

日蘭トマト品種の果実成分と収量性

安藤 聡・中野 明正*・金子 壮**・坂口(横山) 林香
東出 忠桐*・畠中 誠***・木村 哲***

(平成 26 年 8 月 25 日受理)

Characteristics of Taste Components and Fruit Yields of Dutch and Japanese Tomato Cultivars

Akira Ando, Akimasa Nakano, So Kaneko, Rinka Sakaguchi-Yokoyama,
Tadahisa Higashide, Makoto Hatanaka and Satoru Kimura

I 緒 言

オランダにおけるトマト (*Solanum lycopersicum* L.) の生産性は年々上昇しており、近年は 10 a 当たりの収量が 60 t を超えている。これは、我が国の一般的収量 20 t / 10 a を遙かに凌駕している。この生産性の違いは、気象条件や栽培施設の規模・設備等の栽培環境に起因していると考えられる(安場ら, 2011) 一方で、品種特性によることも大きく、日蘭両国におけるトマト育種の方向性が大きく影響していると考えられる(Higashide ら, 2009)。オランダでは、専ら収量性と流通特性を高めるための育種がなされてきたのに対し、'桃太郎' に代表される日本の生食用大玉トマト品種は、収量を犠牲にして食味に焦点を置いた育種がなされてきたため収量性が低いと考えられる(Higashide ら, 2012)。一般的に、日本品種とオランダ品種を比較すると、後者は高収量ではあるが、食味が劣るとされている。現在までに、多収性オランダ品種と良食味の日本品種を育種素材として、高収量と良食味の双方を併せ持ったトマト系統の育種が進められている(松永, 2013)。果実生産性に関しては、オランダ品種と日本品種の生育・栽培特性等を比較することによって、オランダ品種の多収性の要因を探ろうとした報告は数多

い(東出, 2010; Matsuda ら, 2013; 2011a; 2011b; 中野ら, 2012a; Saito ら, 2011)。しかしながら、日蘭両品種の食味に着目した報告は見当たらず、同一条件で栽培した両国品種の食味に関連する成分を分析した研究例も殆ど見当たらない。したがって、両国品種間の食味の違いの要因は不明なままである。そこで、本研究では、日蘭両品種間の食味に関連する成分を比較することを目的として、同一条件で日蘭両国の典型的品種を栽培し、主要な呈味成分等の分析に果実を供すると共に、果実収量性データと併せて評価することとした。

トマトの食味には、呈味性を有する可溶性成分と香気成分、食感等が関与しているが、遊離糖や有機酸、アミノ酸等の主要な呈味成分の影響が最も大きいと考えられる。呈味性に関わらず全ての可溶性成分の含有量の指標となるのが Brix 値であり、イチゴやメロン等の遊離糖含有量が極めて高い野菜の場合には甘さの指標として有効である。野菜に含まれる主な遊離糖は果糖、ブドウ糖、ショ糖であることが知られているが、糖の種類によって甘味の強度や温度依存性等が異なる(橋本ら, 2006) ことに加え、品種や栽培条件等によって各糖の含量も大きく異なることから、個々の糖組成分析が望まれる。また、トマトにおいては、クエン酸を主とする有機酸の含量が酸味を決定づける重要な要素であり、糖と酸のバランス

〒 514-2392 三重県津市安濃町草生 360

野菜病害虫・品質研究領域

* 野菜生産技術研究領域

** 宮城県大河原農業改良普及センター

*** タキイ種苗株式会社

がおいしさに重要であるとされている(中川, 2004)。さらに, トマトはうま味を呈する成分であるグルタミン酸を高濃度に含むことが, 広く認知されている。トマトらしい味は, グルタミン酸に加えてアスパラギン酸がある程度含まれることで構成されていると考えられる(副家, 1994; Oruna-Concha ら, 2007)。呈味性との関連は未解明な部分が多いが, 血圧上昇抑制作用等で知られる機能性アミノ酸(γ -アミノ酪酸(GABA))も, 野菜の中ではトマトに高濃度で含まれる(Saito ら, 2008)。最近, GABA が酸味と塩味の増強効果を有することを示唆する官能評価結果も報告されている(佐々木ら, 2010; 2011)。また, 野菜には, カリウムやマグネシウム, カルシウム等の無機陽イオンが高濃度で含まれており, 呈味性に影響している可能性が考えられる。最も高濃度で含まれるカリウムイオンについては, アクあるいは渋みに寄与していると指摘されている(辻村ら, 2003)。以上のことから, トマトのおいしさの評価には, Brix 値だけではなく, 遊離糖や有機酸, アミノ酸等の主要な呈味成分に加え, カリウム等の陽イオンもそれぞれ定量することが望ましいと考えられる。本研究では, キャピラリー電気泳動法を用い, これら成分の全てを分析対象として, 日蘭両国のトマト品種の成分比較をおこなった。

本研究の栽培管理および収量データ取得に当たっては, 中央農業総合研究センター研究支援センターの佐藤和也氏, 内野達哉氏, 岩切浩文氏の多大なるご支援をいただいた。ここに記して心よりの感謝を申しあげる。なお, 本研究の一部は農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産資源を活用した新需要創出プロジェクト」により実施した。

II 材料および方法

1 栽培概要

農研機構植物工場つくば実証拠点(茨城県つくば市)内の栽培室(9 m × 18 m)において, ロックウール・ハイワイヤ方式により, 長期多段栽培(春季試料)および3段密植栽培(夏季試料)をおこなった。本実証拠点は, 軒高5.1 m, 面積約2,500 m²のフェンロー型ハウスであり, ハウス屋根の被覆資材として, 散光性フッ素系フィルムを用いている(中野ら, 2012b)。環境制御にはユビキタス環境制御システム(ステラグリーン)を用い, 気温や湿度等のハウス内環境データは, 同システムを用いて1分間隔で記録した。

a 長期多段栽培(冬春作)

2012年7月30に‘桃太郎ヨーク’(タキイ種苗)および‘Geronimo’(De Ruiter Seeds)を播種し, 同年8月20日にロックウールブロックに移植した。第1花房開花時の9月13日にロックウールスラブに定植し, 大塚A処方(1.5 dS/m)で養液管理した。定植には, 南北方向に設置された6列のロックウール栽培システムを用い, 両端の列については試料とせず, 番外とした。ロックウールスラブ底面の高さは床面より約55 cm, 誘引ワイヤは床面より350 cmに設置し, 株間25 cm, 一本仕立てで, 条間は150 cmとした。気温は1分毎にモニターし, 15℃以下で暖房稼働, 30℃以上で天窓を開放する設定とした。トマトトーン(0.15%パラクロロフェノキシ酢酸含有, 日産化学)の150倍希釈液にジベレリン(ジベレリン協和粉末, 協和発酵バイオ)を終濃度10 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ となるように添加した溶液を各花房が3花開花した時点で噴霧し, 着果処理した。

b 3段密植栽培(夏作)

夏季試料として, ‘桃太郎ヨーク’, ‘スーパー優美’(丸種), ‘桃太郎ピース’(タキイ種苗), ‘Grace’(De Ruiter Seeds), ‘Rapsodie’(Rogers/Syngenta Seeds)を用いた。2013年3月18日に播種し, 播種22日後, ロックウールブロックに移植, 播種43日後にロックウールスラブへ定植した。定植には, 南北方向に条間130 cmで設置された7列のロックウール栽培システムを用い, そこへ株間20 cm(栽植密度3.9株/m²)となるよう5株/品種ずつ定植した。両端の列については試料とせず, 番外とした。ロックウール移植後は大塚SA処方の培養液(大塚アグリテクノ)を用い, 定植日までは電気伝導度を0.5 dS/mとし, その後, 播種57日後まで1.0 dS/m, 播種61日後まで1.5 dS/m, 栽培終了まで2.0 dS/mとした。培養液はかけ流し式で供給して, 植物はベッド上面より1.6 mの高さまで1本仕立てで直立誘引とした。前述の多段栽培と同様な着果処理をおこない, 植物は第3花房上の4葉を残し摘芯した。天窓の換気設定温度は25℃とした。遮光カーテン(LSスクリーン, 誠和)は, 播種76日後までは屋外日射が0.6 kW/m²以上の場合に, それ以降は1.2 kW/m²以上の場合に遮光した。ただし, 植物に萎れが見られた場合には, 上記の設定値以下であっても手動により遮光した。

2 成分分析

a 試料調製

トマト果実のへたを切除した可食部を縮分し（すなわち、櫛形に切り分け、同一果の対角線上に位置する2つの櫛形切片（合計40g程度）を供試）、下記の二つの方法により調製した。

1) 調製方法1

加熱によって内生酵素失活を図る試料調製方法（堀江、2009）を一部改変しておこなった。まず、果実に4倍量の蒸留水を加え、家庭用電子レンジ（700W）を用いて沸騰直前までマイクロ波加熱した。これをミキサーで破碎し、濾過後、濾液を室温で15,000rpm、5分間遠心して、上清を回収した。これを孔径0.45μmのフィルターで濾過して不溶残渣を除き、分析時まで-20℃保存した。

2) 調製方法2

果実をミキサーで破碎し、試料調製時まで-70℃保存した。解凍後、直ちに4倍量の蒸留水と5倍量のクロロホルムを添加し、激しく攪拌後、15,000rpmで5分間遠心して、水層を回収した。同様のクロロホルム抽出操作を再度おこない、水層を孔径0.45μmのフィルターで濾過後、濾液を分析時まで-20℃保存した。

b 分析条件

フォトダイオードアレイ検出器を装備したキャピラリー電気泳動システム（Agilent 7100, アジレント社）を用い、有機酸、遊離アミノ酸、遊離糖等の主要呈味成分ならびに主要な陽イオンの検出をおこなった。有機酸（クエン酸）、遊離アミノ酸（グルタミン酸、グルタミン、アスパラギン酸、GABA）、遊離糖（果糖、ブドウ糖、ショ糖）は、既報（堀江、2009；Sogaら、1999）に従って、単一の電気泳動により一斉に分離・定量した。また、主要陽イオン（ K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）の分析には、陽イオン分析用バッファー（アジレント社）を用い、分析条件はメーカーの取扱説明書に従った。

III 結 果

1 トマト果実に含まれる主要呈味成分等の日本・オランダ品種間差

本研究では、長期多段栽培（春季試料）と低段密植栽培（夏季試料）で生産した日本およびオランダを代表するトマト品種の果実成分について分析をおこなった。春

季の試料については、内生酵素を熱失活させる簡易法（調製方法1）を用い、夏季の試料については、本研究では対象としない熱安定性の低い成分の分析にも供試することを目的に、調製方法2による試料調製をおこなった。予備試験の結果、方法2ではショ糖が顕著に減少するものの、他の呈味関連成分については、調製方法間で有意差（1%水準）は認められなかった（データ省略）。従って、ショ糖以外の成分に関しては、二つの試料調製方法の影響を大きく受けないと考えられる。

a 日本・オランダ品種間の成分比較I（長期多段栽培、春季試料）

優れた養液栽培特性を持つとされる日本およびオランダ品種の代表として、それぞれ、‘桃太郎ヨーク’および‘Geronimo’を長期多段栽培法により栽培し、果実成分の比較をおこなった。2013年4月上旬に収穫した果実より、販売可能な程度の良果を選別し、各品種とも3果ずつ主要呈味成分等の分析に供した。成分分析に先立ち、供試トマトの搾汁液の可溶性固形物含量（Brix）を測定した結果、‘桃太郎ヨーク’が6.4%、‘Geronimo’が4.7%であり、明らかな有意差が認められたことから、両品種間には大きな糖度差があることが予想された。成分分析の結果、図-1Aに示したように、3種類の遊離糖について、両品種間で有意な差があり、‘桃太郎ヨーク’に含まれる果糖、ブドウ糖、ショ糖は、‘Geronimo’と比べると各々1.5倍、1.6倍、4.6倍であった。遊離糖以外の成分については、有意差は認められなかったが、カルシウムとグルタミンを除いて‘桃太郎ヨーク’のほうが高い傾向があった（図-1A, B）。

b 日本・オランダ品種間の成分比較II（3段密植栽培、夏季試料）

上記のような日蘭品種間差の傾向が、品種や栽培条件が異なる場合にはどうなるか検証するために、主要日本品種（‘桃太郎ヨーク’、‘桃太郎ピース’、‘スーパー優美’）およびオランダ品種（‘Grace’、‘Rapsodie’）を3段密植栽培し、2013年7月中旬に収穫された果実の内、販売可能な程度の良果を選別し、各品種とも5果ずつ主要呈味成分等の分析に供した。その結果、春季試料と同様にカルシウムとグルタミン以外の成分について、日本品種がオランダ品種より高い傾向があった（図-2A, B）特に、遊離糖とグルタミン酸、アスパラギン酸の濃度の日蘭品種間差が顕著であった。別の果実で測定したBrix値（図-4）についても、日本品種がオランダ品種

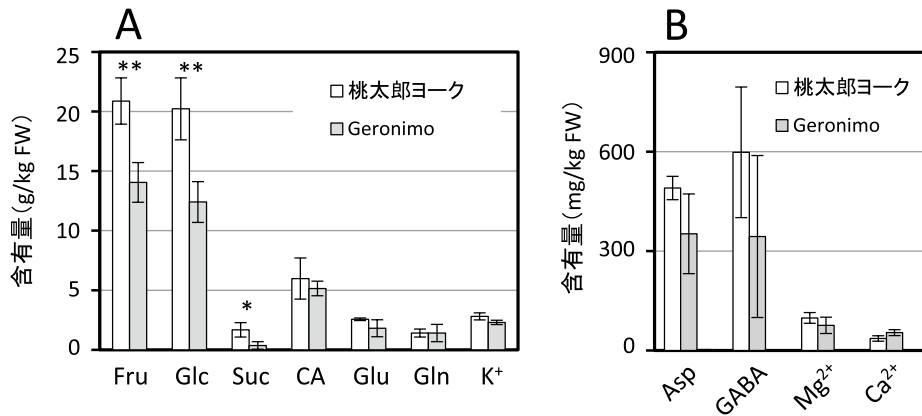


図-1 長期多段栽培した日本およびオランダ品種のトマト果実（春季試料）に含まれる主要呈味成分等の比較
 A 多量に含まれる呈味関連成分の含有量
 B その他の呈味・機能性関連アミノ酸および主要陽イオン含有量
 3果の平均値および標準偏差（エラーバー）を表示. Fru: 果糖, Glc: ブドウ糖, Suc: ショ糖, CA: クエン酸, Glu: グルタミン酸, Gln: グルタミン, Asp: アスパラギン酸, GABA: γ-アミノ酪酸, **, *: 1% および 5% 水準で品種間に有意差あり (t 検定).

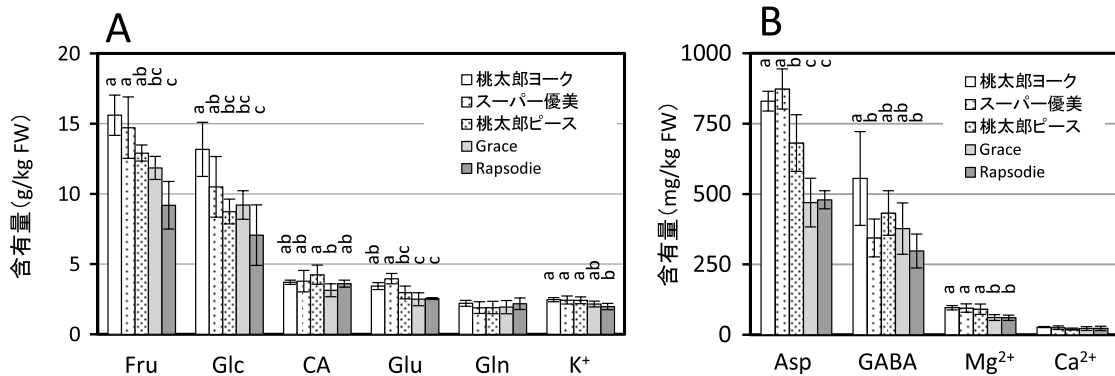


図-2 低段密植栽培した日本およびオランダ品種のトマト果実（夏季試料）に含まれる主要呈味成分等の比較
 A 多量に含まれる呈味関連成分の含有量
 B その他の呈味・機能性関連アミノ酸および主要陽イオン含有量
 5果の平均値および標準偏差（エラーバー）を表示. 略称は、図-1と同様. 各成分において、棒グラフ上部に異なるアルファベットを付した品種間では 5% 水準で有意差あり (Tukey の多重検定).

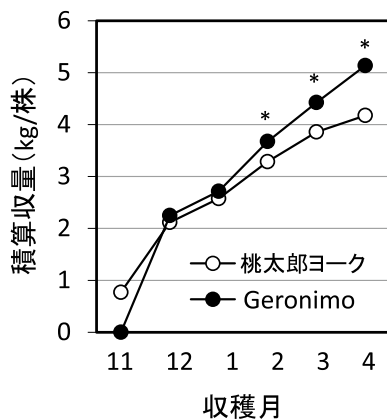


図-3 トマト長期多段栽培における日本品種（桃太郎ヨーク）とオランダ品種（Geronimo）の積算収量の推移
 7株の平均値を表示. *: 5% 水準で有意差あり (t 検定).

より高い傾向が観察されたが、これには、遊離糖濃度だけでなく、グルタミン酸やアスパラギン酸等の濃度差が寄与しているものと考えられる。

2 日本・オランダ品種間の収量比較

a 長期多段栽培（春季試料の栽培）

供試した‘桃太郎ヨーク’および‘Geronimo’について、月毎の果実の積算収量を図-3に示した。‘桃太郎ヨーク’の収穫のはじまりが2012年11月26日であったのに対して、‘Geronimo’の収穫開始日は同年12月10日であったため、11月の収量は‘桃太郎ヨーク’の方が‘Geronimo’に比べ明らかに高かった。しかし、2月以降は‘Geronimo’の積算収量が‘桃太郎ヨーク’と比べて有意に高くなり、4月の栽培終了時点

における総収量は、‘Geronimo’が一株当たり5.14 kgで‘桃太郎ヨーク’(4.18 kg/株)の1.23倍となった。

b 3段密植栽培(夏季試料の栽培)

収穫期間が1ヶ月程度と短い低段栽培であるため、品種毎の総果実収量を比較した。また、Brixも併せて測定し、図-4に表示した。その結果、オランダの2品種は、約2.4 kg/株と、ほぼ同等の収量を示し、日本品種の‘桃太郎ヨーク’、‘桃太郎ピース’、‘スーパー優美’(各々1.71 kg/株、1.90 kg/株、2.06 kg/株)に対して、順に1.40、1.26、1.17倍の総収量となった。収量とは対照的に、Brixは日本品種がオランダ品種の概ね1.27倍と有意に高く、その差はおよそ1%であった。

IV 考 察

本研究では、トマトの呈味性に関わる主要な成分をキャピラリー電気泳動法により分析し、主要な日本品種およびオランダ品種間の比較をおこなった。トマト果実中に含まれる主要呈味成分含量は、本研究で用いた長期多段栽培法および低段密植栽培法を問わず、供試した全ての日本品種においてオランダ品種より高い傾向が認められた。このことから、同一条件で栽培したトマトについては、日本品種のほうがオランダ品種よりも優れた食味を呈すると考えられる。本研究では官能評価は実施していないが、実際に食してみると、日蘭両品種間の食味の差は明確に識別可能であり、特に遊離糖濃度差に起因

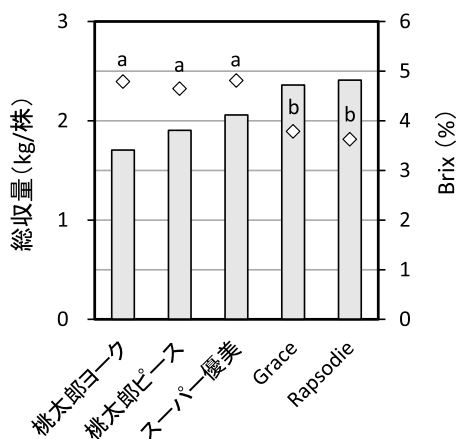


図-4 トマト3段密植栽培における果実収量および糖度の品種間差
5株の総収量より算出した株当たりの収量(棒グラフ)および18果のBrixの平均値(菱形シンボル)を表示。異なるアルファベットを付したBrix値間には、5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)

すると考えられる甘味については、日本品種のほうが強く感じられた。しかし、酸味については両国品種間の違いは大きくは感じられなかった。これは、両国品種間のクエン酸濃度差が比較的小さいことを反映しているものと思われる。

低段密植栽培(夏季)試料においては、試料破碎時にインベルターゼ等のショ糖分解酵素の活性を抑制するための処理を行わなかったため、ショ糖が分解され検出されなかったものと考えられる。本実験に供した品種を含め、一般の大玉トマトにおいては、主要遊離糖(果糖、ブドウ糖、ショ糖)の濃度合計値に対して、ショ糖は0から数%程度含まれるに過ぎない(堀江, 2009; 安藤, 未発表データ)。本研究の春季試料においても、3種の遊離糖濃度の合計値のなかでショ糖が占める割合は、1.4-3.9%と低く、果糖・ブドウ糖と比べると、甘味への寄与は低いと考えられる。しかしながら、慣行栽培より高い水ストレスを負荷して高糖度化を図った‘桃太郎ヨーク’(アメーラ, (株)サンファーマーズ)では、ショ糖濃度が糖合計値の10%を超える果実が存在する(安藤, 未発表データ)など、栽培条件や品種によっては、ショ糖が呈味性において無視できない濃度で含まれる場合がある。従って、高いショ糖含量が予想される試料を供試する場合には、果実破碎前に酵素を失活させておくことが望ましいであろう。

長期多段栽培(春季)試料は、低段密植(夏季)試料と比べて、遊離糖およびクエン酸濃度が高い一方、グルタミン酸、グルタミン、アスパラギン酸といった遊離アミノ酸の濃度は、日蘭品種を問わず有意に低かった(表-1)。春季試料において、遊離糖およびクエン酸濃度が高かった要因としては、栽培時期の違いによる生育温度差のほか、後に詳述するように、長期多段栽培の終了期に植物体に負荷されたストレスが一因であると考えられる。夏季試料において高い遊離アミノ酸濃度が観察された要因は不明であるが、果実肥大期における培養液の電気伝導度が春季1.5 dS/m、夏季2.0 dS/mであったため、培養液中の窒素濃度の違いが影響している可能性が考えられる。また、夏季試料は、3段密植栽培の第3段果房から収穫された果実であるため、4段目以降の摘心との関連も考えられる。

副家(1994)によると、トマトの味を人工的に再現するには、グルタミン酸とアスパラギン酸の両方を含むことが必須であり、その含有量比(Glu/Asp)が4であるときに最もトマトらしい味になるという。従って、トマト果実におけるGlu/Asp比は、トマトの食味を左右

表-1 栽培方法によるトマト果実中の主要呈味成分量の差異

	含有量(mg/kg FW)		含有量比 ^c	有意差
	長期多段 ^a	低段密植 ^b		
Frc	17461	12853	1.4	**
Glc	16314	9738	1.7	*
CA	5562	3695	1.5	*
Glu	2190	3083	0.7	**
Gln	1409	2024	0.7	**
Asp	421	667	0.6	**

^a 全ての長期多段栽培（春季）試料（n=6）の平均値

^b 全ての低段密植栽培（夏季）試料（n=25）の平均値

^c a/b

**、*：1%および5%水準で有意差あり（t検定）

成分名略称は、図-1と同様

する重要な要素である可能性がある。本研究では、春季試料においては日蘭両品種とも Glu/Asp 比が 5.2 であったが、夏季試料では、国内 3 品種の平均値が 4.3 であったの対して、オランダ 2 品種は 5.3 であった。このように、遊離アミノ酸組成の差が低段栽培の日本品種だけで観察されたことは、非常に興味深い。

本研究では、全ての試料において、遊離アミノ酸の内、グルタミン酸に次いでグルタミンが高濃度で含まれていた。この傾向は、既報とも一致している（Oruna-Concha ら, 2007）。グルタミンは、グルタミン酸やアスパラギン酸と比べて呈味力が低いとの報告（河合, 2003）があるものの、高濃度で含まれるためトマトの味への影響はあると考えられる。しかし、グルタミン含有量は、本研究において品種間差が最も小さかったため、日蘭品種間の食味の違いには寄与していないと考えられる。

‘桃太郎ヨーク’は、‘Geronimo’に比べ早生であるため、本研究の長期多段栽培においても、第1果房の収穫は‘Geronimo’より‘桃太郎ヨーク’が早く始まったと考えられる。しかし、その後、収穫段が進むにつれ、‘桃太郎ヨーク’の収量は伸びず、両品種間の収量差が拡大する傾向が観察された。定植から2月までは、ハウス内最高気温は 25℃前後で安定的に推移していたが、3月中旬から最高気温が 30℃を超える日が認められ、4月に入ると 35℃に達する日もあった（データ省略）。水分条件についてはモニターしていなかったが、4月上旬の急激な気温上昇時には灌水が追いつかず、日中に萎れを生じる場合もあった。このようなストレスが負荷された時期に、収量の品種間差異は拡大していることから、‘桃太郎ヨーク’は、‘Geronimo’に比べて水分ストレスに弱い可能性がある。このような仮説は、オラ

ンダ品種の樹勢を維持するために使われる台木用品種に日本品種を接ぎ木すると収量が増加するとの報告（Higashide ら, 2014）とも矛盾しない。一般的に、トマト栽培過程において植物体にストレスが負荷されると、果実収量が低下し、果実中の糖度が上昇することが知られている。長期多段栽培（春季）試料が、低段密植（夏季）試料と比べて、高い遊離糖およびクエン酸濃度を示した一因として、このような栽培後期における植物体へのストレス負荷が考えられる。本研究で用いた栽培システムにおいて、上述のような水分ストレス負荷を回避するためには、水分環境についてもユビキタス制御システムにより状況をモニターし、環境急変時にも迅速に灌水ができるような仕様とする必要がある。

本研究では、日蘭両品種の呈味関連成分を中心に議論してきたが、一般的に言われてきたように、日本品種の食味がオランダ品種より優れていることを長期多段栽培および低段密植栽培の両栽培法において、具体的な成分含量で示す結果となった。遊離糖含量だけでなく、遊離アミノ酸の含量や組成比等、日本品種とオランダ品種間の差異を特徴付ける成分が明らかとなった。一方、収量性については、いずれの栽培法においても、オランダ品種が日本品種より優れており、日本品種の 1.17–1.40 倍の総収量となった。以上の結果から、供試したオランダと日本の品種を比較する限りでは、トマトの呈味関連成分の含有量と果実収量性とは負の相関がある可能性が考えられた。

トマトの“おいしさ”には、本研究で分析対象とした成分だけでなく、他の生体成分や香気成分、更には食感に関連する物性等が密接に関係していると考えられる。日蘭両品種間の食味・食感の特徴を明らかにするには、さらに分析対象を広げる必要があるであろう。また、本研究の成分分析では、各栽培法において栽培終了期に近い一点の試料を比較したに過ぎない。今後は、栽培期間を幅広く網羅する形で分析をおこなうことが望まれる。

V 摘 要

大玉トマトの代表的な日本品種とオランダ品種をフェンロー型ハウスにおいて同一条件で養液栽培し、収量を調査するとともに、収穫果実中の呈味関連成分の定量分析をおこなった。呈味関連成分として、有機酸（クエン酸）、遊離アミノ酸（グルタミン酸、グルタミン、アスパラギン酸、GABA）、遊離糖（果糖、ブドウ糖、ショ糖）、無機陽イオン（K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺）をキャピラリー

電気泳動法により定量した結果、長期多段栽培および3段密植栽培のいずれの栽培法においても、グルタミンとCa²⁺を除く全ての呈味関連成分について、日本品種における含有濃度がオランダ品種と比べ高い傾向が示された。一方、収量性については、いずれの栽培法においても、オランダ品種が日本品種より優れており、日本品種の1.17–1.40倍の総収量となった。以上の結果から、供試した日蘭トマト品種において、果実中の呈味関連成分の含有量と果実収量性との間には負の相関がある可能性が考えられた。

引用文献

- 橋本仁・高田明和 (2006)：砂糖の科学。シリーズ〈食品の科学〉，朝倉書店，東京。
- Higashide, T. and E. Heuvelink (2009): Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. *J. Am. Soc. Hortic Sci.*, **134**(4), 460-465.
- Higashide, T., A. Nakano and K. Yasuba (2014): Production of a Japanese tomato 'Momotaro York' are improved by grafting onto a Dutch rootstock 'Maxifort'. *J. Japan. Soc. Hort. Sci. Preview*, doi: 10.2503/jjshs1.CH-048.
- Higashide, T., K. Yasuba, K. Suzuki, A. Nakano and H. Ohmori (2012): Yield of Japanese tomato cultivars has been hampered by a breeding focus on flavor. *HortScience*, **47**(10), 1408-1411.
- 東出忠桐 (2010)：トマトの収量－オランダの多収化，日本の夏秋季の収量変動－を探る。植調，**44**(5)，161-171。
- 堀江秀樹 (2009)：キャピラリー電気動法による野菜の要呈味成分の分析。分析化学，**58**(12)，1063-1066。
- 副家眞也 (1994)：食品の味。おいしさの科学，69-81。朝倉書店，東京。
- 河合美佐子 (2003)：アミノ酸の味 その2。Ajico News，**209**，1-6。
- Matsuda, R., D.H. Ahn, A. Nakano, K. Suzuki, and M. Takaichi (2013): Leaf gas-exchange characteristics of four Japanese and four Dutch tomato cultivars grown in a greenhouse. *Sci. Hortic.*, **156**, 19-23.
- Matsuda, R., A. Nakano, D.H. Ahn, K. Suzuki, K. Yasuba and M. Takaichi (2011a): Growth characteristic and sink strength of fruit at different CO₂ concentrations in a Japanese and a Dutch tomato cultivar. *Sci. Hortic.*, **127**(4), 528-534.
- Matsuda, R., K. Suzuki, A. Nakano, T. Higashide and M. Takaichi (2011b): Responses of leaf photosynthesis and plant growth to altered source-sink balance in a Japanese and a Dutch tomato cultivar. *Sci. Hortic.*, **127**(4), 520-527.
- 松永啓 (2013)：トマトの長期多段どり養液栽培における品種・系統比較試験からみた高糖度・多収性育種の可能性。ハイドロポニックス，**27**(1)，36-37。
- 中川勝也 (2004)：トマト。品質・鮮度保持，108-113，農山漁村文化協会，東京。
- 中野明正・安場健一郎・東出忠桐 (2012a)：オランダと日本トマト品種の形態的特徴と多収性との関連。農業および園芸，**87**(10)，993-997。
- 中野明正・東出忠桐・安場健一郎・大森弘美・金子壮・鈴木克己 (2012b)：植物工場技術の研究・開発および実証・展示・研修拠点 (5) 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所つくば研究拠点。植物環境工学，**24**(4)，219-223。
- Oruna-Concha, M.J., L. Methven, H. Blumenthal, C. Young and D.S. Mottram (2007): Differences in glutamic acid and 5'-ribonucleotide contents between flesh and pulp of tomatoes and the relationship with umami taste. *J. Agric. Food Chem.*, **55**(14), 5776-5780.
- Saito, T., C. Matsukura, M. Sugiyama, A. Watahiki, I. Ohshima, Y. Iijima, C. Konishi, T. Fujii, S. Inai, N. Fukuda, S. Nishimura and H. Ezura (2008): Screening for γ -aminobutyric acid (GABA)-rich tomato varieties. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **77**, 242-250.
- Saito, T., Y.G. Yin, M. Matsuoka, C. Matsukura, N. Fukuda and S. Watanabe (2011): An investigation of differences in fruit yield and components contributing to increased fruit yield in Japanese and Dutch tomato cultivars. *Plant Biotechnol.*, **28**(5), 455-461.
- 佐々木公子・岩城知津・植野洋志 (2010)：GABA (γ -アミノ酪酸)の味覚への関与について。美作大学・美作大学短期大学部紀要，**55**，65-70。
- 佐々木公子・渡部治奈・植野洋志 (2011)：GABA (γ -アミノ酪酸)の味覚への関与について～酸味と塩味への関与～。美作大学・美作大学短期大学部紀要，**56**，9-14。
- Soga, T. and G.A. Ross (1999): Simultaneous determination of inorganic anions, organic acids, amino acids and carbohydrates by capillary electrophoresis. *J. Chromatogr. A*, **837**(1-2), 231-239.
- 辻村卓・青木和彦 (2003)：野菜のビタミン・ミネラル・栽培に関する情報。野菜のビタミンとミネラル，73-98，女子栄養大学出版部，東京。
- 安場健一郎・鈴木克己・佐々木英和 (2011)：トマト長期多段栽培における多収のための統合環境制御下での温室環境と収量の推移。野菜茶研研報.，**10**，85-93。

Characteristics of Taste Components and Fruit Yields of Dutch and Japanese Tomato Cultivars

Akira Ando, Akimasa Nakano, So Kaneko, Rinka Sakaguchi-Yokoyama,
Tadahisa Higashide, Makoto Hatanaka and Satoru Kimura

Summary

Dutch and Japanese tomato cultivars were hydroponically grown under identical conditions in a Dutch light-type greenhouse, and yields and major taste-related components (citric acid, glutamic acid, glutamine, aspartic acid, γ -aminobutyric acid, fructose, glucose, sucrose, K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+}) of fruits were analyzed. Quantitative analysis by capillary electrophoresis showed that fruits of Japanese cultivars had higher contents of all taste-related components except for glutamine and Ca^{2+} than those of Dutch cultivars under both long-term culture and low-node-order-pinching dense-planting culture. In contrast to the contents of taste-related components, total fruit yields of Dutch cultivars were much higher than those of Japanese cultivars under both cultivation methods. These results suggest that among the Dutch and Japanese cultivars tested, the contents of taste-related components in tomato fruits are negatively correlated with total fruit yields.