10 に含まれているかどうか、どの程度含まれているのかを調べた。各成分と定量値を Table 2 に示した。一次代謝物群を 43 種、揮発性成分群を 27 種検出した。また、二次代謝物群として、カロテノイドを 10 種、フラボノイドを 14 種、カフェオイルキナ酸類を 7 種、グリコアルカロイドを 35 種検出した。それ以外の成分を含め、合計で 154 種の成分を同定または推定し、後の解析に用いた。定量値は、各標準品を用いて検量線を作成し、絶対定量を行った。各成分間では、量的なダイナミックレンジが大きいため (ng/g fw. ~ μg/g fw.), 各成分の数値は、それぞれ 5 つの成熟段階で最も多く含まれた段階の含量を 1 となるように補正してから解析に用いた。主成分分析の結果を Figure 2 に示す。第一主成分 39.8%, 第二主成分 35.7% で 5 段階のトマトを判別することができた。官能評価では差がみられなかったが、成分組成からはレッド段階と過熟段階も判別が可能であった。各成分の成熟中の挙動について、成分群別に分けて Figure 3 に示した。アミノ酸・アミン類では、成熟に従い現象し、収穫後に増大するという傾向を示すものが多かった。これは、収穫後生理が影響していることが考えられ、今後詳細に検討する必要がある。揮発性成分については、グリーン段階から一定量存在する成分群と成熟に伴い生成する成分群に分別された。カロテノイド群、カフェ酸関連成分群、ナリンゲニン・エリオジクチオール群は、いくつか例外はあるものの、果実の成熟に伴い増加する傾向を示すものが多かった。一方、グリコアルカロイド群は、他の成分群とは挙動が異なり、イエロー段階またはオレンジ段階で蓄積がピークになるものが多く存在した。我々のこれまでの研究で (Iijima et al., 2009), グリコアルカロイドは、成熟が進むにつれて、分子量が小さい成分より大きい成分の蓄積が増加してくることが分かっている。これは、成熟によって水酸化や配糖化などの多段階の修飾反応が徐々に進むためである。例えば、トマトの主要なグリコアルカロイドである α -Tomatine は、成熟に伴い消失し、その代わりに Esculeoside A が増大する。Esculeoside A は、 α -Tomatine が異性化し、さらに二か所の水酸基、一か所のアセチル基とグルコースが付加したものである。また、その中間体と推定される成分がイエロー段階・オレンジ段階で蓄積することが分かっている。よって他のグリコアルカロイドについても、成熟中に様々な修飾反応が進み、その中間物が成熟途中のイエロー段階、オレンジ段階で一時的に蓄積するものではないかと推測した。

3-3. BL-SOM による果実の成熟における挙動に着目した成分の分類

成熟における各成分の量的挙動パターンを基に、BL-SOM により、類似パターンを示す成分のグルーピングをおこなった。7 × 6 (X 軸 × Y 軸) の設定により、38 グループに分類することができた (Table 2)。各成熟段階における各グループの挙動について Figure 4 に示した。各グループについて、全段階の [平均値 + 標準偏差] よりも大きい場合は赤色で、[平均値 - 標準偏差] よりも小さい場合を青色で示しており、色の濃淡は値の大きさを示している。グリーンおよびイエロー段階では、マップの左側に赤色が多いのに対し、成熟に従って図の右側に赤色がシフトしていることが分かった。特に、オレンジ段階では、前後の二段階とは明らかにことなるプロファイルを示し、最も成分の変動が激しい段階であることが分かった。一方、レッド段階と過熟段階ではそのプロファイルはよく類似しており、あまり大きな変動が起こらないことが分かった。各グループに属する成分について詳細にみると、代謝パスウェイにおいて関連するいくつかの成分が連動して動いていることが分かった。例えば、香氣成分である Citral や 6-Methyl-5-hepten-2-one は、Lycopene の酵素的酸化分解により生じるが、これらの化合物はほとんど同じグループに属し、それらの成熟における挙動もほぼ同じであった (Figure 5)。それ以外にも、カフェ酸関連化合物群、フラボノイド群で同様な傾向がみられた。

3-4. 官能評価の結果と蓄積成分の相関

官能評価における“総合的な好ましき”と成熟中に生成する成分群間での相関分析を行った。各成熟段階における官能評価結果のスコアと各成分の蓄積量を用い、相関の高い成分群を Table 4 に示した。強い正の相関を示した成分には、(Z)-3-Hexenal, Glutathione, Glutamate などがあり、これらの成分が多いほどトマト果実が総合的に好ましいと考えられた。特に、(Z)-3-Hexenal は緑の香りを示す重要な香氣成分であり、トマトの成熟とともに顕著に増加する成分の一つである。(Z)-3-Hexenal は、官能評価では“青臭い”と評されることが多いが、本研究でのトマトの官能評価の“青臭い香り”の項目とは、負の相関を示した。この理由としては、トマト果実の“青臭い香り”には、(Z)-3-Hexenal 以外の成分が関与しているか、または、成熟により増加する (Z)-3-Hexenal を他の香氣成分が香り上でカバーしている可能性が考えられる。また、Glutamate は、トマトのうま味成分として知られる成分であるが、今研究においても、トマトの好ましきの指標として重要な因子成分であることが確認できた。

一方、負の相関が高いものには Aconitic acid, Tryptamine, GABA やクロロフィル類などが挙げられた。これらはいずれもグリーン段階で蓄積が多い成分群であり、成熟に伴い減少する成分である。また、絶対量も考慮すると、GABA やクロロフィル類、 α -Tomatine の影響が大きいと考えられた。 α -Tomatine は苦味を有すると

Table 2. 各成熟段階のトマトで検出した成分と定量値

化合物名	成分分類	分析装置	化合物の同定	検量線に用いた標品	単位	グリーン			イェロー			オレンジ			レッド			過熟		
						平均値	±SD	(N=3)	平均値	±SD	(N=3)	平均値	±SD	(N=3)	平均値	±SD	(N=3)	平均値	±SD	(N=3)
1	Alanine		同定	alanine	μmol/g	2.99	0.32	2.06	0.45	1.43	0.25	2.02	0.35	2.08	0.65					
2	Asparagine		同定	asparagine	μmol/g	94.03	12.53	14.79	4.52	5.95	1.25	5.49	1.25	0.00	0.00					
3	Aspartic acid		同定	aspartic acid	μmol/g	5.21	1.35	4.74	1.52	4.35	1.52	16.20	2.65	25.48	5.23					
4	Glutamine		同定	glutamine	μmol/g	169.38	12.35	43.61	10.25	23.75	3.67	14.42	1.35	19.49	3.65					
5	Glutamate		同定	glutamate	μmol/g	4.76	1.23	24.69	1.65	42.14	5.63	52.30	8.25	61.01	10.32					
6	Glycine		同定	glycine	μmol/g	9.74	2.35	2.70	0.32	2.14	0.24	2.53	0.27	4.89	1.85					
7	Leucine		同定	leucine	μmol/g	4.02	1.35	1.22	0.23	1.08	0.35	1.83	0.19	3.87	0.65					
8	Isoleucine		同定	isoleucine	μmol/g	6.76	1.65	1.23	0.45	0.79	0.15	1.15	0.35	3.04	0.98					
9	Lysine		同定	lysine	μmol/g	1.43	0.35	0.99	0.02	0.61	0.08	1.02	0.24	0.98	0.16					
10	Methionine		同定	methionine	μmol/g	0.93	0.16	0.96	0.05	0.81	0.21	0.40	0.18	0.67	0.25					
11	Ornithine		同定	ornithine	μmol/g	0.05	0.01	0.02	0.00	0.05	0.01	0.10	0.00	0.28	0.01					
12	Proline		同定	proline	μmol/g	2.95	0.26	1.46	0.35	3.24	0.35	6.25	1.98	17.61	2.98					
13	Hydroxyproline		同定	hydroxyproline	μmol/g	0.00	0.00	6.70	0.45	13.80	1.27	18.24	2.65	30.57	7.52					
14	Phenylalanine		同定	phenylalanine	μmol/g	8.16	0.26	2.36	0.65	1.53	0.14	3.25	1.36	5.15	1.35					
15	Serine		同定	serine	μmol/g	44.86	4.56	18.02	2.35	3.95	0.58	4.58	1.87	8.05	2.65					
16	Threonine		同定	threonine	μmol/g	51.71	10.35	16.37	4.25	5.87	1.25	15.02	2.65	31.05	12.52					
17	Tryptophan		同定	tryptophan	μmol/g	0.89	0.13	1.13	0.20	1.11	0.23	1.02	0.28	1.28	0.28					
18	Tyrosine		同定	tyrosine	μmol/g	5.22	1.65	0.53	0.10	0.38	0.12	0.66	0.18	1.40	0.45					
19	Valine		同定	Valine	μmol/g	9.39	1.95	1.75	0.32	1.11	0.15	1.45	0.26	3.10	1.65					
20	Cysteine		同定	cysteine	μmol/g	0.02	0.00	0.03	0.00	0.06	0.01	0.05	0.00	0.06	0.02					
21	GABA		同定	GABA	μmol/g	36.83	6.54	22.21	5.32	19.51	3.95	13.02	2.52	14.28	5.35					
22	Histamine		同定	Histamine	μmol/g	7.05	2.54	2.44	0.32	10.84	3.52	4.25	1.26	8.79	2.38					
23	Putrescine		同定	putrescine	μmol/g	1.25	0.25	1.40	0.15	1.88	0.23	1.38	0.25	1.94	0.98					
24	Tryptamine		同定	tryptamine	μmol/g	2.35	1.65	1.27	0.35	1.28	0.13	0.85	0.15	0.96	0.02					
25	Aconitic acid		同定	aconitate	μmol/g	0.24	0.11	0.19	0.00	0.19	0.05	0.17	0.10	0.17	0.09					
26	Citramalic acid		同定	Citramalate	μmol/g	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.01					
27	Citric acid		同定	citrate	μmol/g	26.69	3.25	24.79	5.23	25.05	4.52	25.30	5.98	25.21	5.26					
28	Fumaric acid		同定	fumarate	μmol/g	0.21	0.10	0.29	0.00	0.25	0.12	0.19	0.18	0.15	0.09					
29	Galacturonic acid		同定	galacturonate	μmol/g	0.49	0.21	1.18	0.35	1.67	0.36	1.62	4.85	6.24	1.65					
30	Malic acid		同定	malate	μmol/g	16.14	1.25	14.79	5.32	12.86	2.32	10.20	1.65	9.85	2.96					
31	Succinic acid		同定	succinate	μmol/g	0.76	0.21	0.86	0.23	0.74	0.15	0.85	0.18	0.78	0.21					
32	citraconic acid		同定	citraconate	μmol/g	0.00	0.00	0.14	0.07	0.16	0.03	0.16	0.08	0.12	0.00					
33	alpha-Ketoglutaric acid		同定	alpha-Ketoglutaric acid	μmol/g	0.72	0.35	0.92	0.12	1.13	0.35	0.98	0.19	1.26	0.26					
34	Gluconic acid		同定	Gluconic acid	μmol/g	0.03	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00					
35	Pyruvic acid		同定	pyruvic acid	μmol/g	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.08	0.05	0.06	0.01					
36	Oxalic acid		同定	oxalic acid	μmol/g	0.20	0.25	0.19	0.01	0.27	0.12	0.25	0.15	0.26	0.05					
37	Fructose		同定	fructose	μmol/g	89.90	10.32	95.30	5.26	102.50	25.23	139.10	19.54	142.50	25.65					
38	Glucose		同定	glucose	μmol/g	74.60	13.21	72.40	5.85	70.20	10.24	50.55	12.05	65.20	4.65					
39	Sucrose		同定	sucrose	μmol/g	12.60	1.35	10.52	1.35	3.48	3.98	9.95	2.65	12.35	2.52					
40	myo-Inositol		同定	myo-inositol	μmol/g	15.50	3.52	10.24	2.35	10.51	3.98	11.21	3.19	11.59	3.56					
41	Threitol		同定	threitol	μmol/g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.14	0.23	0.14	0.00	0.00					
42	Sorbitol		同定	sorbitol	μmol/g	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.05	0.01	0.07	0.00					
43	Urea		同定	urea	μmol/g	2.09	0.32	3.99	0.65	2.95	0.65	1.86	0.34	1.95	0.65					
44	2-Butanone		同定	2-butanone	mmol/g	0.04	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.03					
45	Isovaleraldehyde		同定	isovaleraldehyde	μmol/g	0.01	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.12	0.05	0.15	0.05					
46	2-Methylbutanol		同定	2-methylbutanol	μmol/g	0.00	0.00	0.23	0.05	0.33	0.12	1.41	0.20	1.83	0.50					
47	2-Methylpentanol		同定	2-methylpentanol	μmol/g	0.06	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00					
48	(Z)-3-Hexenal		同定	(Z)-3-hexenal	μmol/g	6.04	1.23	26.04	0.35	23.89	5.21	28.03	3.65	30.25	3.65					
49	Butylacetate		同定	butylacetate	μmol/g	0.08	0.11	0.07	0.12	0.07	0.00	0.06	0.01	0.06	0.02					
50	(E)-2-Hexenal		同定	(E)-2-hexenal	μmol/g	0.22	0.10	1.40	0.25	0.98	0.24	1.75	0.23	1.33	0.12					
51	2-Methylbutylacetate		同定	2-methylbutylacetate	μmol/g	0.00	0.00	0.04	0.02	0.05	0.00	0.14	0.08	0.17	0.05					
52	Anilnitrile		同定	anilnitrile	μmol/g	0.00	0.00	0.19	0.05	0.21	0.03	0.83	0.16	0.57	0.12					
53	3-Methyl-2-butenyl acetate		同定	3-methyl-2-butenyl acetate	μmol/g	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04	0.01					
54	4-Methyl-2-heptanone		同定	4-methyl-2-heptanone	μmol/g	0.27	0.02	0.28	0.05	0.28	0.05	0.25	0.15	0.28	0.13					
55	Camphene		同定	Camphene	μmol/g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
56	2,4-Dimethyl-3-heptanone		同定	2,4-dimethyl-3-heptanone	μmol/g	0.02	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.03	0.01					
57	6-Methyl-5-heptene-2-one		同定	6-methyl-5-heptene-2-one	μmol/g	0.00	0.00	0.12	0.05	0.19	0.04	1.04	0.26	1.52	0.23					
58	Octanal		同定	octanal	μmol/g	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00					
59	Isobutylthiazole		同定	isobutylthiazole	μmol/g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
60	trans-2-Octenal		同定	trans-2-octenal	μmol/g	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00					

61	Linolool	volatile	GC-MS	同定	linolool	nmol/g	0.20	0.03	0.16	0.05	0.17	0.05	0.15	0.06	0.17	0.05
62	Camphor	volatile	GC-MS	同定	camphor	nmol/g	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.05	0.01
63	Methylsalicylate	volatile	GC-MS	同定	methylsalicylate	nmol/g	0.15	0.03	0.05	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.05	0.01
64	alpha-Terpineol	volatile	GC-MS	同定	a-terpineol	nmol/g	0.20	0.05	0.16	0.02	0.18	0.03	0.12	0.05	0.14	0.02
65	cis-Citral	volatile	GC-MS	同定	cis-citral	nmol/g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00
66	trans-Citral	volatile	GC-MS	同定	trans-citral	nmol/g	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.17	0.06	0.22	0.13
67	Eugenol	volatile	GC-MS	同定	eugenol	nmol/g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
68	Geraniol	volatile	GC-MS	同定	geraniol	nmol/g	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
69	Geranylacetone	volatile	GC-MS	同定	geranylacetone	nmol/g	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.05	0.00
70	trans-2-Heptenal	volatile	GC-MS	同定	trans-2-heptenal	nmol/g	0.03	0.00	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00
71	Phytoene	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	同定	lycopene	nmol/g	0.00	0.00	3.85	0.54	15.61	4.25	50.00	12.52	42.35	8.23
72	Phytofluene	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	lycopene	nmol/g	0.03	0.10	0.32	0.01	1.74	0.25	3.23	1.36	3.85	0.56
73	ζ-Carotene	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	lycopene	nmol/g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.07	2.71	0.89	5.27	1.26
74	beta-Carotene	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	lycopene	nmol/g	6.51	0.66	31.14	5.23	46.57	10.25	25.90	3.52	20.15	3.54
75	alpha-Carotene	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	lycopene	nmol/g	0.21	0.02	2.06	0.52	2.17	0.31	1.36	0.15	0.87	0.15
76	delta-Carotene	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	lycopene	nmol/g	0.60	0.60	1.95	0.35	1.70	0.25	0.74	0.24	0.93	0.35
77	trans-Lycopene	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	同定	lycopene	nmol/g	0.00	0.00	15.05	2.54	82.24	15.26	250.00	65.21	342.55	43.25
78	Lutein	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	同定	lutein	nmol/g	75.96	5.26	57.43	5.32	47.32	10.25	27.71	5.26	20.15	2.38
79	Violaxanthin	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	zeaxanthin	nmol/g	14.81	1.48	34.42	10.24	22.50	6.35	6.65	1.36	7.65	1.98
80	Neoxanthin	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	zeaxanthin	nmol/g	9.31	2.63	9.85	2.35	5.39	2.15	0.85	0.25	0.56	0.25
81	Plastoquinone	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	推定	ubiquinone-10	nmol/g	1.96	0.25	2.34	0.45	3.99	1.20	3.55	0.98	3.52	1.25
82	Ubiquinone-10	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	同定	ubiquinone-10	nmol/g	1.20	0.01	1.17	0.32	0.55	0.12	1.20	0.65	2.45	0.18
83	alpha-Tocopherol	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	同定	a-tocopherol	nmol/g	11.31	0.23	19.45	5.23	18.90	3.52	13.40	3.25	15.23	1.35
84	Chlorophyll-a	Secondary (non-polar)	LC-APCI-MS	同定	chlorophyll-a	nmol/g	28.47	5.23	15.53	2.35	3.38	0.52	0.26	0.15	0.13	0.02
85	Chlorophyll-b	Secondary (non-polar)	LC	同定	chlorophyll-b	nmol/g	10.60	2.53	4.69	2.25	1.12	0.02	0.11	0.05	0.00	0.00
86	L-Glutathione	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	L-Glutathione	nmol/g	612.23	35.21	796.53	158.20	918.97	105.25	1051.52	135.68	960.00	168.25
87	NAD	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	NAD	nmol/g	12.00	0.32	15.00	2.54	12.00	0.35	10.00	2.36	89.00	15.23
88	Caffeic acid 3-glucoside	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	caffeic acid	nmol/g	0.48	0.01	0.69	0.13	1.48	0.25	0.88	0.27	0.93	0.25
89	Caffeic acid-glucose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	caffeic acid	nmol/g	0.45	0.03	0.40	0.15	0.81	0.14	0.86	0.35	1.37	0.23
90	5-Caffeoylquinic acid	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	3-caffeoylquinic acid	nmol/g	37.28	2.54	68.06	10.25	87.49	10.65	61.97	21.35	9.88	2.65
91	Dicaffeoylquinic acid	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	3-caffeoylquinic acid	nmol/g	0.40	0.02	0.45	0.12	0.54	0.12	1.53	0.15	2.39	1.52
92	3,4-Dicaffeoylquinic acid	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	3-caffeoylquinic acid	nmol/g	0.45	0.15	0.52	0.13	1.85	0.27	2.55	1.23	1.49	0.89
93	4,5-Dicaffeoylquinic acid	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	3-caffeoylquinic acid	nmol/g	0.40	0.18	2.83	0.52	9.81	3.52	10.16	3.68	2.70	1.28
94	3,4,5-Tricaffeoylquinic acid	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	3-caffeoylquinic acid	nmol/g	0.40	0.25	0.95	0.25	4.67	1.20	7.87	2.56	3.57	1.58
95	Quercetin 3-O-glucoside	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	rutin	nmol/g	0.12	0.01	0.10	0.00	0.22	0.20	0.32	0.15	0.15	0.01
96	Quercetin 3-O-rutinoside (rutin)	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	rutin	nmol/g	31.15	4.25	38.18	5.25	54.59	6.28	75.00	16.59	61.81	15.23
97	Quercetin-hexose-deoxyhexose, -hexose, -pentose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	rutin	nmol/g	0.18	0.02	0.31	0.12	0.26	0.12	0.24	0.12	0.20	0.10
98	Quercetin 3-O-rutinoside-7-O-glucoside	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	rutin	nmol/g	0.36	0.05	1.26	0.21	2.52	0.59	4.74	0.57	8.65	1.58
99	Quercetin-hexose-deoxyhexose, -pentose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	rutin	nmol/g	11.45	1.23	16.40	2.54	8.69	3.25	6.36	0.78	4.61	1.35
100	Quercetin-hexose-deoxyhexose, -hexose, -C10H8O3 (1)	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	rutin	nmol/g	0.12	0.05	0.10	0.00	0.19	0.00	0.24	0.15	0.73	0.05
101	Quercetin-hexose-deoxyhexose, -hexose, -C9H6O2 (14)	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	rutin	nmol/g	0.15	0.01	0.68	0.12	1.17	0.35	1.27	0.36	1.14	0.15
102	Quercetin-hexose-deoxyhexose, -hexose-C9H10O2 (15)	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	rutin	nmol/g	0.28	0.12	0.53	0.15	0.43	0.01	0.45	0.15	0.38	0.15
103	Kaempferol 3,7-di-O-glucoside	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	rutin	nmol/g	0.12	0.02	0.10	0.03	0.12	0.02	0.17	0.15	0.91	0.25
104	Kaempferol-hexose-deoxyhexose, -pentose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	rutin	nmol/g	7.85	0.52	9.34	2.21	6.28	2.15	6.83	2.65	4.47	1.35
105	Kaempferol 3-O-rutinoside	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	rutin	nmol/g	14.30	2.54	14.98	3.21	13.52	2.56	18.81	2.35	14.74	3.58
106	Kaempferol-hexose-deoxyhexose, -hexose-C9H6O2 (14)	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	rutin	nmol/g	0.29	0.01	0.55	1.25	1.09	0.25	1.60	0.26	1.45	0.28
107	EsculetideB-isomer	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.02	0.50	0.12	0.72	0.18	1.52	0.65	11.05	3.52
108	EsculetideA-isomer	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.33	0.10	10.20	2.32	0.34	0.17	15.09	3.65	13.82	2.32
109	Glycoalkaloid-1245	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.05	0.33	0.11	0.29	0.10	1.83	0.25	7.20	1.69
110	EsculetideB	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	esculetideA	nmol/g	0.12	0.03	0.10	0.09	0.36	0.12	0.62	0.16	0.98	0.25
111	Naringenin-C3H7O2NS	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	naringenin	nmol/g	0.17	0.05	0.14	0.02	0.47	0.14	2.51	1.35	1.96	0.50
112	Naringenin-C3H7O2NS	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	naringenin	nmol/g	0.14	0.04	0.34	0.12	3.98	1.25	7.25	3.65	0.95	0.25
113	Naringenin chalcone-hexose, -pentose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	naringenin	nmol/g	0.27	0.05	1.76	0.23	0.35	0.10	0.16	0.06	0.21	0.15
114	Naringenin 7-O-glucoside	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	Naringenin 7-O-glucoside	nmol/g	0.16	0.05	0.14	0.01	0.20	0.08	0.82	0.15	2.28	0.85
115	Naringenin chalcone-hexose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	naringenin	nmol/g	0.14	0.02	0.17	0.02	0.37	0.09	0.40	0.12	0.28	0.01
116	Naringenin chalcone-hexose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	naringenin	nmol/g	0.16	0.06	0.32	0.02	1.54	0.25	3.21	1.36	1.03	0.25
117	Naringenin chalcone	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	naringenin	nmol/g	0.26	0.04	188.24	15.23	291.22	42.52	269.19	16.85	48.45	12.32
118	Eriodictyol chalcone	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	naringenin	nmol/g	0.16	0.01	1.42	0.32	5.63	2.35	6.50	2.23	2.37	0.65
119	Eriodictyol 7-O-glucoside	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	naringenin	nmol/g	0.14	0.01	0.16	0.05	0.14	0.00	0.41	0.12	1.03	0.25
120	Glycoalkaloid-1269	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.03	3.60	1.23	7.36	1.35	4.10	2.32	0.31	0.15
121	EsculetideA-hexose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.33	0.02	0.29	0.05	0.65	0.12	0.71	0.13	0.77	0.25
122	DehydroesculetideA	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.01	3.75	1.25	16.22	3.65	10.56	2.35	8.85	3.25
123	Glycoalkaloid-1287	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.33	0.07	1.09	0.25	6.10	0.97	5.55	1.36	6.62	1.65
124	Glycoalkaloid-1300	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.05	1.10	0.21	6.82	0.87	4.15	1.35	3.04	1.59
125	EsculetideA	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	esculetideA	nmol/g	1.34	0.45	261.85	43.25	393.73	123.54	255.31	15.35	221.86	13.52

126	Lycoperside-C-OH	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.05	0.33	0.15	0.50	0.12	0.48	0.16	0.35	0.19
127	Glycoalkaloid-1068	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	2.65	0.65	5.90	1.25	3.38	0.35	4.03	1.35	3.52	1.30
128	Acetoxy-hydroxy-tomatine-1	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.33	0.10	1.10	0.25	0.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
129	Hydroxytomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.88	0.03	1.45	0.35	0.33	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
130	Dihydroxytomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.29	0.02	0.49	0.15	1.31	0.85	0.64	0.16	0.34	0.10
131	Acetoxy-hydroxy-dehydrotomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.01	0.65	0.25	0.58	0.15	0.33	0.12	0.31	0.05
132	hydroxytomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.93	0.12	3.52	0.95	1.89	0.25	2.10	0.65	1.72	0.45
133	Glycoalkaloid-1052	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.35	0.01	0.58	0.14	0.29	0.00	0.33	0.16	0.31	0.15
134	Acetoxy-hydroxy-tomatine-2	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	6.20	0.45	79.20	10.25	7.31	1.52	6.25	1.68	2.22	0.82
135	Glycoalkaloid-1122	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.29	0.01	0.41	0.14	1.18	0.62	1.70	0.45	1.49	0.23
136	Glycoalkaloid-1254	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.33	0.07	0.29	0.05	0.33	0.10	0.49	0.15	0.45	0.15
137	Glycoalkaloid-1362	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.65	0.09	1.16	0.35	0.76	0.12	0.70	0.12	0.55	0.16
138	Glycoalkaloid-1110	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	1.68	0.21	4.36	1.35	1.78	0.65	1.48	0.48	0.52	0.25
139	Glycoalkaloid-1044	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.46	0.02	0.73	0.15	0.43	0.15	0.39	0.15	0.31	0.16
140	Glycoalkaloid-1360	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	0.33	0.01	0.29	0.05	0.33	0.17	0.29	0.02	0.36	0.10
141	Glycoalkaloid-1046	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	esculetideA	nmol/g	1.85	0.45	2.55	0.85	1.94	0.29	1.59	0.26	0.99	0.23
142	Hydroxytomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	6.68	0.45	15.18	3.52	4.34	0.85	3.97	1.36	3.37	1.25
143	Glycoalkaloid-1062	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.51	0.01	0.66	0.15	0.29	0.01	0.33	0.15	0.31	0.01
144	Acetoxy-dehydrotomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	2.99	0.38	5.00	1.25	0.45	0.15	0.29	0.15	0.31	0.09
145	Dehydrotomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	23.51	5.24	25.53	5.26	3.34	1.25	1.92	0.13	0.53	0.15
146	Acetoxy-tomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	75.14	10.24	64.88	7.85	5.11	1.39	2.85	1.35	0.96	0.25
147	Tomatidine-4hexose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	12.43	1.52	12.54	2.35	0.86	0.15	0.37	0.15	0.31	0.12
148	Glycoalkaloid-1106	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.59	0.02	1.04	0.25	0.29	0.00	0.33	0.12	0.31	0.14
149	alpha-Tomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	同定	tomatine	nmol/g	361.71	40.35	285.54	31.52	21.41	3.52	12.99	2.36	3.07	1.25
150	tomatine-isomer	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	2.03	0.03	0.91	0.15	0.33	0.00	0.29	0.12	0.31	0.10
151	Glycoalkaloid-1004	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	2.92	0.45	1.64	0.35	0.29	0.00	0.33	0.16	0.31	0.15
152	Tomatidine-2hexose+2pentose	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	0.70	0.02	0.52	0.05	0.33	0.00	0.29	0.12	0.31	0.14
153	Glycoalkaloid-1048,5	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	1.24	0.31	1.75	0.25	0.80	0.15	0.77	0.20	0.65	0.23
154	Hydroxytomatine	Secondary (polar)	LC-ESI-MS	推定	tomatine	nmol/g	1.43	0.40	4.47	1.25	1.16	0.36	0.66	0.15	0.32	0.12

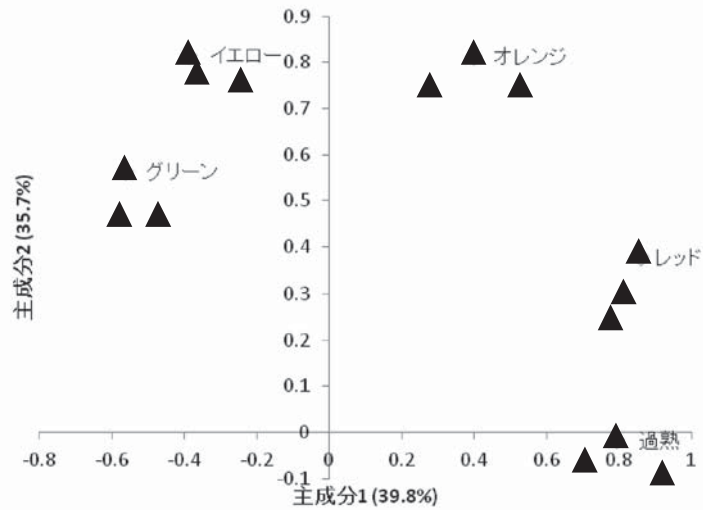


Figure 2. 成熟段階の異なるトマトで検出された化合物による主成分分析

Table 2 で検出した成分を使用.

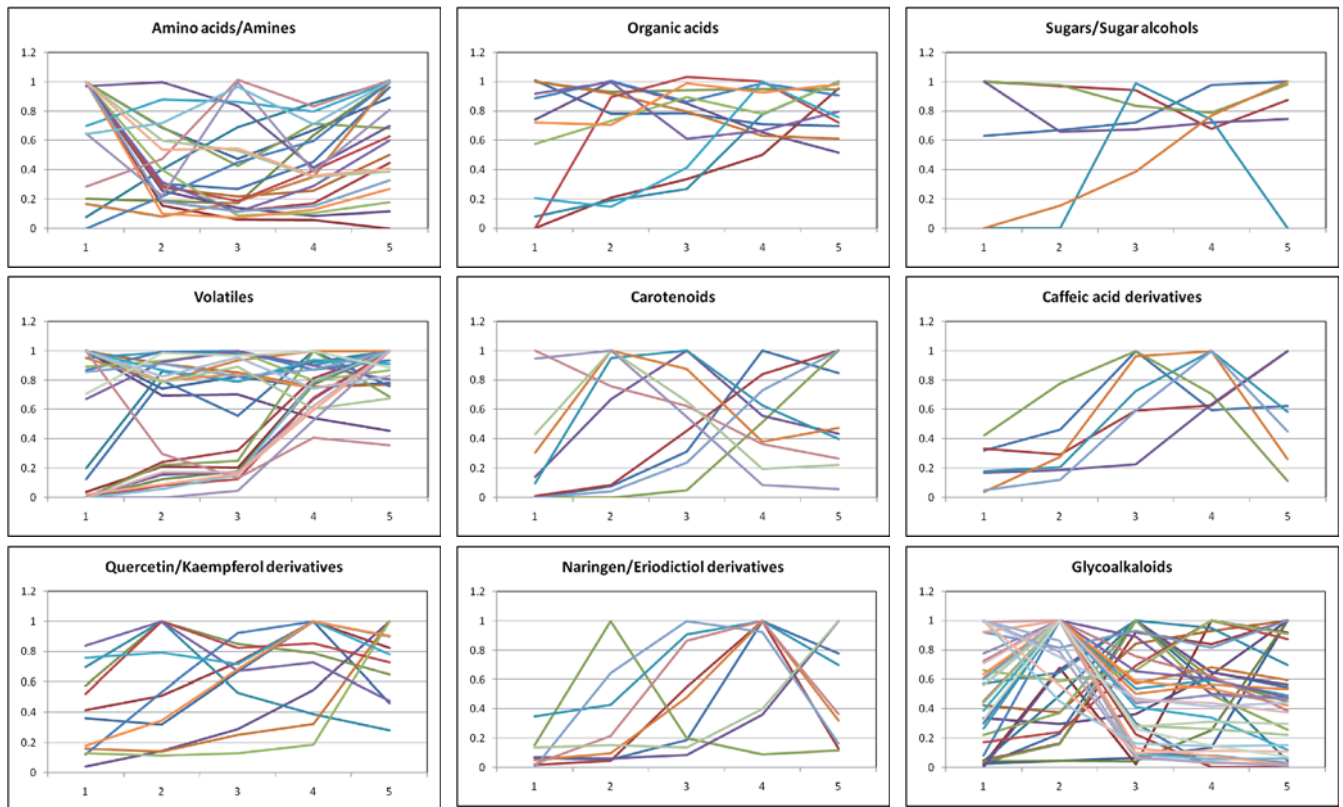


Figure 3. 化合物群ごとのトマトの成熟に伴う相対変化

各グラフの横軸は、1：グリーン段階、2：イエロー段階、3：オレンジ段階、4：レッド段階、5：過熟段階とした。縦軸は、相対値（最も多い値を示す段階の量を1とした）を用いた。

Table 3. BL-SOM による化合物群の分類

化合物	グループ	X座標	Y座標	p-value	グリーン	イエロー	オレンジ	レッド	過熟
Asparagine	1	0	0	0.23	1.00	0.16	0.06	0.06	0.00
Chlorophyll-a	1	0	0	0.01	1.00	0.55	0.12	0.01	0.00
Chlorophyll-b	1	0	0	0.01	1.00	0.44	0.11	0.01	0.00
Acetoxy-tomatine	1	0	0	0.12	1.00	0.86	0.07	0.04	0.01
alpha-Tomatine	1	0	0	0.05	1.00	0.79	0.06	0.04	0.01
Glycoalkaloid-1004	1	0	0	0.00	1.00	0.56	0.10	0.11	0.11
Glutamine	2	1	0	0.04	1.00	0.26	0.14	0.09	0.12
Serine	2	1	0	0.01	1.00	0.40	0.09	0.10	0.18
Tyrosine	2	1	0	0.19	1.00	0.10	0.07	0.13	0.27
Tomatine-isomer	2	1	0	0.01	1.00	0.45	0.16	0.14	0.15
Glycine	3	2	0	0.01	1.00	0.28	0.22	0.26	0.50
Isoleucine	3	2	0	0.04	1.00	0.18	0.12	0.17	0.45
Phenylalanine	3	2	0	0.03	1.00	0.29	0.19	0.40	0.63
Threonine	3	2	0	0.02	1.00	0.32	0.11	0.29	0.60
Valine	3	2	0	0.08	1.00	0.19	0.12	0.15	0.33
Methylsalicylate	3	2	0	0.03	1.00	0.30	0.13	0.41	0.36
Leucine	4	3	0	0.40	1.00	0.30	0.27	0.45	0.96
Ubiquinone-10	4	3	0	0.15	0.49	0.48	0.22	0.49	1.00
Ornithine	5	4	0	0.01	0.17	0.08	0.18	0.35	1.00
Proline	5	4	0	0.01	0.17	0.08	0.18	0.35	1.00
Quercetin-hexose-deoxyhexose,-hexose,-C10H8O3(176	5	4	0	0.01	0.16	0.14	0.25	0.33	1.00
Kaempferol3,7-di-O-glucoside	5	4	0	0.11	0.13	0.11	0.13	0.19	1.00
EsculeosideB-isomer	5	4	0	0.26	0.03	0.04	0.06	0.14	1.00
Glycoalkaloid-1245	5	4	0	0.14	0.04	0.05	0.04	0.25	1.00
EsculeosideB	5	4	0	0.08	0.33	0.30	0.36	0.63	1.00
Naringenin7-O-glucoside	5	4	0	0.04	0.07	0.06	0.09	0.36	1.00
Eriodictyol7-O-glucoside	5	4	0	0.01	0.14	0.15	0.14	0.40	1.00
Aspartic acid	6	5	0	0.01	0.20	0.19	0.17	0.64	1.00
Citramalic acid	6	5	0	0.01	0.00	0.21	0.33	0.50	0.95
cis-Citral	6	5	0	0.05	0.00	0.00	0.05	0.53	1.00
Eugenol	6	5	0	0.01	0.02	0.09	0.16	0.60	1.00
Geranylacetone	6	5	0	0.01	0.00	0.17	0.17	0.63	1.00
ζ-Carotene	6	5	0	0.05	0.00	0.00	0.05	0.51	1.00
Dicaffeoylquinicacid	6	5	0	0.01	0.17	0.19	0.23	0.64	1.00
Quercetin3-O-rutinoside-7-O-glucoside	6	5	0	0.01	0.04	0.15	0.29	0.55	1.00
Galacuronicacid	7	6	0	0.01	0.08	0.19	0.27	0.78	1.00
Sorbitol	7	6	0	0.01	0.00	0.15	0.38	0.77	1.00
2-Methylbutanol	7	6	0	0.01	0.00	0.12	0.18	0.77	1.00
2-Methylbutylacetate	7	6	0	0.01	0.00	0.24	0.32	0.82	1.00
3-Methyl-2-butenylacetate	7	6	0	0.01	0.00	0.16	0.17	0.67	1.00
6-Methyl-5-heptene-2-one	7	6	0	0.01	0.00	0.08	0.13	0.68	1.00
trans-Citral	7	6	0	0.01	0.00	0.06	0.16	0.79	1.00
trans-Lycopene	7	6	0	0.01	0.00	0.04	0.24	0.73	1.00
EsculeosideA-isomer	7	6	0	0.59	0.02	0.68	0.02	1.00	0.92
Dehydrotomatine	8	0	1	0.12	0.92	1.00	0.13	0.08	0.02
Tomatidine+4hexose	8	0	1	0.23	0.99	1.00	0.07	0.03	0.02
GABA	9	2	1	0.11	1.00	0.60	0.53	0.35	0.39
Tryptamine	9	2	1	0.10	1.00	0.54	0.54	0.36	0.41
Histamine	10	3	1	0.56	0.65	0.23	1.00	0.39	0.81
Caffeicacid-glucose	11	4	1	0.14	0.33	0.29	0.59	0.63	1.00
Hydroxyproline	12	5	1	0.04	0.00	0.22	0.45	0.60	1.00
Amylnitrile	13	6	1	0.08	0.00	0.23	0.25	1.00	0.69
Phytoene	13	6	1	0.03	0.00	0.08	0.31	1.00	0.85
Phytofluene	13	6	1	0.03	0.01	0.08	0.45	0.84	1.00
Naringenin-C3H7O2NS	13	6	1	0.06	0.07	0.06	0.19	1.00	0.78
Naringenin-chalcone-hexose,-pentose	14	0	2	0.28	0.15	1.00	0.20	0.09	0.12
Acetoxy-hydroxy-tomatine-1	14	0	2	0.15	0.30	1.00	0.30	0.00	0.00
Hydroxytomatine	14	0	2	0.05	0.61	1.00	0.23	0.00	0.00
Acetoxy-hydroxytomatine-2	14	0	2	0.47	0.08	1.00	0.09	0.08	0.03
Hydroxytomatine	14	0	2	0.01	0.44	1.00	0.29	0.26	0.22
Acetoxy-dehydrotomatine	14	0	2	0.06	0.60	1.00	0.09	0.06	0.06
Hydroxytomatine	14	0	2	0.05	0.32	1.00	0.26	0.15	0.07
Violaxanthin	15	1	2	0.08	0.43	1.00	0.65	0.19	0.22
Glycoalkaloid-1110	15	1	2	0.04	0.39	1.00	0.41	0.34	0.12
Glycoalkaloid-1106	15	1	2	0.01	0.56	1.00	0.28	0.31	0.30
beta-Carotene	16	3	2	0.05	0.14	0.67	1.00	0.56	0.43
Threitol	17	4	2	0.61	0.00	0.00	0.99	0.74	0.00
4,5-Dicaffeoylquinicacid	17	4	2	0.17	0.04	0.28	0.97	1.00	0.27
Naringenin-chalcone	17	4	2	0.33	0.00	0.65	1.00	0.92	0.17
Glycoalkaloid-1269	17	4	2	0.40	0.04	0.49	1.00	0.56	0.04
DehydroesculeosideA	17	4	2	0.07	0.02	0.23	1.00	0.65	0.55
Glycoalkaloid-1300	17	4	2	0.12	0.04	0.16	1.00	0.61	0.45
Dihydroxytomatine	17	4	2	0.15	0.22	0.37	1.00	0.49	0.26
3,4-Dicaffeoylquinicacid	18	5	2	0.01	0.18	0.21	0.73	1.00	0.58
Naringenin-C3H7O2NS	18	5	2	0.52	0.02	0.05	0.55	1.00	0.13
Eriodictyolchalcone	18	5	2	0.12	0.02	0.22	0.87	1.00	0.37
Pyruvicacid	19	6	2	0.03	0.21	0.15	0.41	1.00	0.76

3,4,5-Tricaffeoylquinicacid	19	6	2	0.07	0.05	0.12	0.59	1.00	0.45
Naringenin-chalcone-hexose	19	6	2	0.27	0.05	0.10	0.48	1.00	0.32
Neoxanthin	20	0	3	0.31	0.95	1.00	0.55	0.09	0.06
Quercetin-hexose-deoxyhexose,-pentose	21	1	3	0.01	0.70	1.00	0.53	0.39	0.28
Glycoalkaloid-1062	21	1	3	0.05	0.78	1.00	0.44	0.49	0.46
Glycoalkaloid-1048.5	21	1	3	0.01	0.71	1.00	0.46	0.44	0.37
Urea	22	2	3	0.01	0.52	1.00	0.74	0.47	0.49
delta-Carotene	22	2	3	0.14	0.31	1.00	0.87	0.38	0.47
Glycoalkaloid-1068	22	2	3	0.04	0.45	1.00	0.57	0.68	0.60
Acetoxy-hydroxy-dehydrotomatine	22	2	3	0.03	0.44	1.00	0.89	0.50	0.47
Hydroxytomatine	22	2	3	0.12	0.26	1.00	0.54	0.60	0.49
Glycoalkaloid-1052	22	2	3	0.03	0.60	1.00	0.50	0.56	0.53
Glycoalkaloid-1362	22	2	3	0.01	0.56	1.00	0.65	0.61	0.47
Glycoalkaloid-1044	22	2	3	0.01	0.64	1.00	0.59	0.54	0.42
Glycoalkaloid-1046	22	2	3	0.02	0.72	1.00	0.76	0.62	0.39
alpha-Carotene	23	3	3	0.13	0.10	0.95	1.00	0.63	0.40
5-Caffeoylquinicacid	23	3	3	0.21	0.43	0.78	1.00	0.71	0.11
Citraconic acid	24	4	3	0.43	0.00	0.89	1.03	1.00	0.72
Caffeic acid-3-glucoside	24	4	3	0.06	0.32	0.47	1.00	0.60	0.63
Esculeoside A	24	4	3	0.12	0.00	0.67	1.00	0.65	0.56
Quercetin-3-O-glucoside	25	5	3	0.12	0.36	0.32	0.67	1.00	0.46
Naringenin-chalcone-hexose	25	5	3	0.04	0.35	0.43	0.91	1.00	0.70
Glutamate	26	6	3	0.12	0.08	0.40	0.69	0.86	1.00
(E)-2-Hexenal	26	6	3	0.39	0.13	0.80	0.56	1.00	0.76
Kaempferol-hexose-deoxyhexose,-hexose-C9H6O2(146)	26	6	3	0.01	0.18	0.35	0.68	1.00	0.91
Glycoalkaloid-1287	26	6	3	0.27	0.05	0.16	0.92	0.84	1.00
Glycoalkaloid-1122	26	6	3	0.01	0.17	0.24	0.70	1.00	0.87
2-Methylpentanal	27	0	4	0.03	1.00	0.70	0.70	0.55	0.46
Lutein	27	0	4	0.22	1.00	0.76	0.62	0.36	0.27
Tomatidine+2hexose+2pentose	27	0	4	0.10	1.00	0.75	0.47	0.41	0.44
Methionine	28	1	4	0.08	0.97	1.00	0.84	0.42	0.70
Gluconic acid	28	1	4	0.03	0.92	1.00	0.61	0.67	0.79
Kaempferol-hexose-deoxyhexose,-pentose	28	1	4	0.02	0.84	1.00	0.67	0.73	0.48
Fumaric acid	29	2	4	0.02	0.74	1.00	0.85	0.66	0.52
alpha-Tocopherol	30	3	4	0.01	0.58	1.00	0.97	0.69	0.78
Quercetin-hexose-deoxyhexose,-hexose,-pentose	30	3	4	0.01	0.58	1.00	0.85	0.79	0.65
Quercetin-hexose-deoxyhexose,-hexose-C9H10O2(150)	30	3	4	0.01	0.52	1.00	0.82	0.86	0.73
Plastoquinone	31	4	4	0.01	0.49	0.59	1.00	0.89	0.88
Lycoperside G-OH	31	4	4	0.02	0.57	0.65	1.00	0.95	0.70
Cysteine	32	5	4	0.06	0.29	0.48	1.02	0.83	1.01
(Z)-3-Hexenal	32	5	4	0.12	0.20	0.86	0.79	0.93	1.00
Quercetin-3-O-rutinoside (rutin)	32	5	4	0.05	0.42	0.51	0.73	1.00	0.82
Quercetin-hexose-deoxyhexose,-hexose,-C9H6O2(146)	32	5	4	0.05	0.12	0.54	0.92	1.00	0.90
Esculeoside A+hexose	32	5	4	0.04	0.42	0.38	0.84	0.93	1.00
Alanine	33	0	5	0.15	1.00	0.69	0.48	0.68	0.90
Lysine	33	0	5	0.11	1.00	0.69	0.43	0.72	0.69
Malic acid	33	0	5	0.01	1.00	0.92	0.80	0.63	0.61
myo-Inositol	33	0	5	0.02	1.00	0.66	0.68	0.72	0.75
Aconitic acid	34	1	5	0.01	1.01	0.78	0.78	0.71	0.70
2-Butanone	34	1	5	0.01	1.00	0.74	0.82	0.75	0.78
Butylacetate	34	1	5	0.01	1.00	0.91	0.85	0.76	0.77
Linalool	34	1	5	0.01	1.00	0.79	0.84	0.75	0.83
alpha-Terpineol	34	1	5	0.01	1.00	0.79	0.89	0.61	0.67
Citric acid	35	2	5	0.03	1.00	0.93	0.94	0.95	0.94
Glucose	35	2	5	0.01	1.00	0.97	0.94	0.68	0.87
Sucrose	35	2	5	0.01	1.00	0.98	0.83	0.79	0.98
4-Methyl-2-heptanone	35	2	5	0.03	0.95	0.99	0.98	0.90	1.00
Octanal	35	2	5	0.01	0.89	0.93	1.00	0.80	0.87
(E)-2-octenal	35	2	5	0.03	1.00	0.87	0.80	0.94	0.91
Geraniol	35	2	5	0.01	1.00	0.83	0.96	0.74	0.83
NAD	35	2	5	0.93	1.35	1.69	1.35	1.12	1.00
Tryptophan	36	3	5	0.01	0.70	0.88	0.87	0.80	1.00
Succinic acid	36	3	5	0.01	0.89	1.01	0.86	0.99	0.91
Camphene	36	3	5	0.05	0.95	0.79	0.94	1.00	1.00
2,4-Dimethyl-3-heptanone	36	3	5	0.01	0.87	1.00	1.00	0.87	0.94
Isobutylthiazole	36	3	5	0.01	0.67	0.93	1.00	0.90	0.81
Camphor	36	3	5	0.01	0.86	0.91	0.82	0.87	1.00
(E)-2-Heptenal	36	3	5	0.01	0.71	0.99	0.97	1.00	0.89
Kaempferol-3-O-rutinoside	36	3	5	0.06	0.76	0.80	0.72	1.00	0.78
Glycoalkaloid-1360	36	3	5	0.01	0.92	0.82	0.93	0.82	1.00
Putrescine	37	4	5	0.03	0.64	0.72	0.97	0.71	1.00
alpha-Ketoglutaric acid	37	4	5	0.01	0.57	0.73	0.89	0.78	1.00
Oxalic acid	37	4	5	0.01	0.72	0.71	0.99	0.93	0.98
Fructose	37	4	5	0.03	0.63	0.67	0.72	0.98	1.00
L-Glutathione	37	4	5	0.01	0.58	0.76	0.87	1.00	0.91
Glycoalkaloid-1254	37	4	5	0.11	0.66	0.59	0.66	1.00	0.91
Isovaleraldehyde	38	6	5	1.00	0.18	1.00	0.96	3.75	4.76

Table 4. 官能評価における“総合的な好ましさ”と化合物間の相関分析

化合物	相関係数
	正の相関
(Z)-3-Hexenal	0.973
L-Glutathione	0.951
Glutamate	0.935
(E)-2-Hexenal	0.935
Quercetin-hexose-deoxyhexose, -hexose, -C ₉ H ₆ O ₂ (146)	0.922
Kaempferol-hexose-deoxyhexose, -hexose-C ₉ H ₆ O ₂ (146)	0.894
2-Methylbutylacetate	0.882
Quercetin 3-O-rutinoside (rutin)	0.862
Amylnitrile	0.856
Sorbitol	0.855
Hydroxyproline	0.843
Citraconic acid	0.838
Glycoalkaloid-1122	0.837
Phytofluene	0.834
Phytoene	0.830
Fructose	0.824
Isovaleraldehyde	0.823
Galacuronic acid	0.811
Citramalic acid	0.810
2-Methylbutanol	0.809
(E)-2-Heptenal	0.808
EsculeosideA-isomer	0.801
	負の相関
Aconitic acid	-0.995
Tryptamine	-0.995
GABA	-0.995
2-Methylpentanal	-0.980
Chlorophyll-b	-0.957
Butylacetate	-0.952
Asparagine	-0.945
Tomatine-isomer	-0.944
Chlorophyll-a	-0.937
Lutein	-0.936
Glutamine	-0.933
Serine	-0.922
α -Terpineol	-0.920
Tomatidine+2hexose+2pentose	-0.919
Linalool	-0.913
Glycoalkaloid-1004	-0.908
2-Butanone	-0.908
Malic acid	-0.898
Valine	-0.850
Tyrosine	-0.846
Geraniol	-0.838
α -Tomatine	-0.835
Acetoxy-tomatine	-0.808

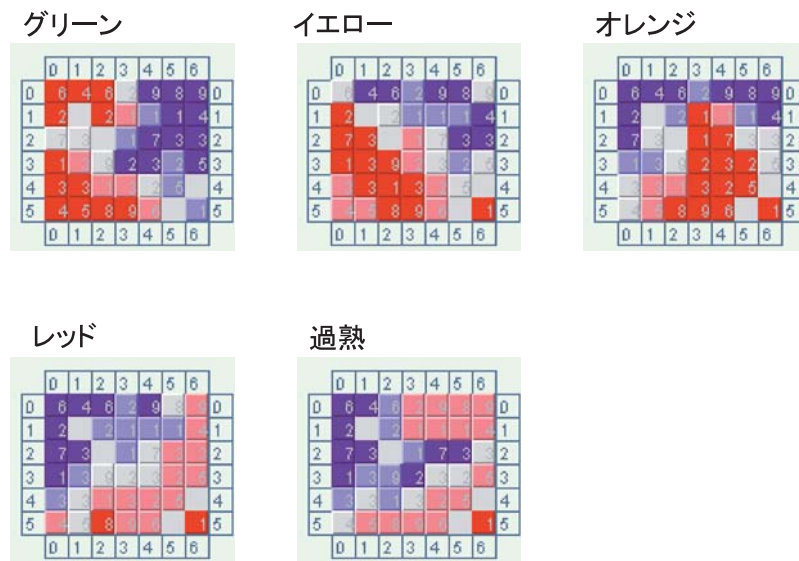


Figure 4. BL-SOMによる化合物のグルーピングと成熟段階による挙動
赤色：全段階での平均値 + SE より大きい, 青色：全段階での平均値 - SE より小さい

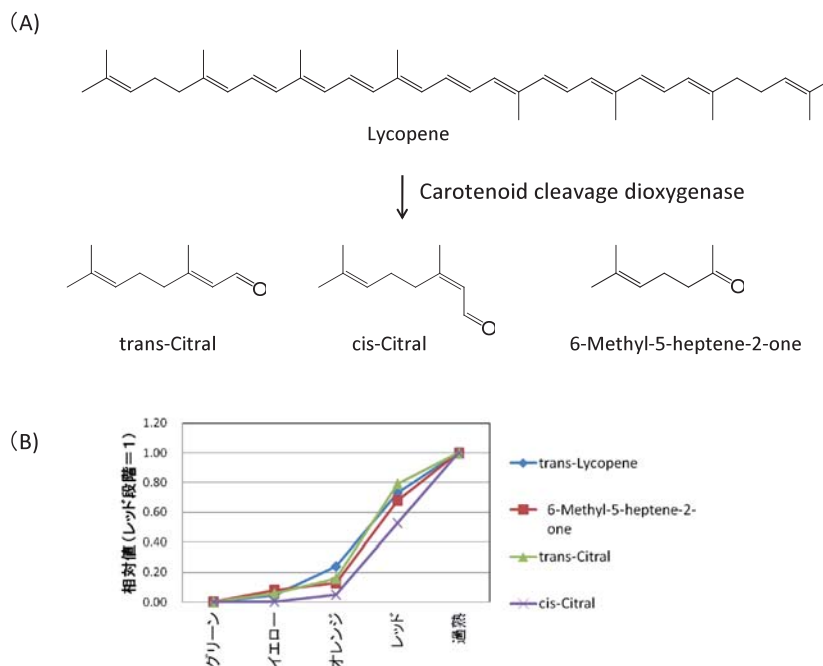


Figure 5. Lycopene と Citral, 6-methyl-5-hepten-2-one の挙動

いわれており, 今回の研究でも, 成熟に伴う α -Tomatine 量の減少と官能評価の“苦味の強さ”の評価点の減少が一致していた. α -Tomatine については, その含量や毒性, 機能性についての報告はあるが, トマトの味との関係を詳細に調べたものは, ほとんどなく, 今後詳細に調べていく必要があると考えている.

3-5. エチレン生成・受容と代謝物変化

エチレン生成 (nor, rin) および受容 (Nr) に関わる変異体トマト (3 種) を Figure 6 に示した. nor および rin 変異体は, エチレン生成に関与する酵素を制御する転写因

子に変異があるものである. 一方, Nr 変異体は, エチレン生成においては正常であるが, エチレンを受容後のシグナル伝達がブロックされ, 成熟が進まない変異体である. 写真のとおり, 変異のない通常のトマトが赤くなっても, 変異体類は色の変化がなく果実も硬いままである. ただし Nr に関しては, ゆっくりではあるが, リコペンの蓄積が見られた. 通常のトマト果実のグリーン段階とレッド段階およびそれと同時期の変異体トマトを収穫し, 分析に用いた. これらのトマトの主成分分析の結果を Figure 7 に示す. グリーン段階では, 通常のトマトと変異体とは顕著な違いは見られなかったが, レッド段階では, 明らかに組

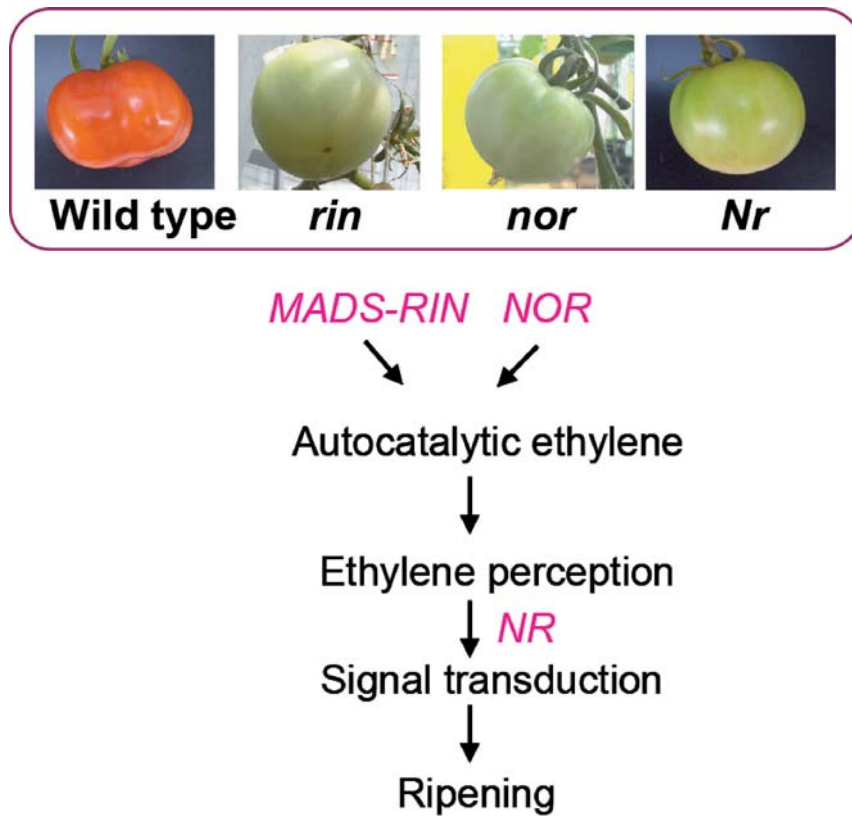


Figure 6. エチレン生成, 受容に関する変異体トマト

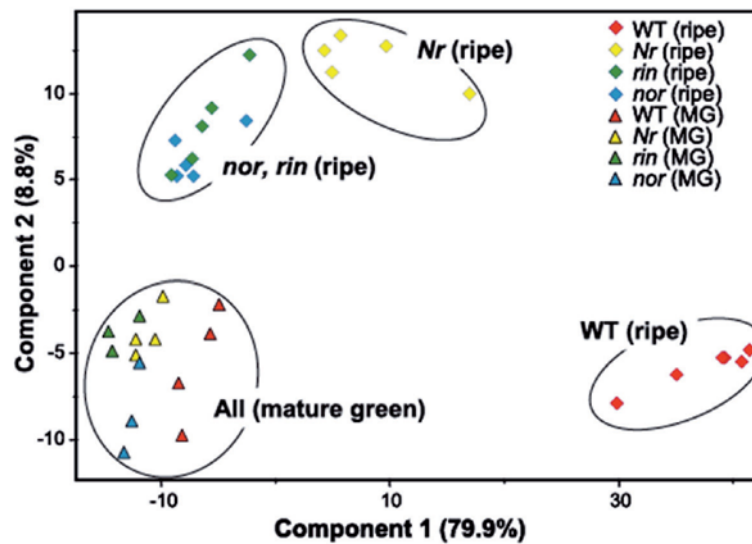


Figure 7. エチレン生成, 受容に関する変異体トマトに含まれる化合物による主成分分析

成分が異なっていた。エチレン生成変異体 *nor*, *rin* は、互いに同様な傾向を示した一方、エチレン受容変異体 *Nr* は、通常トマトおよびエチレン生成変異体とも判別された。

個々の成分変化については現在詳細に調べている最中であるが、3-4において“好ましさ”と相関のあったいくつかの成分について含量の比較を行った結果を Figure 8 に示した。(Z)-3-hexenal と Glutamate については、*Nr* 変異体も通常のトマト同様に増加する傾向があったが、

nor および *rin* 変異体においては増加しなかった。また、GABA については、通常のトマトでは成熟によりほとんどなくなるが、変異体トマトでは、元々高蓄積であるだけでなく、その後は若干減少はしたものの、顕著な差は見られなかった。同様に、Lutein の場合も、通常のトマトに比べて変異体の方が蓄積量が多く、その後も維持していた。また、アミノ酸、有機酸の変動の違いについて代謝パスウェイに従い Figure 9 に示した。通常のトマトがグリーン段

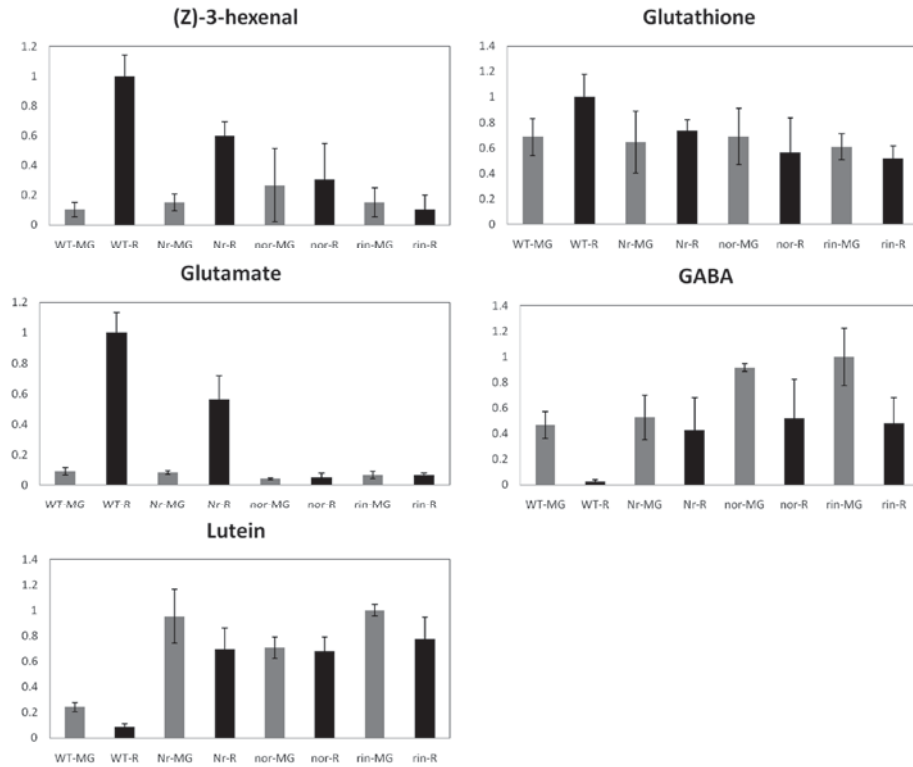


Figure 8. 主な化合物における通常トマトと変異体トマトの相対変化

縦軸は相対値（最も多い値を示す段階の量を1とした）とした。

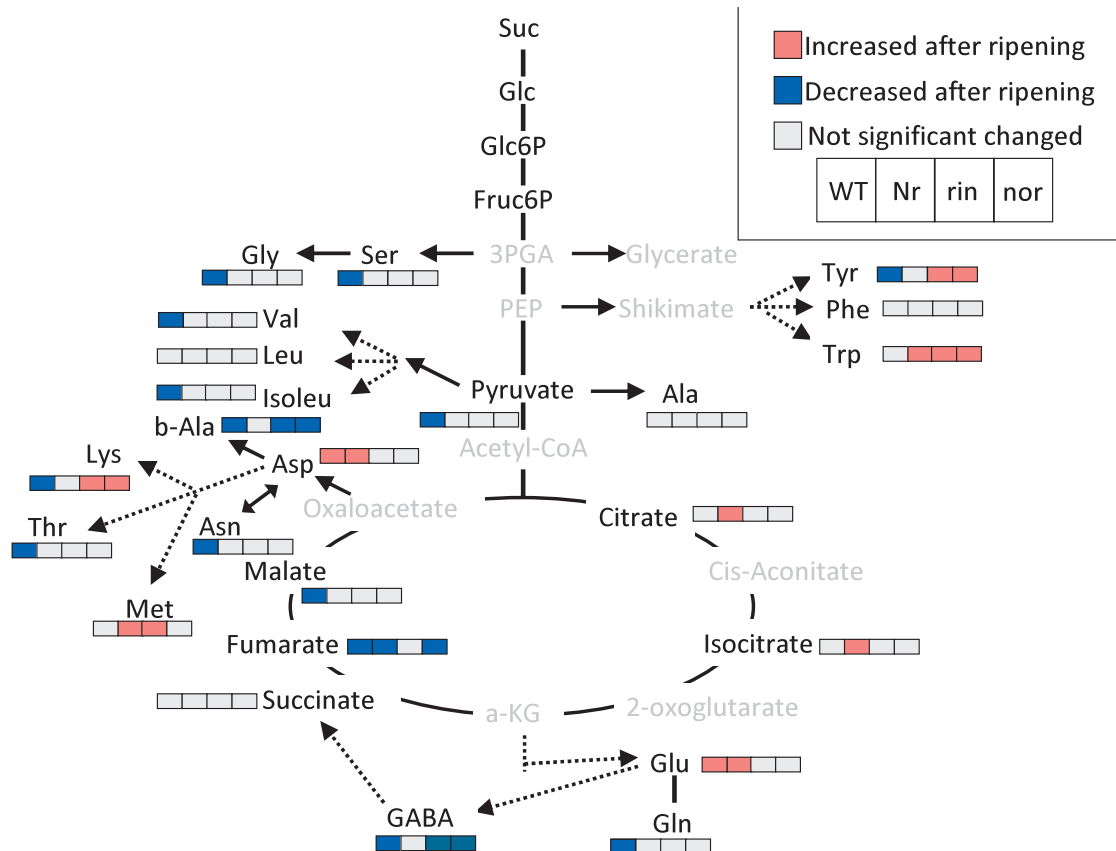


Figure 9. アミノ酸、有機酸における通常トマトと変異体トマトの変化の比較

赤色：成熟後に有意に増加したもの、青色：成熟後に有意に減少したもの、灰色：有意な変化がなかったもの

階と成熟した段階で比較し、有意 ($p < 0.05$) に増加したものを赤色、有意 ($p < 0.05$) に減少したものを青色で示した。パスウェイ上に表示されたカラムは左から通常のトマト、Nr 変異体、rin 変異体、nor 変異体で示している。通常のトマトでは、多くのアミノ酸で減少する傾向であったが、変異体では有意な変動がみられないか、むしろ増加する傾向があった。代謝パスウェイを考慮すると、今回変異体トマトで蓄積の多かった GABA は Glutamate の下流に位置し、Glutamate decarboxylase の働きで生成することが知られている。さらに、GABA から Glutamate への逆反応としてトマト果実では GABA-TK (α -ketoglutarate-dependent GABA aminotransferase) の存在も示唆されており (Akihiro et al., 2008)、この部分の制御は、トマトの質、機能性において重要であると考えている。

4. 研究から得た結論と今後の課題

今研究では、トマト果実の機能性に関与する様々な成分群 (一次代謝物、香気成分、二次代謝物) を成熟段階ごとに同時に解析を行った。官能評価と合せることで、トマトの“好ましさ”と相関のある成分群が見出された。今までのトマト果実の成分分析については数多く報告されているが、今回のようなトマトのもつ機能をつかさどる化合物に着目した総体的な解析をした例は初めてであると考えている。本来であれば、さらにトマトの“好ましさ”およびそれ以外の官能的特性について、重回帰分析などを使って成分組成による予測モデルを構築する必要があるが、今回はサンプルパターンが少なすぎて良好な傾向がみられなかった。トマトのおいしさは、成熟状態のみならず、品種、生育環境も大きなファクターとなる。今後は、今研究の延長として、今回構築した成分分析プラットフォームを用い、様々なトマトの成分分析と官能評価を進めていきたい。

また、今研究ではトマトに含まれる既知成分に着目して解析を進め、未知成分については解析から除外した。今回の分析により大量の未知成分の存在が確認されており、これらの中にも成熟段階のマーカーとなるような新規成分が存在すると考察している。今後は未知成分を含めた解析も進める必要があると考えている。

5. 参考文献

- Shauer N., Zamir D., Fernie AR. 2005. Metabolic profiling of leaves and fruits of wild species tomato: a survey of the *SolanumLycopersicum* complex. J. Exp. Botany., 56, 297-307.
- Tikunov Y., Lommen A., de Vos R.C.H., Verhoeven H.A., Bino R.J., Hall R.D. 2005. A novel approach for nontargeted data analysis for metabolomics. Large-scale profiling of tomato fruit volatiles. Plant Physiol., 139, 1125-1137.
- Iijima Y, Nakamura Y, Ogata Y, Tanaka K, Sakurai N, Suda K, Suzuki T, Suzuki H, Okazaki K, Kitayama M, Kanaya S, Aoki K, Shibata D. 2008. Metabolite annotations based on the integration of mass spectral information. Plant J., 54, 949-962
- Iijima Y, Fujiwara Y, Tokita T, Ikeda T, Nohara T, Aoki K, Shibata D. 2009. Involvement of ethylene in the accumulation of esculetin during fruit ripening of tomato (*SolanumLycopersicum*). J Agric Food Chem., 57, 3247-3252.
- Akihiro T, Koike S, Tani R, Tominaga T, Watanabe S, Iijima Y, Aoki K, Shibata D, Ashihara H, Matsukura C, Akama K, Fujimura T, Ezura H. 2008. Biochemical mechanism on GABA accumulation during fruit development in tomato. Plant Cell Physiol., 49, 1378-1389.

謝辞

本研究課題に対し、多大なるご支援を賜りました公益財団法人 東洋食品研究所に心より御礼申し上げますとともに、貴財団の益々のご発展を祈念申し上げます。