濃赤色イチゴ新品種 ‘真紅の美鈴’ の果実品質およびアントシアニン色素

水野真二^{1*}・成川 昇²・近藤春美¹・上吉原裕亮¹・立石 亮¹・
窪田 聡¹・新町文絵¹・渡辺慶一¹

¹ 日本大学生物資源科学部 252-0880 神奈川県藤沢市亀井野

² ナルケンいちご園 299-3251 千葉県大網白里市大網

Anthocyanin Pigments and Quality of the Deep Red Strawberry Cultivar ‘Shinku-no-misuzu’

Shinji Mizuno^{1*}, Noboru Narukawa², Harumi Uto-Kondo¹, Yusuke Kamiyoshihara¹,
Akira Tateishi¹, Satoshi Kubota¹, Fumie Shinmachi¹ and Keiichi Watanabe¹

¹ College of Bioresource Sciences, Nihon University, Kameino, Fujisawa, Kanagawa 252-0880

² Naruken Strawberry Farm, Oami, Oamishirasato, Chiba 299-3251

Abstract

The deep red strawberry cultivar ‘Shinku-no-misuzu’ was newly bred from a crossing between ‘Fusanoka’ and ‘Reiko’, and was characterized regarding aspects of the flowering time, yield, and fruit quality under forcing culture in Kanagawa Prefecture. ‘Shinku-no-misuzu’ exhibited slightly slower floral bud differentiation than the conventional cultivar ‘Tochiotome’, but showed high fruit hardness and a >20 brix/acid ratio. Relatively large amounts of glucose and fructose accumulated in ‘Shinku-no-misuzu’ fruit. The total anthocyanin content of the fruit was 185 µg • g-1 FW, which reached around three-fold the content of ‘Tochiotome’. The higher amount of anthocyanins, which are also known as antioxidants, in ‘Shinku-no-misuzu’ did not boost the total antioxidant activity of juice. Because >80% of anthocyanins were composed of pelargonidin glycosides in all cultivars investigated, the deep red color of ‘Shinku-no-misuzu’ fruit may not have been due to the anthocyanin composition but simply to the higher anthocyanin content.

Key Words : antioxidant activity, breeding, forcing culture, polyphenol, yield

キーワード : 育種, 抗酸化活性, ポリフェノール, 収量, 促成栽培

1. 品種開発の背景

近年、日本のイチゴは多品種化が進行しており、公設試験場、民間会社、個人育種家などによる育種が盛んに行われている。イチゴの育種目標としては、大果性、良食味性、早生性、多収性、病害抵抗性、輸送性といった形質が一般に追求されるものの、近年は果実の色、成分、芳香などに従来品種とは異なる特徴を持つ品種が登場している。例えば、‘和田初こい’（商標名「初恋の香り」）や‘淡雪’は果皮色がそれぞれ淡紅色および淡橙色を呈する品種であり、いずれも希少性の高い「白いちご」として一般に認知されている。‘おいCベリー’（曽根ら, 2017）はアスコルビン酸（ビタミンC）を多く含み、10倍体品種の‘桃薫’（野口ら, 2011）はモモ様の芳香を有していることから、これらの機能性や香りの特徴を生かして利用されている。

このような特徴的な品種が普及する中、本報の著者である成川は、濃赤色果を特徴とする一季成り性イチゴ品種

‘真紅の美鈴’を個人で育成した。本品種は果色の濃さを選抜基準として育成されたものではないが、その色の特徴を生かした利用が千葉県内などの産地で始まっている。そこで本論文では‘真紅の美鈴’の育成経過に加え、関東地方での促成栽培における栽培特性、果実品質および果実に含まれるアントシアニン色素の成分などについて従来品種と比較し、その特徴を明らかにしたので報告する。

2. 育成経過

品種の育成経過を第1図に示す。育成は千葉県大網白里市のパイプハウスで行った。良食味性を備える‘ふさの香’を母親に、現在広く普及している‘とちおとめ’や‘紅ほっぺ’などの祖先にあたり、大果性を備える‘麗紅’（成川ら, 1981）を父親にした交配後代の実生（F₁）を2003年4月に得て、同年9月に150株を定植した。2004年は草勢が強く、果実が硬くて食味が優れるという基準で25個体を選抜した。各個体からランナーで増殖した10～20株程度を1つの系統とし、2005年から2007年にかけて系統選抜を行った。選抜の基準は、個体選抜時の基準に加えて果数が多く、概ね年内から収穫できる早生性を有し、果形が正円錐形であるものとした。最終的に選抜された‘C5-

2019年11月29日 受付。2020年6月4日 受理。

本報告の一部は園芸学会平成30年度春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: mizuno.shinji@nihon-u.ac.jp

第1図 ‘真紅の美鈴’の育成経過

14’は、促成栽培に向く一定の早生性、多収性および果実品質を備えるとともに、果皮色および果肉色が極めて濃い赤色を呈する（第2図）という特性を有していた。この果色は選抜基準にない想定外の形質であったものの、千葉県内の数軒の生産者およびその直売所利用者が‘C5-14’の食味を絶賛したことから、本系統を新品種として有望と判断した。2011年10月27日に育成者である成川が‘真紅の美鈴’と命名して品種登録出願（出願番号第26416号）を行い、2012年2月20日出願公表され、2015年2月3日に品種登録（登録番号第23452号）された。

‘真紅の美鈴’の普及拡大にあたっては、栽培特性や果実品質に関する学術的な知見が望まれるため、後述のとおり日本大学において特性調査を実施した。

3. 栽培特性

1) 花芽分化および開花特性

日本大学生物資源科学部（神奈川県藤沢市）で2016～2018年の各年度に調査を実施した。育苗は雨よけハウスで行い、毎年6月上旬から7月下旬にかけて親株から発生した子株を9cm径ポリポットに鉢受けし、7月末に親株から切り離して苗を養成した。鉢受け後は概ね1か月間隔で

真紅の美鈴

とちおとめ

第2図 ‘真紅の美鈴’および‘とちおとめ’の果実

粒状化成肥料を株元に追肥し、1回当たりの施肥量は成分量で窒素、りん酸、カリともに約60 mg/株とした。最終の追肥時期は8月上旬とした。2018年度のみ‘真紅の美鈴’の一部の苗で夜冷短日育苗を行い、8月9日から8月31日までの22日間、プレハブ冷蔵庫に苗を入出庫して日長8時間（17時入庫、翌朝9時出庫）、夜温14℃となるように処理した。処理後は定植まで雨よけハウスで管理した。

夜冷短日育苗でない普通育苗の‘真紅の美鈴’は、2016～2018年度のいずれの試験においても同じ定植日に花芽分化調査した‘とちおとめ’と比べて花芽の分化や発達が進んでいない傾向がみられ、2016年度は9月12日時点で5株中3株が、2018年度は9月10日時点で5株中5株が花芽未分化であった（第1表）。一方、年度を問わず9月19日以降に調査した株ではすべて花芽分化していた。

第1表 ‘真紅の美鈴’および‘とちおとめ’の花成の進展および収穫始期

年度	栽培体系	品種	定植日	定植時花芽分化指数 ^z	半数開花日 ^y		収穫始期 ^x
					頂花房	第一腋花房	
2016	普通育苗＋無加温ハウス栽培	真紅の美鈴	9月12日	1	11月26日	—	1月3日
		とちおとめ		4	11月5日 ^{*w}		12月13日 [*]
2017	普通育苗＋加温ハウス栽培	真紅の美鈴	9月19日	2	11月11日	—	12月21日
		とちおとめ		4	11月8日 [*]		12月16日 ^{ns}
2018	普通育苗＋加温ハウス栽培	真紅の美鈴	9月20日	4	11月3日	1月21日	12月6日
		とちおとめ		6	11月2日 ^{ns}	1月15日 ^{ns}	11月29日 [*]
	夜冷短日育苗＋加温ハウス栽培	真紅の美鈴	9月10日	7	10月13日	1月7日	11月6日
	普通育苗＋加温ハウス栽培			0	12月16日 [*]	2月4日 [*]	12月3日 [*]

^z 5株の成長点を検鏡し、0：未分化、1：肥厚期、2：分化期、3：花房分化期、4：がく片形成期、5：花弁形成期、6：雄ずい形成期、7：雌ずい形成期として評価

^y 各反復内の50%の株で花房内頂花が咲いた日の平均、—は未調査

^x 各反復内の累積の収穫果数が10株当たり5果を超えた日の平均

^{*w} はt検定により5%水準で有意差あり、nsは有意差なし

なお、2018年度において夜冷短日育苗を行った‘真紅の美鈴’では、9月10日時点でぐく片形成期以降まで花芽が発達していた。

パイプハウスに畝間105 cm、ベッド幅65 cm、通路幅40 cm、ベッド高30 cmの土耕栽培用の畝を作り、株間20 cm、条間25 cm、2条で本葉数3～4枚に調整した苗を定植した。施肥は緩効性肥料（180日タイプ）の全量基肥とし、10 a当たり成分量は窒素、リン酸、カリともに12 kgとした。9月末までに銀色ポリエチレンフィルムで畝をマルチングした。50%の株で花房内頂花が咲いた日を半数開花日とし、累積の収穫果数が10株当たり5果を超えた日を収穫始期とした。試験規模は1区12株、4反復とした。

2016年度は、定植時点で花芽未分化の株が多かった‘真紅の美鈴’は‘とちおとめ’と比べて頂花房の半数開花日、収穫始期がいずれも21日遅れた。2017年度は、‘真紅の美鈴’と‘とちおとめ’の頂花房の半数開花日はいずれも11月10日頃、収穫始期はいずれも12月20日頃であった。2018年度は、9月20日に定植した‘真紅の美鈴’と‘とちおとめ’の頂花房の半数開花日は同等であり、収穫始期は‘真紅の美鈴’が‘とちおとめ’より7日遅かったものの、いずれも12月上旬には収穫可能であった。なお、夜冷短日育苗を行った‘真紅の美鈴’は、頂花房の半数開花日が10月13日、収穫始期が11月6日まで早まった。

2) 収量性

調査は6 g以上の果実を対象に収穫開始から毎週2回のペースで行い、2016年度は2017年5月15日まで、2017年度は2018年4月30日まで、2018年度は2019年5月22日まで実施した。2016年度は暖房機を用いない無加温促成栽培とし、12月1日から2月28日まで透明ポリエチレンフィルムの1層カーテンで内張りした。2017年度と2018年度はヒートポンプを用いる加温促成栽培とし、12月1日から2月28日まで最低気温7℃設定で加温した。各年度の12～2月のハウス内における日最低気温の平均は、2016年度は3.1℃、2017年度は5.0℃、2018年度は6.2℃であった。試験規模は1区12株、4反復とした。

各年度の累積収量の推移を第3図に示す。2016年度は花芽未分化苗を定植したこともあり、‘真紅の美鈴’は12月末までの年内収量が少なかったものの、無加温栽培にもかかわらず1～2月の厳寒期も一定のペースで累積収量が増加し、5月15日までの総収量は‘とちおとめ’と比べて有意な差はみられなかった。2017年度の累積収量は年末から2月にかけて直線的に増加し、3月以降は急激に増加した。4月30日までの総収量は株当たり700 gを超え、‘とちおとめ’の総収量を13%上回った。2018年度は、5月22日までの総収量は同日に定植した‘とちおとめ’と同等であったが、この年度はいずれの品種も腋花房の出蕾が著しく遅れ、第一腋花房の半数開花日が1月以降にずれ込んだ（第1表）。この影響で、1月後半から2月中旬にかけて収穫できる果実が極めて少ない状況となり、総収量は前年

第3図 栽培年度別累積収量の推移

折れ線右側の数値は総収量を示す。*は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし (t検定, $n=4$)。また、異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法, $n=4$)

比で60%程度にとどまった。夜冷短日育苗をした‘真紅の美鈴’は、12月上旬までに株当たり100 g弱の収量が得られたが、その後は普通育苗の株と同様に収穫の中休みが続いた。2月下旬以降は収量が急回復し、総収量は普通育苗の株を20%程度上回った。

4. 果実特性

1) 1果重、硬度および糖酸度

2016～2018年度の栽培における‘真紅の美鈴’の平均1果重は15.7 gであった（第2表）。また、収穫した15～20 g程度の完熟果（果面の概ね95%が着色したもの）の硬度を果実硬度計（KM-1, (株)藤原製作所）で計測したところ、‘真紅の美鈴’は‘とちおとめ’と同等の硬さであった。果汁の糖度をポケット糖酸度計（PAL-BX/ACID F5, (株)アタゴ）で測定し、酸度を水酸化ナトリウム水溶液による中和滴定法で測定したところ、‘真紅の美鈴’の12月から5月までの平均糖度は12°以上であり、糖酸比は20以上であった（第2表）。

2) 糖組成

糖の分析には-80℃で凍結した1～2 gの果実片（果頂部を中心に放射状に切り出したもの）を供試し、約10 mLの70℃に熱した80% (v/v) エタノールを加え、さらに標準物質として5 mgのmeso-エリトリトールを加えてポリトロンホモジナイザーで磨砕した。これを時々混和しながら70℃に10分間置き、低分子の糖を抽出した。遠心分

第2表 ‘真紅の美鈴’ および ‘とちおとめ’ 果実の品質および糖組成

品種	1果重 ^z (g)	硬度 ^{y,x} (kg)	糖度 ^y (°Brix)	酸度 ^w (%)	糖酸比 ^v	糖含量 ^y (mg・g ⁻¹ FW)			
						グルコース	フルクトース	スクロース	合計 ^u
真紅の美鈴	15.8	0.49	12.1	0.59	20.5	26.5	23.3	32.7	82.5
とちおとめ	17.1	0.46	11.5	0.62	18.5	19.4	17.0	42.6	79.0
分散分析 ^t	ns	ns	ns	ns	—	*	*	*	ns

^z 2016～2018年の各年度に収穫した6g以上の全果実の平均値^y 2016年12月から2017年5月にかけて毎月1回、各月4果（硬度は5果）を調査した平均値^x 1果につき果実の表裏（日光に当たる面またはその逆）の2か所を測定し、基部径12mmの円錐形プランジャーによる貫入抵抗値で評価^w -80℃で凍結した糖度測定後の果汁を供試し、月別に混合して中和滴定法で測定した平均値（クエン酸換算値）^v 糖度／酸度^u グルコース、フルクトースおよびスクロースの合計^t *は5%水準で有意差あり、nsは有意差なし

離後の上清を、Tateishiら（2004）の方法に従って高速液体クロマトグラフィー（HPLC, Prominence, (株)島津製作所）で分析した。カラムはNH2P50 4E（昭和電工(株)）、温度は30℃、移動相は70%（v/v）アセトニトリル、流速は毎分1mLとし、示差屈折率検出器RID-20A（(株)島津製作所）を用いて検出した。‘真紅の美鈴’の糖組成はグルコース、フルクトース、スクロースの3種類が主体であり、‘とちおとめ’と比べて還元糖であるグルコースとフルクトースの割合が高く、非還元糖であるスクロースの割合が低かった（第2表）。

3) 果皮色

ハンディ型分光色差計（NF555, 日本電色工業(株)）測定面積4mm径）を用いて果実赤道面の色をL*a*b*表色系で評価したところ、‘真紅の美鈴’は明度（L*値）が‘とちおとめ’、‘麗紅’、‘ふさの香’、‘紅ほっぺ’、‘さちのか’のいずれよりも低く、相対的に暗い色であった（第3表）。また、a*値とb*値がよりゼロに近く彩度が低かったことから、‘真紅の美鈴’の果皮色は独特であり、その両親である‘ふさの香’と‘麗紅’を含む他品種との区別性が高いことが裏付けられた。

第3表 分光色差計による果面色の比較

品種	明度 ^{z,y}	色空間座標 ^z		彩度 ^x
		a*	b*	
真紅の美鈴	21.5	23.0	13.5	26.7
とちおとめ	25.6 **	30.0 *	21.8 *	37.1 *
麗紅	26.3 *	30.7 *	22.7 *	38.2 *
ふさの香	28.1 *	30.2 *	21.9 *	37.4 *
紅ほっぺ	25.5 *	31.2 *	22.6 *	38.6 *
さちのか	25.5 *	31.9 *	19.4 *	37.4 *

^z 2018年12月25日に収穫した各品種10果の完熟果を供試し、1果につき果実の表裏を含む4か所の果実赤道面の色を測定した平均値^y 明度=L*^x 彩度=(a*²+b*²)^{1/2}^w *はDunnett法により‘真紅の美鈴’と比較して5%水準で有意差あり、nsは有意差なし

4) アントシアニン組成

アントシアニン色素の分析には、凍結した1～2gの果実片と、果実から分離した果皮（瘦果を含む）と果肉をそれぞれ供試した。サンプル10倍量（v/w）の50%（v/v）酢酸に浸してアントシアニンを抽出し、HPLCで分析した。カラムの種類、温度、移動相および流速は渡辺ら（2014）の方法に従い、フォトダイオードアレイ検出器SPD-M20A（(株)島津製作所）を用いて520nmの波長を検出した。アントシアニンの量はシアニジン3-グルコシドで作成した検量線を用いて換算した。

イチゴ果実に含まれるアントシアニン色素は、ペラルゴニジンまたはシアニジンの配糖体が主成分であることが知られている（da Silvaら, 2007; Yoshidaら, 2002）。‘真紅の美鈴’のアントシアニンは、クロマトグラム上において5つのピークが認められ、このうち4つはシアニジン3-グルコシド（Cy 3-glc）、ペラルゴニジン3-グルコシド（Pg 3-glc）、ペラルゴニジン3-ルチノシド（Pg 3-rut）、ペラルゴニジン3-マロニルグルコシド（Pg 3-maglc）によるものと推定された（第4図A）。‘真紅の美鈴’はPg 3-glc、Pg 3-maglc、Cy 3-glcの順に多く含んでおり、これらの構成比は‘とちおとめ’、‘麗紅’、‘ふさの香’および‘紅ほっぺ’と概ね同等だった（第4図B）。一方、‘真紅の美鈴’において検出されたアントシアニン5成分の合計含量は果実1g当たり185μgであり、これは‘とちおとめ’の2.8倍、‘ふさの香’、‘麗紅’、‘紅ほっぺ’および‘さちのか’の約2倍にのぼった。また、‘真紅の美鈴’の果皮と果肉における5成分の含量をそれぞれ定量したところ、果皮1g当たりの合計含量は435μgに達し、果肉1g当たりの含量97μgの4.5倍であった。また、‘真紅の美鈴’と‘とちおとめ’の部位別に5成分の含量を比較すると、果皮では‘真紅の美鈴’の方が2.5倍多く、果肉では3.9倍多かった。一方、アントシアニンの構成比を部位間で比べると、両品種とも果皮ではCy 3-glcの割合が相対的に低かった。以上のように、アントシアニンの構成比には品種や果実の部位によって多少の差異がみられるものの、いずれもペラルゴ

第4図 イチゴ果実のアントシアニン色素

A: '真紅の美鈴' 果実から抽出したアントシアニン色素のクロマトグラム

B: アントシアニン色素の組成およびその構成割合

左側のグラフは果実の切片から抽出した色素, 右側のグラフは分離した果皮と果肉からそれぞれ抽出した色素を示す. グラフバー上の数値は新鮮重1g当たりの色素5成分の合計含量(μg)を示し, *は5%水準で有意差があることを示す(左上のグラフは'真紅の美鈴'を対照としたDunnett法, 右上のグラフはt検定, いずれもn=6)

Cy 3-glc: シアニン 3-グルコシド, Pg 3-glc: ペラルゴニン 3-グルコシド, Pg 3-rut: ペラルゴニン 3-ルチノシド, Pg 3-maglc: ペラルゴニン 3-マロニルグルコシド

ニン配糖体が全体の80%以上を占めていた.

5) 抗酸化活性および総ポリフェノール含量

アントシアニンはポリフェノールの一種であり, 活性酸素を除去する高い抗酸化活性があることが知られている(Kähkönen・Heinonen, 2003). そこで, '真紅の美鈴'を含む6品種のイチゴ果汁における抗酸化活性およびポリフェノール含量を調査した. 分析では完熟果を3果まとめて圧搾し, 軽く遠心分離して固形物を除いた後の果汁を供試した. 抗酸化活性の測定はDPPH法(Rattyら, 1988)を用いて行った. 20μLの果汁に1.98mLの0.1mM 2,2-ジフェニル-1-ピクリルヒドラジル(DPPH)エタノール溶液を添加して混和し, 遮光下で20分間静置した後, 517nmの吸光度を測定した. 検量線はアスコルビン酸ナトリウム水溶液で作成し, DPPHラジカル消去活性の当量を求めた. 総ポリフェノール含量の測定はフォーリン-チオカルト法

(O'Sullivan・Mathison, 1970)を用いて行った. 25μLの果汁に1.5mLの蒸留水, 125μLのフェノール試薬(ナカライテスク(株)), 375μLの10%(w/v)炭酸ナトリウム水溶液を順に加えて混合し, 8分間静置した. さらに950μLの蒸留水を加えて混合し, 室温で2時間静置した後, 765nmの吸光度を測定した. 検量線はカテキン水溶液で作成した.

'真紅の美鈴'の抗酸化活性は同品種の片親にあたる'ふさの香'より高く, 総ポリフェノール含量はもう一方の片親にあたる'麗紅'と, 'ふさの香'および'紅ほっぺ'の3品種と比べて高かった(第4表). なお, 'とちおとめ', 'さちのか'との比較では, 抗酸化活性および総ポリフェノール含量のいずれにも有意な差はみられなかった.

5. 普及状況

'真紅の美鈴'の品種利用権の許諾実績から推測すると,

第4表 イチゴ果汁の抗酸化活性と総ポリフェノール含量

品種	抗酸化活性 ^z (μmol アスコルビン酸当量 $\cdot\text{mL}^{-1}$)	総ポリフェノール含量 ^z (μg カテキン当量 $\cdot\text{mL}^{-1}$)
真紅の美鈴	5.7	1,167
とちおとめ	6.0 ns ^y	1,210 ns
麗紅	5.1 ns	1,017 *
ふさの香	4.8 *	1,003 *
紅ほっぺ	5.2 ns	965 *
さちのか	5.4 ns	1,104 ns

^z 2018年3月15日に収穫した15～20gの完熟果を対象に、3果ずつまとめて抽出した果汁6セットを調査した平均値

^y *はDunnett法により‘真紅の美鈴’と比較して5%水準で有意差あり、nsは有意差なし

2018年の生産軒数は約50軒であり、許諾先の大半は千葉県内の生産者である。千葉県では、生産果実のほぼ全量が直売および観光摘みとり用途に利用されており、市場出荷は基本的に行われていない。果皮および果肉が極めて濃い赤色を呈することが他品種との差別化に貢献している。この果色のインパクトが強い上、市場流通していないことから希少性が高く、千葉県内の直売所では‘とちおとめ’などの従来品種よりも高値で取引されている。なお、2019年時点では‘真紅の美鈴’の苗を市販しておらず、利用を希望する生産者には育成者権者である成川と許諾契約を結んだ上で個別に苗を提供している。

6. 考察

‘真紅の美鈴’はアントシアニン色素を多く含む濃赤色果を特徴とする新品種である。果実は平均糖度が12°を超え、食味の指標となる糖酸比が20を上回り、還元糖のフルクトースとグルコースを比較的多く含んでいる。スクロースやグルコースは温度によらず一定の甘味を呈するのに対し、フルクトースは低温下で甘味が増す性質が強いことから(岡本・吉田, 2014)、フルクトースが多い‘真紅の美鈴’の甘味を際立たせるには果実が冷えた状態で食することが重要である。販売時に冷やした果実を試食させる、収穫体験型観光農園であれば果実温度が下がらない午前中に食させるなどの工夫を行うことで、本品種の食味の評価がさらに高まると考えられる。また、‘真紅の美鈴’は育成当初から輸送性を考慮して果実の硬さを選抜基準に加えており、実際に‘とちおとめ’並の硬度があることから、市場出荷向けのパッキングや消費地への輸送にも対応できると予想される。一方、‘真紅の美鈴’は個人で育成した品種であるため、公的機関や民間会社が育成した品種と比べてプロモーション力が弱いことが課題であり、市場出荷のためには宣伝やブランド化を進めて生産者・消費者双方の認知度を高めるとともに、産地ぐるみでの安定出荷体制を整備することが求められる。

一方、‘真紅の美鈴’は花芽分化が‘とちおとめ’よりやや遅く、花芽未分化苗の定植は開花や収穫開始の遅れを招いた。千葉県内の産地においても、本品種を9月20日よ

り前に定植すると開花の遅れやばらつきが生じることがあるため、南関東地域における本品種の定植適期は9月20日頃以降であると考えられる。また、他の一季成り性品種と同様に、夜冷短日育苗が花芽分化の早期誘導に有効であることから、秋の早い時期に収穫する早出し栽培にも対応できる。なお、2018年度は品種、定植日および短日夜冷処理の有無に関わらず第一腋花房の開花が遅れて収穫の中休みが生じたが、この年度には千葉県大網白里市で栽培した‘とちおとめ’や‘真紅の美鈴’を含む一季成り性品種全般においても同様の中休みが確認されている。2018年は第一腋花房分化期にあたる10月が温暖であったため、腋花房の分化が妨げられて中休みが生じたものと推測される。一方、観光摘みとり用途では必ずしも促成作型による早出しを行う必要はなく、営業が本格化する1月以降の収量を安定化させることが重要である。‘真紅の美鈴’の花芽未分化苗を定植して無加温栽培した2016年度の試験では、1～2月に一定のペースで収量が増加したことから、観光農園では未分化苗定植や無加温栽培を一部のハウスに導入することで、腋花房分化の遅延による中休みのリスクを低減できる可能性がある。

‘真紅の美鈴’果実に含まれるアントシアニン色素はペラルゴニジン配糖体が組成の90%を占め、色素成分の構成比は従来品種の‘とちおとめ’や‘紅ほっぺ’と変わらなかった(第4図B)。このことから、‘真紅の美鈴’が濃赤色を呈するのはアントシアニンの組成の違いによるものではなく、果皮や果肉に含まれる色素の絶対量が多いためと考えられる。Yoshidaら(2002)も、イチゴの果色にはアントシアニンの組成よりも含量の方が大きく影響することを示しており、我々の結果もこの知見に沿うものである。一方、‘真紅の美鈴’は、その親である‘ふさの香’と‘麗紅’のいずれよりもアントシアニンの含量が多かったことから、‘真紅の美鈴’のゲノムには双方の親に由来するアントシアニン合成に働く遺伝子座が集積されており、その結果として両親を上回る多量の色素を蓄積するものと推測される。

アントシアニンは抗酸化活性のあるポリフェノールの一種であり、‘真紅の美鈴’はアントシアニンを多く含むことから高い抗酸化活性を示すことが期待されたが、アントシアニン含量が同品種の40%未満である‘とちおとめ’と比較しても、果汁の抗酸化活性に有意な差はみられなかった。品種ごとの抗酸化活性の高低は総ポリフェノール含量の多少と概ね一致しており(第4表)、‘真紅の美鈴’と‘とちおとめ’の総ポリフェノール含量は同等であることから、結果として抗酸化活性に差が生じなかったと考えられる。曽根ら(2017)は、イチゴの抗酸化活性における抗酸化成分の寄与度を明らかにしており、ポリフェノールの一種であるエラグ酸の寄与度が8品種の平均で68%、アスコルビン酸が21%、アントシアニンが11%と算出している。このことも、果実全体の抗酸化活性におけるアント

シアニンの寄与が限定的であることを示している。一方、アントシアニンの機能性として、様々ながん、心疾患、神経変性疾患、糖尿病および代謝系疾患の抑制作用がヒトの臨床試験や疫学研究を含む実験で明らかにされているが、これらの健康増進効果は抗酸化作用によるものだけではなく、アントシアニン自体が細胞内シグナル伝達や炎症経路などに作用するためと考えられている (Lila ら, 2016)。個別の食品の機能性は科学的根拠に基づく議論が必要であるものの、アントシアニンを多く含む‘真紅の美鈴’の機能性を示すことができれば、果実やその加工品の付加価値向上につながると期待される。

摘 要

アントシアニン色素を多く含み、果実が濃赤色を呈する促成栽培用イチゴ品種‘真紅の美鈴’を育成した。神奈川県における試験栽培において、本品種は‘とちおとめ’より花芽分化がやや遅く、定植適期は9月20日頃以降であると考えられた。果実の硬度は‘とちおとめ’並みに高く、糖酸比は20を超え、還元糖のグルコースとフルクトースを比較的多く含んでいた。果実のアントシアニン色素の含量は新鮮重1g当たり185 µgであり、母親の‘ふさの香’および父親の‘麗紅’の約2倍、‘とちおとめ’の約3倍であった。一方、果汁の抗酸化活性には‘真紅の美鈴’と従来品種で大きな差はみられず、アントシアニンの抗酸化活性への寄与度は低いと推定された。アントシアニンの組成はペラルゴニジン配糖体が80%以上を占めており、検出された5成分の構成比は‘とちおとめ’や親品種と概ね同等であった。このことから、‘真紅の美鈴’が濃赤色を呈するのはアントシアニン組成の影響ではなく、色素の含量が顕著に多いためと考えられた。

謝 辞 本研究の実施に当たり、栽培、調査および実験に協力いただいた日本大学生物資源科学部の学生、特に神山拓也氏、野口琴未氏、佐々木龍之介氏に感謝いたします。

引用文献

da Silva, F. L., M. T. Escribano-Bailón, J. J. P. Alonso, J. C. Rivas-Gonzalo and C. Santos-Buelga. 2007. Anthocyanin pigments in strawberry. *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 374–382.

Kähkönen, M. P. and M. Heinonen. 2003. Antioxidant activity of

anthocyanins and their aglycons. *J. Agric. Food Chem.* 51: 628–633.

Lila, M. A., B. Burton-Freeman, M. Grace and W. Kalt. 2016. Unraveling anthocyanin bioavailability for human health. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 7: 375–393.

成川 昇・石橋光治・荻原佐太郎・土岐知久. 1981. イチゴ新品種「麗紅」の育成経過と特性. 千葉農試研報. 22: 45–55.

野口裕司・森下昌三・室 崇人・小島昭夫・坂田好輝・山田朋宏・杉山慶太. 2011. 芳香性イチゴ10倍体種間雑種品種‘桃薫’の育成とその特性. 野菜茶研報. 10: 59–67.

岡本洋子・吉田恵子. 2014. 甘味感受性に及ぼす温度の影響. 調科誌. 47: 97–102.

O’Sullivan, J. and G. E. Mathison. 1970. Interference by monosaccharides with the estimation of tyrosine and proteins using the Folin-Ciocalteu phenol reagent. *Anal. Biochem.* 35: 540–542.

Ratty, A. K., J. Sunamoto and N. P. Das. 1988. Interaction of flavonoids with 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl free radical, liposomal membranes and soybean lipoxygenase-1. *Biochem. Pharmacol.* 37: 989–995.

曽根一純・沖村 誠・北谷恵美・木村貴志. 2017. アスコルビン酸含量が多く抗酸化活性の高い促成栽培用イチゴ新品種「おいCベリー」. 九州沖縄農研セ報. 66: 66–86.

Tateishi, A., T. Nakayama, K. Isobe, K. Nomura, K. Watanabe and H. Inoue. 2004. Changes in sugar metabolism enzyme activities in cultivars of two pumpkin species (*Cucurbita maxima* and *C. moschata*) during fruit development. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 73: 57–59.

Yoshida, Y., N. Koyama and H. Tamura. 2002. Color and anthocyanin composition of strawberry fruit: Changes during fruit development and differences among cultivars, with special reference to the occurrence of pelargonidin 3-malonylglucoside. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 71: 355–361.

渡辺慶一・土屋正邦・立石 亮・井上弘明. 2014. クランベリー果実のアントシアニン, カロテノイド色素. 食生誌. 25: 137–140.