

栽培・保存・加工による赤ビート摂取時の 土臭さ抑制に関する検討

Study on suppressing earthy flavor when eating red beets: cultivation, preservation, and processing.

安彦 裕実^{*1}、村尾 咲音^{*1}、加藤 優月^{*2}、成田 優清^{*3}、丸山 明日香^{*4}、
松川 典子^{*1}

Hiromi Abiko, Sato Murao, Yuzuki Kato, Yusei Narita, Asuka Maruyama,
Noriko Matsukawa

キーワード：赤ビート、ゲオスミン、ベタレイン

Key words : Red beet, Geosmin, Betalain

要旨

赤ビートは、様々な機能を有するベタレイン色素を豊富に含むヒユ科植物の野菜である。赤ビートの栽培には冷涼な気候が適しており、北海道での栽培が拡大されつつあるが、赤ビート特有の土臭さや調理法の認知度の低さが普及の課題となっている。そこで、本研究では、赤ビートの北海道での特産化を目指し、土臭さの原因物質であるゲオスミンが少なくかつベタレイン色素を効率的に摂取できる収穫時期と保存方法を検討した。さらに、赤ビートの手軽な摂取方法としてジュースに着目し、土臭さを低減できる果実の組み合わせを検討した。その結果、ゲオスミンとベタレイン色素の両面において、赤ビートは早期の生育段階で収穫することでゲオスミンが少なく、ベタレイン色素が多いこと、収穫後は茎を落として保存することで、土臭さが低減されることが確認された。また、ジュースとして他の果実との組み合わせにおいては、ブドウ果汁と混ぜることが土臭さの低減において有効であることが明らかとなった。

*1 札幌保健医療大学保健医療学部栄養学科 Department of Nutrition, School of Health Sciences, Sapporo University of Health Sciences

*2 元札幌保健医療大学(現後志総合振興局保健環境部保健行政室生活衛生課) Formerly at Sapporo University of Health Sciences (Currently belongs to Environmental Health Division, Office of Health Administration, Department of Health and Environment, (Shiribeshi) General Subprefectural Bureau)

*3 元札幌保健医療大学(現東北大学病院 栄養管理室) Formerly at Sapporo University of Health Sciences (Currently belongs to Tohoku University Hospital Nutrition Administration)

*4 元札幌保健医療大学(現ファースト・プロGRESS札幌 株式会社) Formerly at Sapporo University of Health Sciences (Currently belongs to First・Progress Sapporo CO., LTD.)

I. はじめに

赤ビート（学名：*Beta vulgaris*）は、ヒユ科フダンソウ属の二年生作物である。地中海沿岸が起源であり、ヨーロッパを中心に広がり、冷涼な気候が栽培に適することから、ロシアでも栽培され、これらの地域では日常的に食されている野菜である。

赤ビートがもつ独特な臭みは、ゲオスミン由来のものである。ゲオスミンの臭いは、下水道から発生するカビ臭や雨上がりの地面の臭いの原因とされ、土臭いと表現される。ヒトにおけるゲオスミンの閾値は10 ppt程度とされ¹⁾、ゲオスミンに対する感度は非常に高い。この土臭さが消費者に敬遠される要因の一つであり、土臭さが苦手な場合には食酢や油の添加が有効であることが知られ、土臭さを低減させるレシピが提案されるなど^{2,3)}、赤ビートの普及にはゲオスミンの低減化が課題となっている。

また、赤ビートは、ベタシアニン類、ベタキサンチン類といったベタレイン色素を豊富に含み、この色素は強い抗酸化活性やラジカル消去能を持つことが知られている。その他、LDLコレステロール酸化抑制作用、抗炎症作用、肝臓保護作用なども報告されている^{4,5)}。また、赤ビートには葉酸、カリウム、鉄等のビタミンやミネラル類、食物繊維、オリゴ糖等の成分も多く含まれている。そのため近年、日本でもスーパーフードとしても注目され、全国で栽培されつつある。北海道においては、2018年から北海道大学とホクレン農業協同組合が赤ビートの試験栽培を実施し、愛別町では生産組織を立ち上げ特産化へ向けた取り組みが行われている⁶⁾。しかし、栽培地域は拡大されてきているものの、赤ビートの認知度や消費量の拡大には結びついておらず、特に赤ビートが持つ独特な臭みや適した調理方法が認知されていないこと等から普及とまでは至っていないのが現状である。

ベタレイン色素は様々な機能性を有するが紫外線や熱に弱く、色素の効率的な摂取を考えた場合、色素含量が高い赤ビートを使用することが望ましい。これまでに、赤ビート中のベタレイン含量は、生育期間や個体の大きさによって異なること⁷⁾、低温や乾燥、塩などの生育中のストレス付加によってベタレイン含量が上昇することなどが報告されている⁸⁾。現在、市販されている赤ビートは、200 g程度のものから1 kgにおよぶ大きいものまであり、重量が重い赤ビートは、栽培期間が長いことも考えられる。

そこで本研究では、生育期間や保存方法によりゲオスミンおよびベタレイン含量が変化するか検討した。

また、赤ビートに含まれるベタレイン色素やその他ビタミン類は、熱に弱いことから、なるべく生食に近い形であることが望ましい。そこで、手軽に赤ビートを使用でき、かつ栄養素や機能性成分を効率よく摂取する方法として生ジュースに着目した。生ジュースにする際、組織を磨碎するため、土臭さをより強く感じられることから、マスキング効果を期待した果実の組み合わせを検討した。

II. 方法

1. 生育期間におけるゲオスミン濃度およびベタレイン含量の変化

1-1) 実験材料

札幌保健医療大学大学農場（以下、「大学農場」）で、5月末に播種し、生育期間「60日」、「90日」、「120日」、「150日」に収穫したヒユ科の赤ビート「デトロイトダークレッド」を試料として用

いた。

1-2) ゲオスミン濃度測定

皮を剥き、みじん切りにした赤ビートを冷凍後、ミルを用いて粉碎した。バイアル瓶に1 g秤量し、飽和食塩水を4 ml加えクリンパーを用いて密閉後、70 °Cで30分間加温して分析試料とした。

ゲオスミン濃度の測定は、ヘッドスペース法を用いた。加温し気液平衡状態となったバイアル瓶の気相部分をシリンジで1 ml採取し、ガスクロマトグラフィー質量分析装置（島津製作所 GCMS-QP2010）で分析を行った。分析条件は、Guiping Luらの方法に準じた。⁹⁾ カラムは、InterCap 5 MS/SiL（長さ30 m、内径0.25 mm、膜厚0.5 μm）を用い、カラムオーブンは、100 °C（3 min）→5 °C/min→220 °C（5 min）→220 °C（32 min）、キャリアガスは、ヘリウムを用いた。インジェクション温度は220 °C、全流量は15.7 ml/min、カラム流量は1.16 mL/min、パージ流量は3 mL/minとした。モニタリングイオンは、m/z 111, 112, 125, 126, 182、イオン源温度は200 °C、インターフェース温度は220 °C、測定モードはScan-SIM、質量範囲はm/z 35-350とした。イオン化モードはEI、イオン化電圧は70 Vとした。また、ゲオスミンの標品を用いて同様に分析し、検量線を作成し定量を行った。

1-3) ベタレイン含量測定

ベタレインの定量には可食部位である根を用い、ベタレイン含量の測定方法は吸光波長および算出式としてRavichandranら¹⁰⁾の方法を用いた。ミルで粉碎した分析試料30 gから3点（各1 g）とり、50 %エタノール10 mlを試験管に採取、混和し、ホモジナイズした。遠心分離（3,000 rpm、4 °C、5分）後、上清を分取し50 %エタノールで希釈、混和し、分光光度計（島津製作所、UV-1850）を用いて吸光度を測定した。吸光波長は、ベタシアニン類（538 nm）およびベタキサンチン類（480 nm）とし、 $(\text{ベタレイン含量 (mg/FW)}) = (\text{吸光度} \times \text{モル質量} \times \text{抽出液量 (mL)} \times \text{希釈率} \times 100) / (\text{モル吸光係数} \times \text{セル光路長 (cm)} \times \text{サンプル量 (g)})$ によって算出した。算出式に必要なモル質量およびモル吸光係数は、ベタシアニン類は $550 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ および $60,000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ を使用し、ベタキサンチン類は $308 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ および $48,000 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ を使用した。また、抽出量は10 ml、セル光路長は1 cm、サンプル量は1 gとした。

1-4) 統計処理

ゲオスミン濃度およびベタレイン含量のデータは、Microsoft Excel for Microsoft 365を用いて分析し、平均値±標準誤差で示した。ベタレイン含量と赤ビート重量の相関関係は、Pearsonの積率相関係数を用いて分析した。

2. 保存方法によるゲオスミンおよびベタレイン含量の変化

2-1) 実験材料

大学農場で生育期間90日に収穫した赤ビート「デトロイトダークレッド」を用いた。保存方法については、収穫直後水洗し葉付きの状態での保存（以下、「収穫直後」）、一般に流通している茎を残した状態での保存（以下、「茎残し」）、腐敗防止として茎を落として保存（以下、「茎落とし」）、茎を落としたものを次亜塩素酸処理し保存（以下、「次亜塩素酸処理」）の計4種の方法で保存したものを試料として用いた。次亜塩素酸処理に関しては、200 ppmで5分間浸漬した¹¹⁾。保存期間は2か月とし、冷蔵保存とした。ゲオスミンの抽出および測定、ベタレイ

ン含量測定、統計処理は実験1と同様に行った。

3. 果汁の添加と土臭さの検討

3-1) 実験材料

土臭さを低減させる可能性が期待できる果物として比較的安価で手に入りやすいオレンジ、グレープフルーツ、ブドウ、レモンを用いて予備官能試験を行った。その結果、ゲオスミンの低減に効果的と考えられたオレンジ、グレープフルーツ、ブドウの3種を用いることとした。赤ビート及び果物については、市販品を使用した。

3-2) 官能評価試験

(1) 対象者

札幌保健医療大学の栄養学科1年生(48名)をパネルとした。

(2) 試料の調製

生の赤ビートに対し3倍量の水をミキサーに入れジュースとした。このジュースに、同量の水を加えたものをA(赤ビートのみ)、同量のオレンジ果汁を添加したものをB(オレンジ添加)、グレープフルーツ果汁を添加したものをC(グレープフルーツ添加)、ブドウ果汁を添加したものをD(ブドウ添加)とし計4種類を試料とした。尚、各果物の果汁は、オレンジおよびグレープフルーツは皮を剥き、ブドウは皮付きのままジューサーにかけたものを使用した。

(3) 試料の提供

官能評価試験には無地の白色紙コップを用い、4種類分の紙コップを用意した。

この紙コップに各々A、B、C、Dと印をつけ、それぞれにA、B、C、Dの赤ビートジュースを入れた。対象者には、AとB、AとC、AとDの組み合わせに分け提供した。

(4) 評価方法

(2)で調製した試料について、質問紙を用いたアンケート形式で試飲により評価した。2点識別試験法の検定表を基に危険率5%未満であった場合、有意差有りと判定した¹²⁾。

(5) 倫理的配慮

官能評価試験を行うにあたり、札幌保健医療大学研究倫理審査委員会の承認を受けた(承認番号0210010-2)。対象者に研究目的、無記名回答によるプライバシーの保護、研究協力は自由意志であること、回答の有無により成績評価への影響や不利益は一切ないこと、匿名性の保証に関する内容を質問紙配布時に書面と口頭で行い、同意書の提出によって参加への同意を得た。

III. 結果

1. 生育期間におけるゲオスミン濃度およびベタレイン含量の変化

生育期間におけるゲオスミン濃度を図1-1に示した。生育期間60日の赤ビートはゲオスミン濃度が1.26 ppbとなり、生育期間90日の赤ビートは、ゲオスミン濃度が4.46 ppbとなった。また、生育期間120日の赤ビートは、ゲオスミン濃度が0.65 ppbとなり、生育期間150日の赤ビートは、ゲオスミン濃度が1.89 ppbとなった。

生育期間によるゲオスミン濃度の比較では、生育期間90日の赤ビートにおいてゲオスミン

濃度が最も高値を示し、生育期間120日の赤ビートではゲオスミン濃度が最も低値を示したため、生育期間によってゲオスミン濃度が変化する傾向が認められた。

生育期間における赤ビートの重量、赤ビート100 gあたりおよび1個あたりベタレイン含量を表1に示した。

赤ビートの重量は、生育期間60日が63 g、生育期間90日が288 g、生育期間120日が455 g、生育期間150日が1284 gであり、生育の経過に伴い重量は増加した。

赤ビート100 g当たりのベタレイン含量について、ベタシアニン類含量は生育期間60日が111.4 mg/100 gFW、生育期間90日が44.4 mg/100 gFW、生育期間120日が60.2 mg/100 gFW、生育期間150日が28.2 mg/100 gFWであり、生育の経過に伴いベタシアニン類含量は減少傾向を示した。

ベタキサンチン類含量は生育期間60日が60.1 mg/100 gFW、生育期間90日が25.5 mg/100 gFW、生育期間120日が40.9 mg/100 gFW、生育期間150日が30.2 mg/100 gFWであり、生育の経過に伴いベタキサンチン類含量は減少傾向を示した。また、ベタシアニン類含量およびベタキサンチン類含量は生育期間60日で高い値を示した。

赤ビート1個当たりのベタレイン含量について、ベタシアニン類含量は生育期間60日が70.2 mg/個、生育期間90日が127.8 mg/個、生育期間120日が271.7 mg/個、生育期間150日が362.4 mg/個であり、生育の経過に伴いベタシアニン類含量は増加傾向を示した。

ベタキサンチン類含量は生育期間60日が37.9 mg/個、生育期間90日が73.5 mg/個、生育期間120日が186.1 mg/個、生育期間150日が387.6 mg/個であり、生育の経過に伴いベタキサンチン類含量は増加傾向を示した。また、ベタシアニン類含量およびベタキサンチン類含量は、赤ビート100 g当たりの含量とは対照的に生育期間150日で高値を示した。

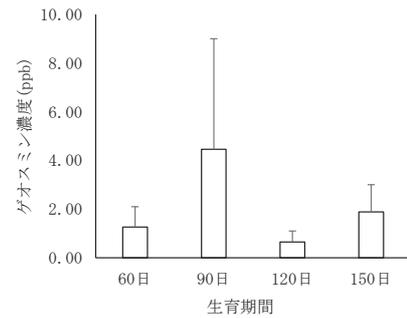


図1-1 生育期間におけるゲオスミン濃度の関係エラーバーは標準誤差を示す (n=2~3)

表1 生育期間における赤ビートの重量、赤ビート100gあたりおよび1個当たりのベタシアニン類含量およびベタキサンチン類含量

生育期間	重量 (g)	ベタシアニン類 (mg/100 g 当たり)	ベタキサンチン類 (mg/100 g 当たり)	ベタシアニン類 (mg/1個 当たり)	ベタキサンチン類 (mg/1個 当たり)
60日	63±29	111±33	60±7	66±18	37±13
90日	288±42	44±8	26±5	126±4	72±4
120日	455±189	60±2	41±10	271±107	180±57
150日	1284±243	28±13	30±11	377±231	404±222

平均値±標準誤差 (n=2~3)

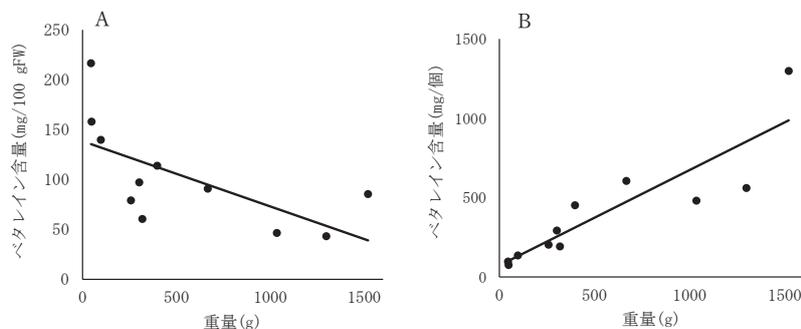


図1-2 ベタレイン含量と赤ビート重量の相関関係
A: 赤ビート100 g当たりのベタレイン含量と重量の相関関係
B: 赤ビート1個当たりのベタレイン含量と重量の相関関係

ベタレイン含量と重量の相関関係を図1-2に示した。ベタレイン含量（100 g当たり）と重量間では、相関係数は-0.652であり、重量の増加に伴いベタレイン含量は減少傾向を示した。一方、ベタレイン含量（1個当たり）と重量間では、相関係数は0.884であり、重量の増加に伴い増加傾向を示した。

2. 保存方法によるゲオスミン濃度およびベタレイン含量の変化

保存方法によるゲオスミン濃度を図2-1に示した。ゲオスミン濃度は、「収穫直後」の赤ビートでは4.46 ppb、赤ビートの茎を残したままの「茎残し」は3.94 ppb、赤ビートの茎を切り落とした「茎落とし」は1.56 ppbとなった。赤ビートの茎を切り落とした断面を次亜塩素酸処理した「次亜塩素酸処理」は0.78 ppbとなった。

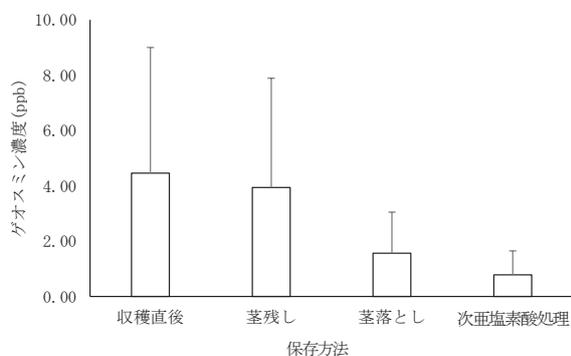


図2-1 保存方法によるゲオスミン濃度の関係
エラーバーは標準誤差を示す (n=2~3)

保存方法によるゲオスミン濃度を比較すると、収穫直後の赤ビート（大学農場生育期間90日）のゲオスミン濃度が最も高くなり、赤ビートの茎を切り落としたもの、赤ビートの茎を切り落とした断面を次亜塩素酸処理したもののゲオスミン濃度が低くなったため、茎を切り落とすとゲオスミン濃度が低くなる傾向が認められた。

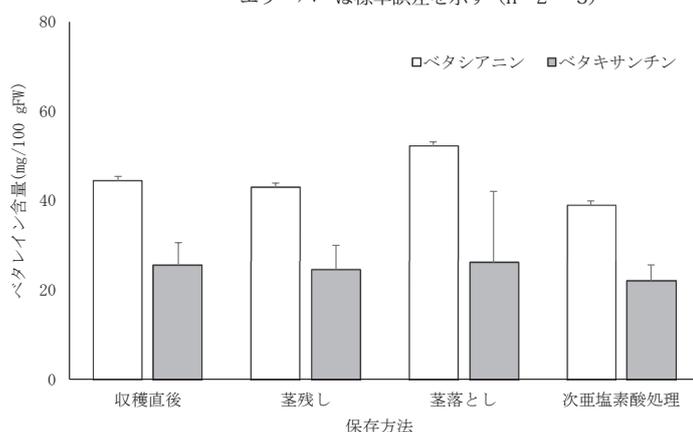


図2-2 保存方法による赤ビート100 g当たりのベタレイン含量の比較
エラーバーは標準誤差を示す (n=2~3)

保存方法によるベタレイン含量（100 g当たり）を図2-2に示した。ベタシアニン類含量は「収穫直後」では44.4 mg/100 gFW、「茎残し」

は42.9 mg/100 gFW、「茎落とし」は52.1 mg/100 gFW、「次亜塩素酸処理」は38.9 mg/100 gFWであり、保存方法によるベタシアニン類含量への大きな変化は見られなかった。ベタキサンチン類含量は「収穫直後」が25.5 mg/100 gFW、「茎残し」が24.5 mg/100 gFW、「茎落とし」が26.1 mg/100 gFW、「次亜塩素酸処理」が22.0 mg/100 gFWであり、保存方法によるベタキサンチン類含量への大きな変化は見られなかった。

3. 果汁の添加と土臭さの検討

評価に用いた質問紙を図3-1に示した。

3-1) A (赤ビートのみ) のジュースについて

臭いおよび味の評価結果を図3-2に示した。臭いの評価結果では、とても好きと回答した人は居らず、好きと回答した人は1人、普通と回答した人は23人、やや嫌いと回答した人は14人、嫌いと回答した人は20人であった。味の評価結果では、とても好きと回答した人は居らず、好きと回答した人は1人で、普通と回答した人は6人、やや嫌いと回答した人は11人、嫌いと回答した人は29人であった。

4種の赤ビートジュース飲み比べアンケート

1. 赤ビートジュースの臭いについてお聞きます。(飲まずに臭いをかいて評価してください。)

(1) Aのジュースについてお聞きます。
臭いをどう思いますか。当てはまるものに○をつけてください。
とても好き ・ 好き ・ 普通 ・ やや嫌い ・ 嫌い

(2) AとBではどちらが赤ビート特有の臭いを感じますか。臭いが強い方に○をつけてください。
A ・ 変わらない ・ B

(3) AとCではどちらが赤ビート特有の臭いを感じますか。臭いが強い方に○をつけてください。
A ・ 変わらない ・ C

(4) AとDではどちらが赤ビート特有の臭いを感じますか。臭いが強い方に○をつけてください。
A ・ 変わらない ・ D

2. 赤ビートジュースの味についてお聞きます。(飲んでから評価してください。)

(1) Aのジュースについてお聞きます。
味をどう思いますか。当てはまるものに○をつけてください。
とても好き ・ 好き ・ 普通 ・ やや嫌い ・ 嫌い

(2) AとBではどちらが赤ビート特有の味を感じますか。味が強い方に○をつけてください。
A ・ 変わらない ・ B

(3) AとCではどちらが赤ビート特有の味を感じますか。味が強い方に○をつけてください。
A ・ 変わらない ・ C

(4) AとDではどちらが赤ビート特有の味を感じますか。味が強い方に○をつけてください。
A ・ 変わらない ・ D

3. 総合評価
ジュースの好みについてお聞きます。
A~Dのジュースの好きな順番に並べてください。
1位() 2位() 3位() 4位()

4. その他、ご意見・ご感想などがあればお聞かせください。

図3-1 赤ビートおよび果実添加の官能試験に用いたアンケート用紙

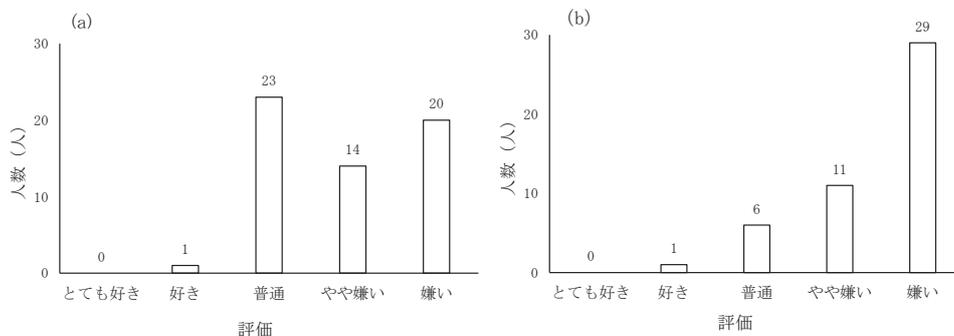


図3-2 赤ビートのみのジュースを試飲後の臭いおよび味の評価
a: 臭いの評価
b: 味の評価

3-2) A (赤ビートのみ) を基準としたB (オレンジ)、C (グレープフルーツ)、D (ブドウ) の比較について

臭いの比較評価結果を図3-3から図3-5に示した。AとBの特有の臭いの強さの比較では、Aは25人、Bは23人、変わらないは0人であり、有意な差は認められなかった(図3-3)。AとCの比較では、Aは25人、Cは21人、変わらないは2人であり、有意な差は認められなかった(図3-4)。AとDの比較では、Aは28人、Dは19人、変わらないは1人であり、有意な差は認められなかった(図3-5)。

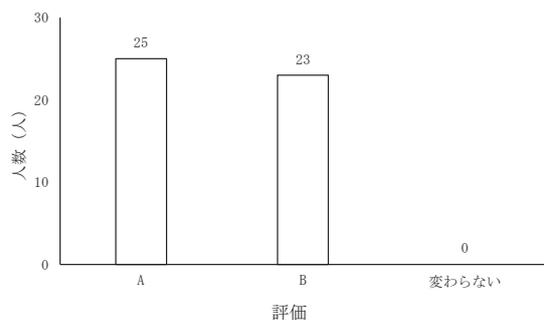


図3-3 A(赤ビートのみ)とB(オレンジ添加)の臭いの強さの比較

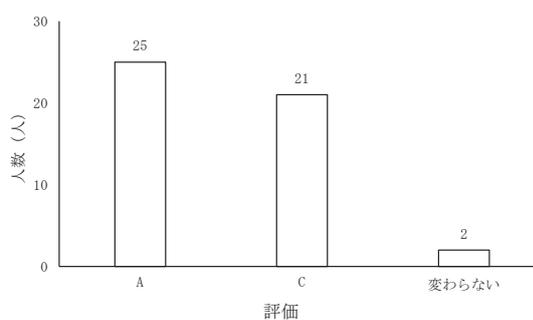


図3-4 A(赤ビートのみ)とC(グレープフルーツ添加)の臭いの強さの比較

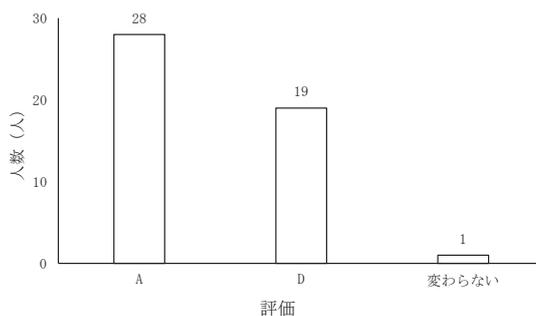


図3-5 A(赤ビートのみ)とD(ブドウ添加)の臭いの強さの比較

味の比較評価結果を図3-6から図3-8に示した。AとBの特有の味の強さの比較では、Aは35人、Bは10人、変わらないは2人であり、Aのジュースにおいて赤ビート特有の味が強いと感じた人が有意に多かった ($p < 0.05$) (図3-6)。AとCの比較では、Aは33人、Cは12人、変わらないは2人であり、Aのジュースにおいて赤ビート特有の味が強いと感じた人が有意に多かった ($p < 0.05$) (図3-7)。AとDの比較では、Aは34人、Dは13人、変わらないは0人であり、Aのジュースにおいて赤ビート特有の味が強いと感じた人が有意に多かった ($p < 0.05$) (図3-8)。

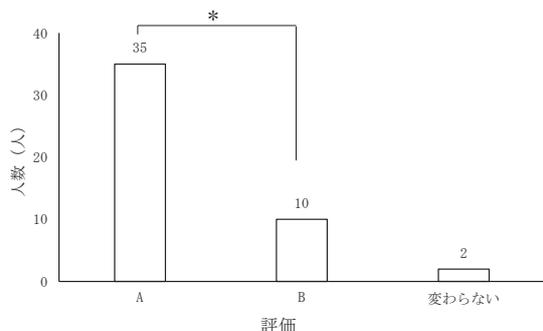


図3-6 A(赤ビートのみ)とB(オレンジ添加)の味の強さの比較
* : $p < 0.05$

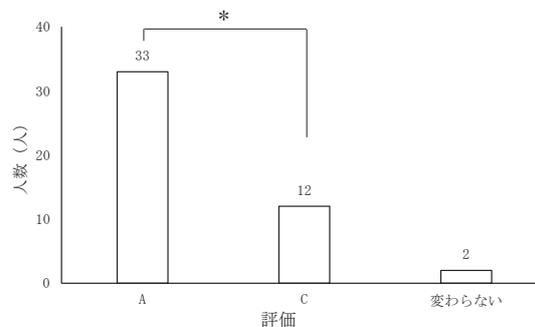


図3-7 A(赤ビートのみ)とC(グレープフルーツ添加)の味の強さの比較
* : $p < 0.05$

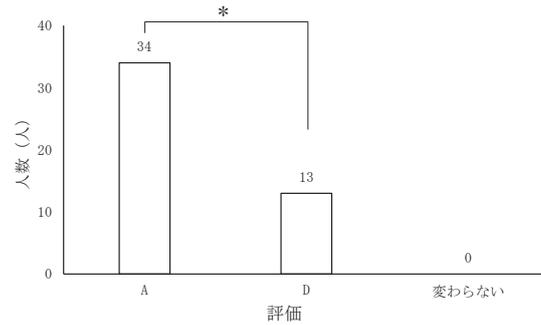


図3-8 A (赤ビートのみ) とD (ブドウ添加) の味の強さの比較
* : $p < 0.05$

表2 総合評価 (ジュースの好みの順位)

種類 \ 順位	1位	2位	3位	4位
A (赤ビートのみ)	1	0	4	40
B (オレンジ添加)	13	13	19	1
C (グレープフルーツ添加)	4	16	12	5
D (ブドウ添加)	27	9	8	1

(人)

総合評価 (ジュースの好みの順位付け) の結果を表2に示した。1位で最も多かったのはDのブドウを添加したジュースであった。2位で最も多かったのはBのオレンジを添加したジュースで、3位で最も多かったのはCのグレープフルーツを添加したジュースであった。順位が最も低かったのはAの果汁添加していないジュースであった。

その他、「Aは味も臭いも土のようだった」、「多数の人がDのブドウを添加したジュースが1番美味しい、飲みやすい」、「Dのブドウを添加したジュースなら普段から飲みたい、買いたい」が感想、意見として挙げられた。

IV. 考察

生育期間でのゲオスミン濃度は、生育期間90日での収穫で最も高値を示したが、生育期間とゲオスミン濃度間で相関関係は認められなかった。ゲオスミン濃度においては、赤ビート中のゲオスミンは内因性とされており¹³⁾、環境要因よりも個体差が大きいことが考えられる。生育期間の影響よりも個体差が大きいことが考えられ、今後試料数を増やし検討する必要があると考えられる。

生育期間でのベタレイン含量は、生育期間60日での収穫で最も高値を示した。ベタレイン含量と赤ビートの重量間の相関において、赤ビート100 g当たりのベタレイン含量は、ベタレイン含量と赤ビートの重量間で負の相関が認められ、赤ビート1個当たりでは、正の相関が認められた。また、赤ビートの重量は生育期間の経過に伴い増加していた。ベタレインの総量は長期間栽培することで重量の増加に伴い増加するが、ベタレインの濃度は減少することが示された。Michalikら¹⁴⁾は、100日以上での栽培は色素の産生において望ましくないと報告している。渡ら⁷⁾も、赤ビートの直径が5~6 cmとなる51日間の栽培が最も色素含量が多いことを報告している。本研究においても、ゲオスミン濃度に与える生育期間の影響は大きくなかったことから、早期の生育段階で赤ビートを収穫することが、効率的にベタレイン色素を摂取できる条件に繋がると考えられた。

保存方法では、「収穫直後」および「茎残し」ではゲオスミン濃度に変化は認められなかつ

たことから、茎を残した状態では2か月の保存がゲオスミン濃度に影響を与えないことが示された。一方で、「茎残し」に比べ「茎落とし」の方がゲオスミン濃度は低値を示した。赤ビートの形状は球状をしており、そこに茎が複数生えているため、茎全体を切り落とすことで広範囲に断面が露出した状態となる。ゲオスミンは揮発性が高く、断面を露出させた状態で一定期間保存することで、茎を切り落とした断面から保存期間中にゲオスミンが気化していると推察された。市販されている赤ビートは、数cmの茎が付いた状態で販売されていることが多く、家庭で栽培した場合や、市販品を購入した場合においても、茎を切り落とし、一部断面を露出することで、水分が多い茎の部分からの腐敗を抑制し、かつ特有の土臭さを軽減することができると考えられる。一方で、「茎落とし」と「次亜塩素酸処理」ではゲオスミン濃度に変化は認められなかった。腐敗防止のために茎を落とした断面を次亜塩素酸で処理をしたが、2か月間の保存では「茎落とし」、「次亜塩素酸処理」とともに腐敗はしていなかった。そのため、2か月程度の冷蔵保存であれば、特に次亜塩素酸で処理する必要はないものと考えられた。

保存方法の結果から、すべての条件においてベタレイン含量に大きな差異は見られなかった。そのため、ゲオスミン濃度で最適と考えられた茎落としの状態が、保存方法、ゲオスミン低減およびベタレイン摂取の観点からも適切だと考えられた。

官能評価試験の結果より、臭いについては、オレンジ、グレープフルーツ、ブドウのジュースを添加したそれぞれのジュースについて果汁無添加のジュースと比較した場合、いずれも有意な差は見られなかった。一方、味については、それぞれの果汁を添加したジュースと比べ果汁無添加のジュースにおいて赤ビート特有の味が強いと感じた人が有意に多かった。このことから、どの果汁においても赤ビート特有の味を低減化させる一定の効果があることが示唆された。赤ワインによる肉の臭みの軽減は、ブドウ由来のタンニンによるものであることが報告されている¹⁵⁾。このことから、オレンジとブドウについては、これら果汁の添加に伴う甘味の増加が、特にブドウでは甘味に加えてタンニンが土臭さ低減の一因となったと考えられる。また、オレンジ、グレープフルーツ、レモン等の柑橘類の果皮に含まれる香気成分リモネンは、魚の臭い成分であるトリメチルアミンの消臭効果を示すことが報告されている¹⁶⁾。しかし、予備試験においてレモン添加では土臭さの低減は認められなかった。オレンジには、リモネンが豊富に含まれており、グレープフルーツにはリモネンの他、苦み成分のナリンギン、香気成分のヌートカトンが含まれていることから、グレープフルーツの土臭さ低減効果には複数の成分が関与していることが考えられる。しかしながら、詳細な果実のゲオスミン臭の低減作用については今後さらに検討が必要である。好みについては、果汁を添加していない赤ビートのみのジュースが最も順位が低く、ブドウジュースを添加したジュースが最も高い順位であった。したがって、果汁を添加することで風味が改善され飲みやすくなり、特にブドウジュースの添加が最適であることが示唆された。現在、日本で市販されている赤ビートジュースは、リンゴ果汁を加えている商品の他、果汁を加えていないものが多くみられる。赤ビートには機能性の一つとして、赤ビートに含まれる硝酸塩の摂取により一酸化窒素が産生され、血管の拡張および血流改善が為されスポーツパフォーマンスを向上させること報告されている^{17,18)}。そのため、欧米ではスポーツ飲料として販売されており、一般消費者だけでなくアスリートにおける消費量も多いのが特徴である。しかし、海外の商品においても赤ビートに甘味料を加えているだけのものが多く、特有の土臭さを感じるものがほとんどであり、赤ビートにより馴染みを持つには、土臭さを低減させることは不可欠である。赤ビートは生食が可能であることはあまり認知されていないため、生で栄養素を効率よく、かつブドウと合わせ飲みやすくなることを提

案することは、赤ビートの普及に向け非常に有意義であると考えられる。

V. まとめ

我々は、赤ビートの普及に向け、赤ビート中に含まれる土臭さの原因とされるゲオスミンおよび機能性色素ベタレイン含量を測定し、最適な生育期間と保存方法を検討した。その結果、ゲオスミン濃度は栽培期間による差は認められなかったが、ベタレイン濃度は長期間の栽培で減少することが示された。そのため、ゲオスミンおよびベタレイン含量の両面において、赤ビートは生育期間60日程度の早期の生育段階で収穫することが望ましいと考えられた。さらに、収穫した赤ビートは茎を落として保存することで、土臭さを低減することができることが示唆された。また、土臭さを低減する果実としてブドウが極めて有効であることが示唆され、生の赤ビートとブドウを合わせてジュースに加工することで、栄養素や機能性成分を効率的に摂取することができると考えられる。これらの結果をもとに、運動器具や機能性食品を取り扱う企業であるシャインツリーとの協同により、赤ビートとブドウのジュースの商品化を行った。インターネットやホテルの売店で販売している他、イベントでの展示、本学のオープンキャンパスで高校生に配布するなど、ジュースを利用して様々な形で赤ビートの普及活動を行っている。今後も、栽培・成分的な基礎研究、そして商品開発までさらなる普及活動行っていきたいと考えている。

文献

- 1) 上水試験方法 2001年版解説編. 日本水道協会, 2001, 1095p
- 2) 荻野恭子. ビーツ私のふだん料理. 株式会社扶桑社, 2020, 95p
- 3) 山崎志保. ビーツ！ビーツ！ビーツ！免疫力を高める北のスーパー健康野菜ビーツの食べ方. 有限会社寿郎社, 2022, 99p
- 4) Khan MI. Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2016, 15 (2) , 316-330.
- 5) Tanaka Y, Sasaki N, Ohmiya A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J.* 2008, 54 (4) , 733-49.
- 6) 望月悠希. “真っ赤”色素に機能性「日本農業新聞」2019. 5. 10.
- 7) 渡萌恵, 池浦博実, 柘植一希, 他. ビート (*Beta vulgaris* L.) におけるベタレイン含量の品種間, 生育期間間および部位間による差異 *園芸学研究* 2017, 16 (3) , 301-308.
- 8) 崎浜靖子. 植物色素ベタレイン-分布、生合成および生理機能 謎に包まれた多機能性植物色素 *化学と生物.* 2017, 55 (9) , 582-584.
- 9) Guiping Lu 1, John K Fellman, Charles G Edwards. Quantitative determination of geosmin in red beets (*Beta vulgaris* L.) using headspace solid-phase microextraction. *J Agric Food Chem.* 2003, 12 (4) , 1021-5.
- 10) Ravichandran K, N. M. M. T. Saw, A. A. A. Mohdaly, et al. Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International* 2013, 50, 670-675.
- 11) 厚生労働省生活衛生局長通知：大量調理施設衛生管理マニュアル. 平成9年3月24日, 衛食第85号別添.
- 12) 大越ひろ, 神宮英夫. 食の官能評価入門. 光生館. 2009, 127p.

- 13) Lynn M, Irwin L. G. Endogenous Production of Geosmin in Table Beet. HortScience. 2018, 53 (1) , 67-72.
- 14) Michalik B, E Zukowska, S. Sleczeek. Changes in quality of red beet cultivars with growing time. Folia Hort. 1995, 7, 127-136.
- 15) 長尾公明. 調理用・調味用としてのワイン. 日本調理科学会誌. 2014, 47, (3) , 190-192.
- 16) 中村友香, 物部勇馬, 岩本仁志ら. ヒノキのおがくずとモノテルペン類のトリメチルアミンに対する消臭効果. におい・かおり環境学会誌. 2019, 50 (6) , 416-421.
- 17) Murphy M, Eliot K, Heuertz RM, et al. Whole beetroot consumption acutely improves running performance. J Acad Nutr Diet. 2012, 112 (4) , 548-552.
- 18) Vungarala S, Shaik M, B PhaniKrishna, et al. Ind. A study of beet root derived dietary nitrate efficacy on performance of runners. J Basic & Applied Med Research. 2014, 3, 690-695.

謝辞

本研究は、2020年度～2022年度の札幌保健医療大学研究奨励金の助成により実施されました。ここに心より深謝いたします。