

ビート(Beta vulgaris L.)におけるベタレイン含量の品種間， 生育ステージ間および部位間による差異

誌名	園芸学研究
ISSN	13472658
著者名	渡,萌恵 池浦,博美 柘植,一希 元木,悟
発行元	園芸学会
巻/号	16巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 301-308
発行年月	2017年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ビート (*Beta vulgaris* L.) におけるベタレイン含量の品種間、 生育ステージ間および部位間による差異

渡 萌恵¹・池浦博美²・柘植一希³・元木 悟^{1*}

¹ 明治大学農学部 214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田

² 明治大学研究・知財戦略機構 214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田

³ 明治大学大学院農学研究科 214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田

Betalain Content of Different Varieties, Growth Stages, and Parts of Beet (*Beta vulgaris* L.)

Moe Watari¹, Hiromi Ikeura², Kazuki Tsuge³ and Satoru Motoki^{1*}

¹ Faculty of Agriculture, Meiji University, Higashimita, Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa 214-8571

² Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University, Higashimita, Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa 214-8571

³ Graduate School of Agriculture, Meiji University, Higashimita, Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa 214-8571

Abstract

Beet (*Beta vulgaris* L.), belonging to the family Amaranthaceae, contains a large amount of betalain, a markedly antioxidant pigment. However, few studies have been conducted to examine the betalain content in different varieties in Japan. Beet is usually harvested when the diameter of the taproot (edible root) has reached approximately five to six centimeters. However, few standards for its shipment to market have been established, and only limited information on the appropriate period to harvest beet crops containing the highest betalain content is available. The present study, involving four varieties of beet: 'Detroit Dark Red', 'Saffron Yellow', 'Gorgo', and 'Rivolta', with taproots of different colors, was conducted to examine differences in the betalain content among the varieties, and changes in the betalain content in red beet ('Detroit Dark Red') at six different growth stages. 'Detroit Dark Red', a type of red beet, contained the highest betalain content. The betalain content on a fresh weight basis in 'Detroit Dark Red' was the highest when the diameter of the taproots had reached approximately five to six centimeters, indicating that betalain intake from 'Detroit Dark Red' harvested around this period would be optimal.

Key Words : antioxidant pigment, betacyanin, betaxanthin, optimum harvest time, taproot

キーワード : ベタキサンチン類, ベタシアニン類, 肥大根, 抗酸化色素, 収穫適期

緒 言

近年、消費者の健康志向が高まり、機能性成分を多く含む野菜が注目されるようになってきた。2013年4月1日に食品表示法が施行され、2015年4月1日からは新しく「機能性表示食品」制度も始まった（消費者庁、2016）。そのため、機能性成分を謳った野菜も、今後は増えていくものと予測される。最近では、リコピンを多く含むトマト（加屋、2010；大嶋ら、2002；田淵、2007）やルチンおよびサポニンを多く含むアスパラガス（前田、2008）などが機能性成分を豊富に含む野菜として注目されているほか、カイワレダイコンやブロッコリースプラウトなどの植物の芽も、栄養価が高い野菜として、人気を集めている（前田ら、2008；高巢・宇佐美、1991）。

ところで、機能性成分を豊富に含む野菜の一つであるヒユ科植物のビートは、2年生草本であり、テーブルビートや火焰菜とも呼ばれる（芦澤、1987；香川、2016；中島、2009）。ビートは若い地上部と地下部（以下、肥大根）を利用するが、肥大根の色は白や黄、橙、帯赤、赤、紫、濃紫など多彩であり、海外ではサラダやピクルス、スープなどにして食され、親しまれている（芦澤、1987；Gokhale・Lele、2014；Latorreら、2010；中島、2009）。2016年現在、日本国内では、肥大根の色が白、黄、濃紫および渦巻き状で断面が赤白の4色のビートが流通している。しかし、ヨーロッパ産テンサイ（ビート）種子から「テンサイさび病」が発見されたことにより（農林水産省、2016）、2016年7月現在、輸入の際には「テンサイさび病」を含む病害虫の付着および土壌混入の有無の検査が行われており（植物防疫所、2016）、日本国内で一般に販売され入手できるビートの品種は限られている。そのうち、肥大根が濃紫のレッドビートでは、固定種である「デトロイト・ダークレッド」の1品種のみが日本国内で入手可能であり、「デ

2016年8月3日 受付。2016年12月20日 受理。

本報告の一部は、園芸学会平成26年秋季大会、平成27年春季大会および平成27年秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: motoki@meiji.ac.jp

トロイト・ダークレッド’の若葉は、サラダ用のベビーリーフとして国内で流通し、そのスプラウトは、暗黒条件下でも軸が鮮やかな赤色に着色する特徴があるなど (Wangら, 2006; 渡ら, 2014), 多様な品目として利用できる可能性がある。

ところで、ビートは肥大根の色や形状が似ているアブラナ科のカブとしばしば混同される。しかし、ビートはカブと異なり、アントシアニンを全く含んでおらず、ベタレインと呼ばれる抗酸化物質を豊富に含むことが特徴とされる (芦澤, 1987; Georgievら, 2010; 中島, 2009; Nizioł-Lukaszewska・Gawęda, 2014, 2015)。ベタレインは、ルチンやカテキンよりも抗酸化力が強いと報告されており (有賀ら, 2008; 川上・有賀, 2016), 機能性成分を豊富に含む野菜が注目される現代において (消費者庁, 2016), ベタレイン含量が高い野菜についても、さらなる知見が必要であると考えられる。しかし、日本国内において、ビートにおけるベタレイン含量の品種間差異を検討した研究はほとんど見当たらない。

また、ビートは一般に肥大根の直径が5~6 cm程度の時期に収穫されるが (松家, 2001), 市場流通における出荷規格は定められておらず、機能性成分であるベタレインを効率的に摂取する場合、どの時期に収穫するのが適切であるかを検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では、肥大根の色が異なるビート4品種を用い、ベタレイン含量の品種間差異を比較検討するとともに、レッドビートを生育ステージ別に6回に分け、異なる生育ステージにそれぞれ収穫し、地上部および肥大根のベタレイン含量の経時変化を調べ、生育に伴うベタレインの変化を調べた。

材料および方法

1. ビート4品種の収穫適期におけるベタレイン含量の比較 (試験1)

供試品種は、ヒユ科のビートのうち、2015年に日本で一般に販売され入手できるビートとして、濃紫色のレッドビート‘デトロイト・ダークレッド’ (タキイ種苗(株)), 外皮は橙色で中身が黄色のビート‘サフランイエロー’ (藤田種子(株)), 渦巻き状で断面が赤白のビート‘ゴルゴ’ (トキタ種苗(株)) および白色のシュガービート‘リポルタ’ (日本甜菜製糖(株)) を用いた。栽培は、明治大学生田キャンパスの露地圃場 (神奈川県川崎市, 標高65 m, 赤黄色土, pH 6.0, EC 0.1 dS・m⁻¹) で行った。2015年9月4日にビートを充填した200穴のセルトレーに均一に播種し、10月4日に定植した。栽植密度は、畝幅170 cm, ベッド幅80 cm, 条間50 cm, 株間15 cmの2条植え (7,843株・10 a⁻¹) の黒マルチ栽培とした。収穫は、生産現場において収穫適期とされている肥大根の直径が5~6 cmの時期 (松家, 2001) とし、‘デトロイト・ダークレッド’, ‘サフランイエロー’, ‘ゴルゴ’ および ‘リポルタ’ の順に、12

月10日, 12月17日, 12月12日および12月10日であった。その他の栽培管理は慣行 (松家, 2001) に準じた。

2. 異なる生育ステージにおけるベタレイン含量の比較 (試験2)

供試品種は、レッドビートの‘デトロイト・ダークレッド’を用い、2015年3月7日にビートを充填した400穴のセルトレーに均一に播種し、4月8日に定植した。栽植密度は、畝幅60 cm, 株間15 cmの1条植え (11,111株・10 a⁻¹) の白黒マルチ栽培とした。その他の栽培条件および栽培管理は試験1に準じた。収穫は、生育ステージ別に6回に分け、①幼苗期 (播種後2週間, 3月22日), ②定植期 (播種後1か月, 4月8日), ③ベビーリーフ利用期 (以下, ベビーリーフ, 葉長10 cm前後, 5月3日), ④抽根期 (肥大根の直径2~3 cm, 5月19日), ⑤収穫適期 (以下, 適期, 肥大根の直径5~6 cm, 5月28日) (松家, 2001) および⑥過熟期 (肥大根の直径10~12 cm, 6月22日) の順に行った。

3. 測定項目

1) 生育調査

試験1, 試験2ともに、収穫後、試料を地上部および肥大根に分け、電子天秤 (TX3202N, (株)島津製作所) を用いて試料の新鮮重を測定した。また、送風定温乾燥機 (DRM620TB, (株)アドバンテック) を用い、70°Cで3日間乾燥させたあと、乾燥前の重量と比較することにより含水率を求めた。

2) ベタレイン含量測定

ベタレイン含量は、Ravichandranら (2013) の手法を参考に、以下の方法で行った。分析試料は、いずれも地上部および肥大根に分け、ベタレインの定量に用いた。液体窒素を用いて破碎した分析試料0.1 gと50%エタノール30 mLを混合し、ろ過後に得たろ液を分光光度計 (UV-1700, Pharma Spec, (株)島津製作所) を用いて吸光度を測定した。ベタレインは、ベタシアニン類 (538 nm) およびベタキサンチン類 (480 nm) に分けて行った。ベタレイン含量は、吸光係数を用いた計算式 (ベタレイン含量 (mg・100 g⁻¹FW) = (吸光度×モル質量×抽出液量 (mL)×希釈率×100) / (モル吸光係数×セル透過長 (cm)×サンプル量 (g))) で算出した。ベタシアニンおよびベタキサンチン含量の算出のためのモル質量およびモル吸光係数は、ベタシアニン類についてはベタニンの550 g・mol⁻¹ および60,000 L・mol⁻¹・cm⁻¹ を使用し、ベタキサンチン類についてはインディカキサンチンの308 g・mol⁻¹ および48,000 L・mol⁻¹・cm⁻¹ を使用した。また、セル透過長は1 cmとした。

試験1, 試験2ともに、それぞれの収穫時期に達した個体を複数個収穫し、そのなかから中庸な個体を選抜し、いずれも3反復で調査した。ただし、試験2の幼苗期, 定植期およびベビーリーフは、分析に必要な量を確保するため、数個体を一緒に粉碎し、3反復で調査した。

3) 栽培期間中の温度測定

栽培期間中の気温は、温度計（おんどとり Jr.TR-52i, (株)ティアンドデイ）を高さ 1.5 m に設置して 10 分間隔で外気温を計測し、日平均気温、日最高気温および日最低気温で示した。

4. 統計処理

試験 1, 試験 2 ともに、Tukey の多重比較検定を行い、品種、部位および生育ステージ間の差を分析した。P 値が 0.05 未満の場合、統計的に有意とした。

結 果

試験 1. ビート 4 品種の収穫適期におけるベタレイン含量の比較

ビート 4 品種の収穫適期における新鮮重の部位間差異を第 1 表に示す。地上部の新鮮重は「リボルタ」がほかの品種に比べて有意に大きい値を示したが、肥大根は品種間に有意差が認められなかった。

ビート 4 品種の収穫適期におけるベタレイン含量の部位間差異を第 1 図に示す。ベタレインに含まれる色素のうち、地上部のベタシアニン類の含量は、「デトロイト・ダークレッド」が $29.7 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ であり、ほかの品種に比べて有意に多く（第 1 図上）、ベタキサンチン類の含量は、「デトロイト・ダークレッド」が $25.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ であり、「サフランイエロー」および「ゴルゴ」に比べて有意に多かった（第 1 図下）。一方、肥大根のベタシアニン類およびベタキサンチン類の含量は、「デトロイト・ダークレッド」が 104.2 および $69.2 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ であり、ほかの品種に比べて著しく多かった（第 1 図上下）。また、「デトロイト・ダークレッド」では、ベタシアニン類の含量がベタキサンチン類の含量に比べて有意に大きい値を示した（データ略）。

栽培期間中における日平均気温、日最高気温および日最低気温を第 2 図に示す。栽培期間中の気温は、生育が進むにつれて下がる傾向であり、日最高気温は 9 月 4 日（播種日）の 34.0°C 、日最低気温は 12 月 9 日の 0.8°C であった。また、定植後の日最高気温は 10 月 28 日の 26.6°C であった。

試験 2. 異なる生育ステージにおけるベタレイン含量の比較

レッドビート「デトロイト・ダークレッド」における異なる生育ステージおよび部位別の新鮮重および含水率を第 3 図に示す。地上部の新鮮重は、生育ステージが進むにつれて大きくなる傾向であったものの、抽根期と適期との間には有意差はなかった（第 3 図上）。肥大根の新鮮重は、成長に伴って有意に増加した（第 3 図上）。また、含水率は、地上部、地下部とも、生育ステージ間に有意差は認められなかった（第 3 図下）。

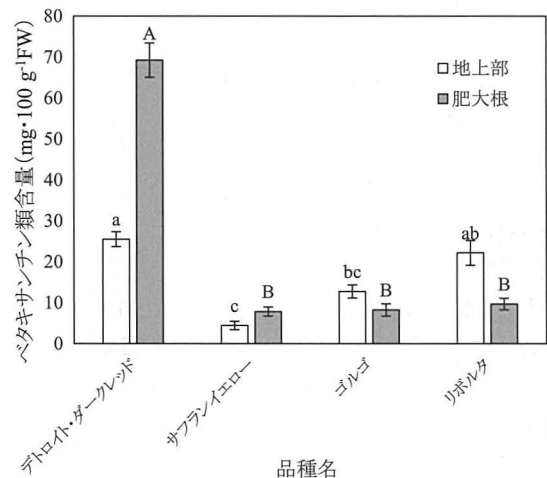
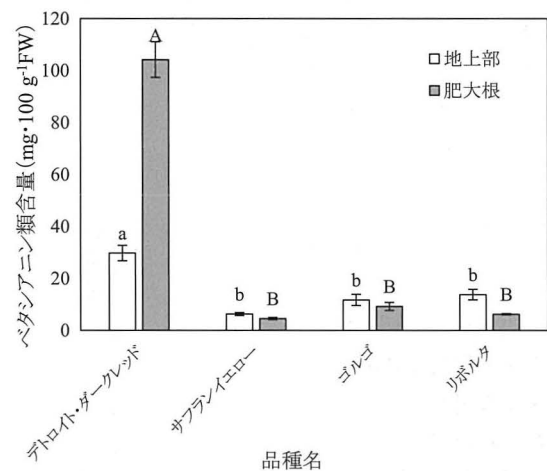
レッドビート「デトロイト・ダークレッド」における異なる生育ステージおよび部位別のベタレイン含量を第 4 図に示す。地上部におけるベタシアニン類の含量は、幼

第 1 表 ビート 4 品種の収穫適期における新鮮重の部位間差異

品種	新鮮重 (g)	
	地上部	地下部
デトロイト・ダークレッド	137.3 b ^z	115.4 a
サフランイエロー	132.8 b	84.4 a
ゴルゴ	102.6 b	114.4 a
リボルタ	369.7 a	125.1 a

^z Tukey の多重比較検定により、異なる英文字間には、5%水準で有意差あり (n=3)

肥大根の直径が 5～6 cm となる時期を収穫適期とした



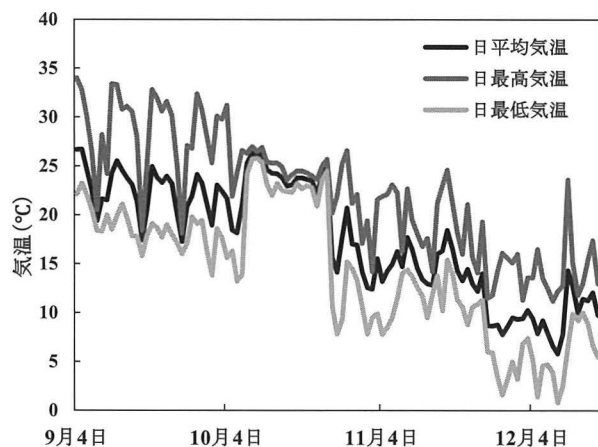
第 1 図 ビート 4 品種の収穫適期におけるベタレイン含量の部位間差異

肥大根の直径が 5～6 cm となる時期を収穫適期とした Tukey の多重比較検定により、異なる英文字間には、5%水準で有意差あり (n=3)

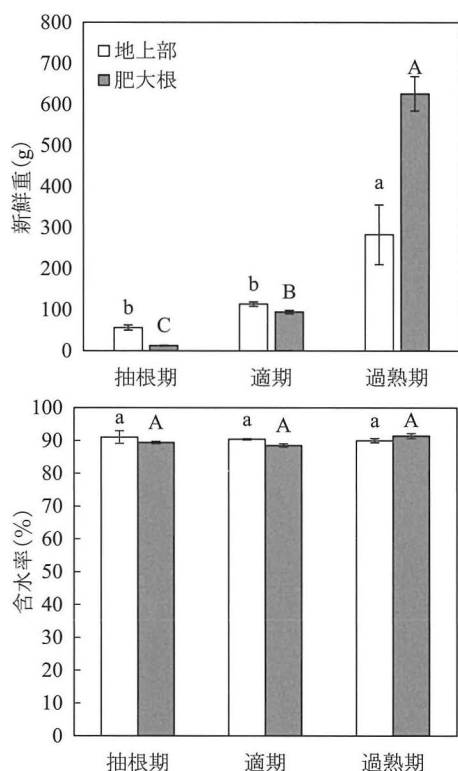
大文字は肥大根、小文字は地上部における検定の結果を示す

縦棒は標準誤差を示す

苗期が $37.2 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ で最も多く、次いで定植期が $31.1 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ 、抽根期の地上部（以下、「抽根期・上」）が $24.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ の順であった（第 4 図上）。ま



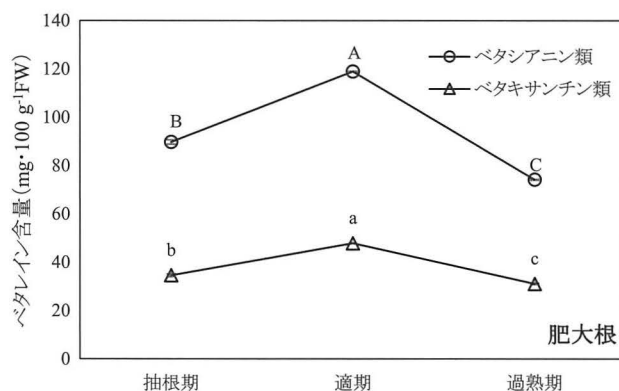
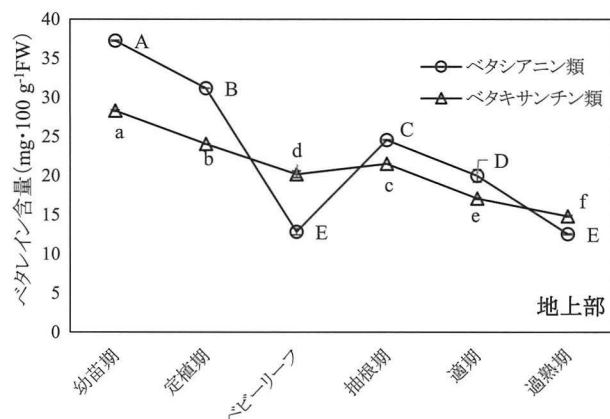
第2図 栽培期間中における日平均気温，日最高気温および日最低気温（試験1）



第3図 レッドビート「デトロイト・ダークレッド」における異なる生育ステージおよび部位別の新鮮重および含水率

Tukeyの多重比較検定により，異なる英文字間には，5%水準で有意差あり（ $n=3$ ）
大文字は肥大根，小文字は地上部における検定の結果を示す
縦棒は標準誤差を示す

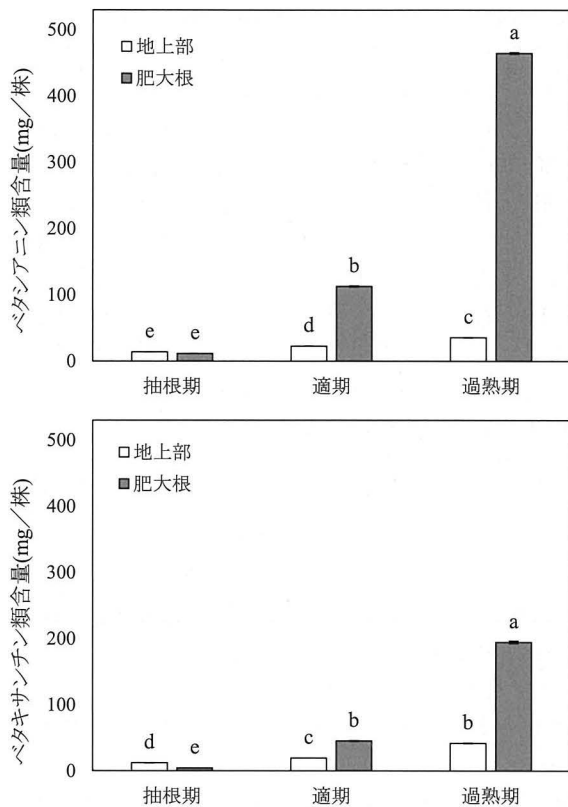
た，肥大根におけるベタシアニン類の含量は，適期（以下，「適期・根」）が $118.9 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ で最も多く，次いで抽根期（以下，「抽根期・根」）が $89.7 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ ，過熟期（以下，「過熟期・根」）が $74.1 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ の順であり（第4図下），肥大根が地上部に比べて有意に多かった



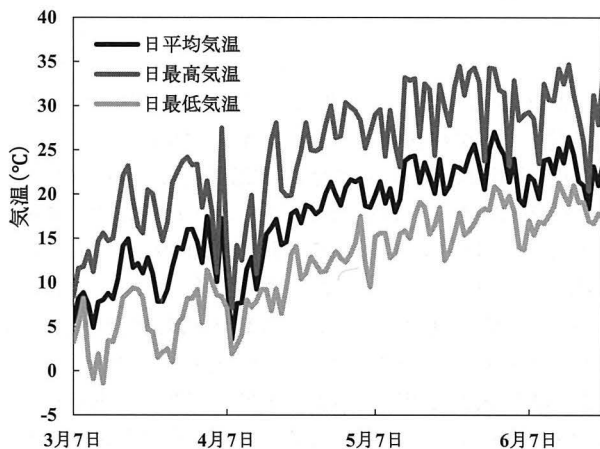
第4図 レッドビート「デトロイト・ダークレッド」における異なる生育ステージおよび部位別のベタレイン含量
上：地上部，下：肥大根
Tukeyの多重検定により，異なる英文字間には，5%水準で有意差あり（ $n=3$ ）
大文字はベタシアニン類，小文字はベタキサンチン類における検定の結果を示す
縦棒は標準誤差を示す

（データ略）。一方，地上部におけるベタキサンチン類の含量は，幼苗期が $28.2 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ で最も多く，次いで定植期が $24.0 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ ，「抽根期・上」が $21.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ の順であった（第4図上）。また，肥大根におけるベタキサンチン類の含量は，「適期・根」が $47.8 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ で最も多く，次いで「抽根期・根」が $34.5 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ ，「過熟期・根」が $31.0 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{FW}$ の順であり（第4図下），ベタシアニン類と同様，肥大根が地上部に比べて有意に多かった（データ略）。‘デトロイト・ダークレッド’の肥大根は，生育ステージに関係なく，ベタシアニン類をベタキサンチン類に比べて多く含む傾向であった（第4図下）。

レッドビート「デトロイト・ダークレッド」における個体当たりのベタレイン含量を第5図に示す。過熟期における 100 g 新鮮重当たりのベタレイン含量に新鮮重を乗じ，個体当たりのベタレイン含量を算出したところ，ベタシアニン類およびベタキサンチン類の個体当たりの含量は「過熟期・根」が最も多くなり，「適期・根」に比べて，ベ



第5図 レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’における個体当たりのベタレイン含量
100 g 新鮮重当たりのベタレイン含量に新鮮重を乗じ、算出した
Tukey の多重比較検定により、異なる英文字間には、5%水準で有意差あり (n=3)
縦棒は標準誤差を示す



第6図 栽培期間中における日平均気温、日最高気温および日最低気温 (試験2)

シアニン類が約4.1倍、ベタキサンチン類が約4.3倍であった。

栽培期間中における日平均気温、日最高気温および日最低気温を第6図に示す。気温は生育が進むにつれて上がる傾向であり、日最高気温は6月15日の34.7℃、日最低気

温は3月13日の-1.4℃であった。また、定植前の日最高気温は3月30日の24.2℃であった。

考 察

ベタレインは、ナデシコ目の植物に特異的に含まれ(農研機構花き研究所, 2016)、赤色の色素であるベタシアニン類および黄色の色素であるベタキサンチン類に大別される(Azeredo, 2009; 岩科ら, 1983; 伊沢, 1968; Khan・Giridhar, 2015)。ベタレインのペルオキシナイトライト消去能はアントシアニンにわずかに劣るものの(Sakihama・Maeda, 2012)、ベタレインの色素のうち、ベタシアニン類の抗酸化力は、ルチンの1.5倍程度、カテキンの2倍程度、アスコルビン酸の3倍程度であると報告されている(有賀ら, 2008; 川上・有賀, 2016)。その抗酸化力は、DPPHラジカル消去系におけるEC50値で比較すると、ルチンが6.1 μM、カテキンが7.2 μMおよびアスコルビン酸が13.9 μMに対し、ベタシアニン類が3.7 μMと強く、さらに、その抗酸化力はベタシアニン類がベタキサンチン類(4.2 μM)に比べて高い(Caiら, 2003)。加えて、レッドビートの搾汁液におけるDPPHラジカル消去活性は、赤キャベツ、トマトおよびリンゴの搾汁液におけるDPPHラジカル消去活性を上回るとされる(Dumbravăら, 2011)。機能性成分を豊富に含む野菜が注目される現代において(消費者庁, 2016)、ベタレインの色素を多く含むレッドビートにおいても、十分に着色した肥大根の生産が望まれている(Nizioł-Lukaszewska・Gawęda, 2015)。

供試したビート4品種は、いずれもベタレインの含有が認められたが、そのなかでは、レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’におけるベタシアニン類の100 g 新鮮重当たりの含量が最も多かった。レッドビートをサラダやピクルス、スープとして日常的に食しているアメリカやロシア、ポーランドなどでは(芦澤, 1987; Gokhale・Lele, 2014; Latorreら, 2010; 中島, 2009)、これまでにレッドビートのベタレインに関する報告が多く、例えば、Sapers・Hornstein (1979)は、20品種のレッドビートのベタレイン含量を比較し、ベタシアニン類およびベタキサンチン類の含量がそれぞれ23.5~38.7および9.6~21.9 mg・100 g⁻¹ FW、また、Gasztanyiら(2001)は、5品種のレッドビートのベタレイン含量を比較し、ベタシアニン類およびベタキサンチン類の含量がそれぞれ58~82および35~48 mg・100 g⁻¹ FWの範囲であった。Nizioł-Lukaszewska・Gawęda (2015)は、15品種のレッドビートの品種間差異を検討した結果、ベタシアニン類およびベタキサンチン類の含量がそれぞれ51~118および16~53 mg・100 g⁻¹ FWであり、品種によって大きく異なることを明らかにした。本研究では、レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’の肥大根におけるベタキサンチン類の含量は69.2 mg・100 g⁻¹ FWであり、上記の報告に比べてやや高い値であったものの、ベタシアニン類の含量は104.2 mg・100 g⁻¹ FW

であり、上記の報告と同範囲内に含まれていた。本研究の結果、供試したビート4品種のなかで、肥大根に最も多くベタレインを含む品種はレッドビート‘デトロイト・ダークレッド’であることが明らかとなった。なお、前述のとおり、ビートの種子は輸入の際に検査が必要とされており、レッドビートにおいては日本国内で流通している品種が‘デトロイト・ダークレッド’1品種に限られており、それ以外の品種は日本国内では入手が困難である。そのため、試験2ではレッドビート‘デトロイト・ダークレッド’を用いて試験を行った。レッドビートの品種は豊富であるが(芦澤, 1987; 松家, 2001)、今後、ほかのレッドビートの品種が日本国内で入手可能になった場合、既報(Gasztonyi ら, 2001; Nizioł-Lukaszewska・Gawęda, 2015; Sapers・Hornstein, 1979)のように品種間差異を比較し、ベタレインを高含有する品種の選抜、さらに栽培面や経済性なども合わせた評価を行い、レッドビートの優良品種における栽培法を検討する必要がある。

試験2では、レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’の肥大根の生育に伴うベタシアニン類およびベタキサンチン類の含量の経時的変化を調べた。その結果、いずれも「適期・根」が最も多く、ベタレイン含量は過熟期が適期に比べて低下した。これまでの報告では、レッドビートの肥大根の直径がベタレイン含量に影響を及ぼすことが知られており(Nilsson, 1973; Shannon, 1972)、Lee・Wiley (1981)も、直径4.6~6.4 cmの肥大根のベタレイン含量が6.4~9.0 cmの肥大根に比べて多いことを明らかにした。また、Watson・Gabelman (1982)およびWolyn・Gabelman (1986)の報告によれば、肥大根の成長期である50~100日(約7~14週)において赤色および黄色色素が継続的な増加を示した。さらに、Michalikら(1995)は、色素生産のためには100日(約14週)以上生育させるべきでないと言及した。本研究では、抽根期(5月19日収穫)から適期(5月28日収穫)までの成長期間は10日間前後であったものの、適期から過熟期(6月22日収穫)までの成長期間には1か月近くを要し、過熟期の肥大根は播種から100日を超えて収穫した。その結果、ベタレイン含量は過熟期になると適期よりも少なくなるため、日本国内におけるレッドビートの栽培においても、ベタレイン含量の多いビートを安定的に収穫するためには、100日以上生育させるべきではないものと考えられ、今後は作型や栽培期間中の温度など、さらなる検討が必要である。

ビートの色素合成に影響するおもな要因は、品種間の遺伝的要素や生育期間中の温度、土壌肥沃度、土壌湿度、灌水、収穫時期などの環境要因である(Krężel, 2005; Lee・Wiley, 1981; Sapers・Hornstein, 1979)。なかでも、温度はレッドビートの色に影響を与える最も重要な要因の一つとされ(Nizioł-Lukaszewska・Gawęda, 2015)、乾燥や25°C以上になる暑い夏がベタレイン含量に負の影響を及ぼすとされている(Bradley・Dyck, 1967; Lorenz, 1947; Magruder,

1941)。Nizioł-Lukaszewska・Gawęda (2015)は、レッドビートのベタレイン含量を4年間調査し、2010年の栽培では、生育初期の3週間で25°C以上の高温にさらされ、ベタシアニン類およびベタキサンチン類の含量が大幅に低下したが、2012年の栽培では、4年間の最少降雨量の年であり、肥大根の新鮮重量、直径および乾燥重量が最も低かったものの、ベタレイン含量は最大であったと報告した。本研究では、栽培期間中の外気温が25°C以上を超えた日数は、試験1が最高気温で39日間(定植後は12日間)、平均気温で8日間(同5日間)、試験2が最高気温で56日間(同55日間)、平均気温で6日間(同6日間)であった。また、Nizioł-Lukaszewska・Gawęda (2014)は、レッドビートの栽培において、品種や播種および収穫時期、天候、栽培条件などの環境要因が内生成分の含有量に影響を与えると考察した。ベタレインの分解については、詳細なメカニズムが解明されておらず、本研究の過熟期においてベタレイン含量が減少した要因は、既報(Nizioł-Lukaszewska・Gawęda, 2014, 2015)から判断すると、根の肥大速度がベタレイン色素の生合成速度を上回ったことと、栽培期間中の25°C以上の高温などの環境要因の影響の可能性が示唆された。

過熟期の肥大根は、100 g新鮮重当たりのベタレイン含量が適期のものに比べて減少するものの、個体当たりのベタレイン含量は最も多いため、搾汁液を濃縮して用いるサプリメントなどの加工品に適する可能性がある。本研究の結果、レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’では、肥大根の直径が10~12 cm程度の過熟期は個体当たりのベタレイン含量が多かったものの、定植から収穫までの栽培期間は適期が51日間、過熟期が77日間と圃場の占有期間が延び、100 g新鮮重当たりのベタレイン含量も低下したことから、ベタレインを最も効率的に摂取するためには、肥大根の直径が5~6 cm程度の適期(松家, 2001)に収穫するのが出荷規格として適すると考えられた。

今後は作型を変えた栽培を行うことにより、ベタレイン含量の季節間差異を調査するとともに、ベタレイン集積に対する光の影響やベタレインと栽培期間中の環境要因との関係などを明らかにする予定である。

続いて、地上部のベタレイン含量の経時的変化について考察する。レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’は一般に肥大根を食用とするが、本研究の結果、適期における地上部のベタレイン含量は肥大根に比べて少なく、ベタシアニン類については肥大根における含量の約16.8%、ベタキサンチン類については肥大根における含量の約35.6%であった。Liら(2015)は、同じヒユ科植物であるアマランサスのスプラウトにおいて、ベタレインが乾物重当たりで2.69 mg・100 g⁻¹DW含まれると報告した。本研究のレッドビート‘デトロイト・ダークレッド’の抽根期の地上部において、ベタレイン含量を乾物重当たりに換算すると514.5 mg・100 g⁻¹DWとなり、レッドビートのベタレ

イン含量はアマランサス (Liら, 2015) に比べて極めて多かった。そのため、未利用で廃棄されていたレッドビートの適期の地上部を、同じヒユ科植物である葉菜類のフダンソウ (山田, 1987; 由比, 2009) のように、葉菜類の一つとして有効利用することにより、ベタレインを高含有する新たな野菜として提案できる可能性がある。

なお、本研究で用いた分析方法は分光光度計による簡易定量であり、今後はHPLCなどの機器を用いて個々の物質の絶対的な定量を行うとともに、複数の方法で抗酸化活性を評価することにより、レッドビートの機能性を検討する必要がある。

また、レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’は、1種子から数本発芽する芽をていねいに間引いて最終的には1か所1本にして栽培するが (松家, 2001)、上記のとおり、抽根期にもベタレインを多く含むことから、その時期に間引く場合、最近需要が増えているベビーリーフやミニ野菜 (元木ら, 2015; 西畑・林, 2004) としても利用できる可能性がある。そのため、利用目的に応じた出荷規格を複数設けることにより、レッドビートをさまざまな料理や加工品に利用することができ、日本国内の食生活に取り入れやすくなるものと考え、レッドビートに含まれるベタレインは水溶性の色素であり (農研機構花き研究所, 2016)、調理する際にベタレインが流れ出しやすいため、抽根期の間引きのように、肥大根が小さければ生のまま食べられ、新たな食材になる可能性がある。

以上より、レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’におけるベタレインを効率的に摂取するのに適した収穫期は、肥大根の直径が5~6 cm程度の適期であると判断された。

摘 要

ヒユ科のビート (*Beta vulgaris* L.) は、ベタレインと呼ばれる優れた抗酸化能を有する色素を豊富に含む。しかし、日本国内において、異なる品種のベタレイン含量を検討した研究はほとんど見当たらない。また、ビートは一般に肥大根の直径が5~6 cm程度で収穫されるが、市場流通における出荷規格はほとんど決まっておらず、またベタレイン含量が最も多い収穫期に関する情報もほとんどない。そこで本研究では、肥大根の色が異なる4品種のビート、‘デトロイト・ダークレッド’、‘サフランイエロー’、‘ゴルゴ’ および ‘リボルタ’ を用い、ベタレイン含量の品種間差異を検討するとともに、異なる6つの生育ステージにおけるレッドビート (‘デトロイト・ダークレッド’) のベタレイン含量の変化を調べた。その結果、ベタレイン含量はレッドビート‘デトロイト・ダークレッド’が最も多かった。また、レッドビート‘デトロイト・ダークレッド’における新鮮重当たりのベタレイン含量は、肥大根の直径が5~6 cm程度の収穫適期が最も多く、その時期がベタレインを効率的に摂取するのに適した収穫期であると判断された。

引用文献

- 有賀豊彦・井上弘明・関泰一郎・渡邊慶一. 2008. 天然色素ベタレインの抗酸化活性を中心にした食品機能性. Food Style 21. 12: 84–91.
- 芦澤正和. 1987. 栽培の基礎 テーブルビート. p. 特産野菜 451–454. 農業技術大系野菜編 11. 特産野菜・地方品種. 農文協. 東京.
- Azeredo, H. M. C. 2009. Betalains: properties, source, applications, and stability—a review. Intl. J. Food Sci. and Technol. 44: 2365–2376.
- Bradley, G. A. and R. L. Dyck. 1967. Yield and quality of table beets. Arkansas Farm Res. 16: 9.
- Cai, Y., M. Sun and H. Corke. 2003. Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. J. Agric. Food Chem. 51: 2288–2294.
- Dumbravă, D. G., N. G. Hădărugă, C. Moldovan, D. N. Raba, M. V. Popa and B. Rădoi. 2011. Antioxidant activity of some fresh vegetables and fruits juices. J. Agroalimentary Processes Technol. 17: 163–168.
- Gasztonyi, M. N., D. Hussein, T. H. Maria and B. Peter. 2001. Comparison of red beet (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) varieties on the basis of their pigment components. J. Sci. Food Agric. 81: 932–933.
- Georgiev, V. G., J. Weber, E. M. Kneschke, P. N. Denev, T. Bley and A. I. Pavlov. 2010. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the red beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. Plant Food. Hum. Nutr. 65: 105–111.
- Gokhale, S. V. and S. S. Lele. 2014. Betalain content and antioxidant activity of *Beta vulgaris*: Effect of hot air convective drying and storage. J. Food Process. Preserv. 38: 585–590.
- 岩科 司・林 孝三・大谷俊二. 1983. 顕微分光光度法による液胞および色素体の吸収スペクトルと含有色素成分の識別について. 育学雑. 33: 457–467.
- 伊沢正夫. 1968. ベタシアニン類とベタキサンチン類 植物生理上の意義はまだ不明 (今日の話). 化学と生物. 6: 212–213.
- 香川芳子. 2016. 七訂食品成分表 2016. p. 70–71. 女子栄養出版部. 東京.
- 川上忠夫・有賀豊彦. 2016. ベタレインを含有する食品及び化粧品. 特許公開 2007-143518.
- 加屋隆士. 2010. トマト. p. 307–334. 品種改良の世界史作物編. 悠書館. 東京.
- Khan, M. I. and P. Giridhar. 2015. Plant betalains: chemistry and biochemistry. Phytochemistry 117: 267–295.
- Krężel, J. 2005. Usefulness of selected cultivars of beet-root for the cultivation for bunch-harvest for store and processing. Scientific J. Wrocław Univ. Environ. Life Sci., Agronomy. 515: 325–332. [in Polish with English abstract]

- Latorre, M. E., P. Narvaiz, A. M. Rojas and L. N. Gerschenson. 2010. Effects of gamma irradiation on bio-chemical and physico-chemical parameters of fresh-cut red beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) root. J. Food Eng. 98: 178–191.
- Lee, Y. N. and R. C. Wiley. 1981. Betalaine yield from a continuous solid-liquid extraction system as influenced by raw product, post-harvest and processing variables. J. Food Sci. 46: 421–424.
- Li, H., Z. Deng, J. Draves, R. Liu, M. Marcone, Y. Sun, R. Tsao and H. Zhu. 2015. Characterization of phenolics, betacyanins and antioxidant activities of the seed, leaf, sprout, flower and stalk extracts of three *Amaranthus* species. J. Food Compos. Anal. 37: 75–81.
- Lorenz, O. A. 1947. The effect of certain planting and harvest dates on the quality of table beets. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 49: 270–274.
- 前田智雄. 2008. アスパラガスの成分と鮮度保持. p. 189–199. 元木 悟・井上勝広・前田智雄編著. アスパラガスの高品質多収技術. 農文協. 東京.
- 前田智雄・角田英男・前川健二郎・大澤勝次・大島千周・鈴木 卓・戸田雅美. 2008. ブロッコリースプラウトの生育およびポリフェノール含量に及ぼす補光光質の影響. 植物環境工学. 20: 83–89.
- Magruder, R. 1941. Growing conditions have important effect on beet and carrot pigmentation. Canning Age 22: 93.
- 松家 昇. 2001. 根菜の育て方 ビート. p. 150–151. 野菜づくり 75 種. 新星出版. 東京.
- Michalik, B., E. Zukowska and S. Sleczeck. 1995. Changes in quality of red beet cultivars with growing time. Folia Hort. 7: 127–136.
- 元木 悟・細田絢子・松永邦則・鈴木美穂子・八木明香. 2015. 新品目ミニニンジンの消費者嗜好と普及の可能性. 日本食育学会講演. 学術報告要旨集. 3: 49.
- 中島武彦. 2009. 第 19 節 ビート (ビーツ). p. 1070–1071. 新編 野菜園芸ハンドブック. 養賢堂. 東京.
- Nilsson, T. 1973. The pigment content in beet root with regard to cultivar, growth development, and growing conditions. Swedish J. Agric. Res. 3: 187–200.
- 西畑秀次・林 保則. 2004. コンパクト野菜の生産技術. 野菜茶研報. 1: 9–16.
- Nizioł-Łukaszewska, Z. and M. Gawęda. 2014. Changes in quality of selected red beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars during the growing season. Folia Hort. 26: 139–146.
- Nizioł-Łukaszewska, Z. and M. Gawęda. 2015. Selected indicators of the root quality of fifteen cultivars of red beet (*Beta vulgaris* L.). J. Hort. Res. 23: 65–74.
- 農研機構花き研究所. 2016. ベタレイン. <http://www.naro.affrc.go.jp/flower/kiso/color_shikiso/contents/betarein.html>.
- 農林水産省. 2016. 輸入検疫で発見された主な重要病害虫. <http://www.maff.go.jp/pps/j/guidance/pestinfo/pdf/PestInfo_83_03.pdf>.
- 大嶋俊二・鎗木幸子・稲熊隆博. 2002. トマトの摂取形態の違いによるリコピン吸収性への影響. ビタミン. 76: 167.
- Ravichandran, K., N. M. M. T. Saw, A. A. A. Mohdaly, A. M. M. Gabr, A. Kastell, H. Riedel, Z. Cai, D. Knorr and I. Smetanska. 2013. Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. Food Research International 50: 670–675.
- Sakihama, Y. and M. Maeda. 2012. Beetroot betalain inhibits peroxynitrite-mediated tyrosine nitration and DNA strand cleavage. Free Radical Res. 46: 93–99.
- Sapers, G. M. and J. S. Hornstein. 1979. Varietal differences in colorant properties and stability of red beet pigments. J. Food Sci. 44: 1245–1248.
- Shannon, S. 1972. Changes in soluble solids, red pigment content and firmness of table beet cultivars with growing time and season. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 233–228.
- 植物防疫所. 2016. 輸出入条件詳細情報. <<http://www.maff.go.jp/pps/j/search/detail.html>>.
- 消費者庁. 2016. 機能性表示食品に関する情報. <<http://www.caa.go.jp/foods/index23.html>>.
- 田淵俊人. 2007. ナス科野菜. p. 2–44. 野菜園芸学. 文英堂. 京都.
- 高巢正子・宇佐美和夫. 1991. カイワレダイコンの発芽と生長に及ぼす温度と光の影響. 福岡女子大家政紀要. 22: 11–17.
- Wang, C., M. Chen, B. Wang and J. Zhao. 2006. Identification of betacyanin and effects of environmental factors on its accumulation in halophyte *Suaeda salsa*. J. Plant Physiol. and Mol. Biol. 32: 195–201.
- 渡 萌恵・清水 佑・池浦博美・原 嘉胤・柘植一希・北條怜子・寺崎 亮・元木 悟. 2014. 光の有無が数種の野菜スプラウトの生育と発色に及ぼす影響. 園学研. 13 (別 2): 553.
- Watson, J. F. and W. H. Gabelman. 1982. Seasonal changes and cultivar differences in pigment concentrations and percent dissolved solids in roots of table beets. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 713–716.
- Wolyn, D. J. and W. H. Gabelman. 1986. Effects of planting and harvest date on betalain pigment concentrations in three table beet genotypes. HortScience 21: 1339–1340.
- 山田貴義. 1987. 栽培の基礎 フダンソウ. p. 特産野菜 537–540. 農業技術大系野菜編 11. 特産野菜・地方品種. 農文協. 東京.
- 由比 進. 2009. 第 57 節 フダンソウ. p. 1092. 新編 野菜園芸ハンドブック. 養賢堂. 東京.