

鳥取県内生産者と共に創する食材価値とその発信

環境学部環境学科 山本 敦史

1. はじめに

1.1. 食料・農業・農村基本法の改正と日本の食糧生産

日本の農政の憲法とも呼ばれる「食料・農業・農村基本法」が 2024 年 6 月に改正・施行された。1999 年の制定から初めての改正であり、それを踏まえた「食料・農業・農村基本計画」も本年 2025 年 5 月には策定予定である。国際的な食料需要の増加や、食糧生産・供給の不安定化が進む中、「国民一人一人の食料安全保障・持続的な食料システム」を方針の柱の 1 つとした一方で、国内では 20 年間価格が安定していた米が 2023 年秋以降高騰し社会の大きな関心事となった。2022 年のロシア・ウクライナ紛争の発生以降、国際的な穀物価格は上昇傾向にあったが、国内では 2024 年になって米の価格上昇の速度が他の穀物を追い抜くこととなった。図 1 は総務省統計局による小売物価統計におけるコシヒカリ精米 5 kgあたりの鳥取市内の価格の推移を表している。

世界的な食料需要の増加に加え、2024 年は 2023 年と並び最も暑い夏となるなど気候変動も農作物の収量・品質低下の要因となる可能性がある。

穂温度が 33° C 以上となると玄米の胚乳内のデンプン蓄

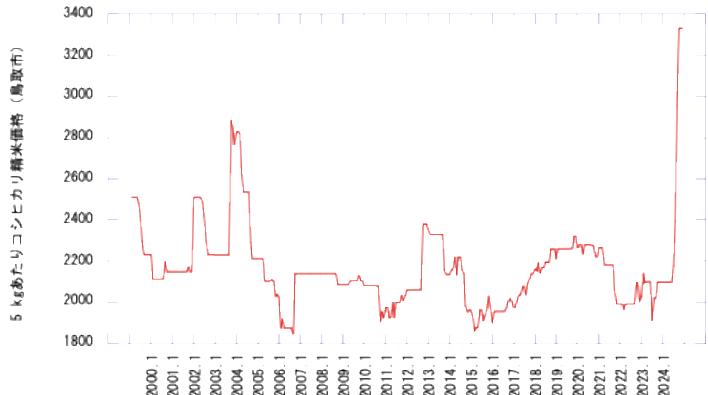


図 1. コシヒカリ精米 5 kg あたりの価格

積不良から粒間に隙間が生じ米粒が白く濁った白未熟粒が増加することが報告されている (Yoshimoto, 2021)。政府は米の生産量から需要とのバランスを考慮し、当初価格高騰は一時的なものとしていたが、実際には高温障害等による不稔率が高まるなどし、生産量と精米として流通する量に 5% 程度の乖離が生じている。加えて、これまで JA 系統といった大手の集荷業者の取扱量が主たるものであったが、2025 年は JA 系統の集荷業者への出荷量が前年比 34 万トン減少した一方で、生産者による直接販売や通常の集荷業者以外との取引が 49 万トン増加しており、比較的価格の高い米が流通しやすい環境が揃ったことが大きな要因と考えられる。「食料・農業・農村基本法」改正の理念においても農業生産の増大は取組みの基本とされている。米については長い間生産管理が続けられてきたが、他品目と同様に輸出等で収益化し成長産業を目指すことで増産の体制となる可能性が高い。

1.2. 新結合による農林水産イノベーション

新結合は経済学において提唱された概念であり、ある物品の生産は原料に行行為をかけあわせる結合によって行われるが、新結合とはこの結合の組み合わせを変えることを指す。経済学者のシュンペーターはこの新結合が非連続的におこる状況において経済発展が生じるとしている。これまでも農泊や渚泊といった体験を組み合わせた観光等が取り組まれてきたりモートワークといった二拠点居住のような新しい社会要素の組み合わせが、地方創生の核心であるとして日本国内でも注目が高まっている。これまでに関連の乏しかった分野の組み合わせにより生まれる新しい価値を国内外に発信するための体制整備も始まっている。

1.3. 食に関する知見の発信・活用の重要性 消費者を含めた価値観の転換

2024年3月に一部の機能性表示食品を摂取したことによる健康被害問題が明らかとなつた。消費者庁を中心に、健康の維持や増進の効果をうたう健康食品の問題についての発信がなされているが、中でも次の5つの問題を消費者に伝えることが課題とされている。

- ① 健康食品で病気が治るか？
- ② 天然・自然由来のものが原料なら安全か？
- ③ 専門家の研究結果と同じ効果があるか？
- ④ 体験談は信用できるか？
- ⑤ 一時的な体調不良は効果の証拠か？

一方で、消費者庁が実施している食品表示に関する消費者意向調査では消費者が健康食品に関する情報を収集するにあたり、9割以上の消費者が表示以外に製造者に直接問い合わせをしたり、行政機関からの情報発信を利用したりしないとされ、消費者はあふれる製造者サイドの表示や広告の情報にさらされているのが現状である。健康被害を生じる事故も発生していることから、消費者と適切な情報を繋ぐ役割の重要性は高まっているといえる。

1.4. 連携支援計画とここまで取り組み

地域の特性を活用した事業を支援するための国の取り組みに2017年に制定された地域未来投資促進法がある。地域未来投資促進法は、地域の特性を活用した事業を支援するために地域が策定した連携支援計画を国が承認する形となっている。事業者からは、商品のブランド化・高付加価値化のために、食味や機能性成分の見える化に対する要望がある一方で、それらを実現するための化学分析の環境やデータに基づく情報発信などの支援体制は十分ではない。そのため、環境大学では県内8機関が事業支援を行う「食のみやこ鳥取づくり連携支援計画」を策定し、2019年12月に承認を得、支援を開始した。2020, 2021年度は環境大学内の複数の教員が計画に参加する体制を構築し、大豆・エリンギ・えごま・ラッキョウ・柿・トマト・食用花・パパイヤ・コメ等について取り組み当初の計画の5件の支援

を大きく上回る取組みとなった。これらの生産者との繋がりはその後、7件共同研究等の形に強化されている。2023年からは鳥取市経済・雇用戦略課からの受託研究として鳥取市の公認ECサイトである「とっとり市」を通した農産物のPRを行っている。「食のみやこ鳥取県」は2023年度に「食パラダイス鳥取県」に名称変更されたが、継続して食パラダイス鳥取づくりのために一層生産者間の連携の促進や、調査対象とした機能性成分と栽培条件等の関連についてデータを蓄積する。

2. 実験

2.1. 分析機器と測定条件

分析機器にはサイエックス社の液体クロマトグラフ ExionLC AD と質量分析計 X500R からなるシステム (LC/MS) およびアジレント社製の液体クロマトグラフ Inifinity 1260 (HPLC) を用いた。液体クロマトグラフィーのカラムはアジレント 製 Poroshell 120 EC-C18、化学物質評価機構 L-column3 C18 を用いた。HPLC の検出は 535 nm の吸収により行った。質量分析計のイオン化はエレクトロスプレーイオン化 (ESI) を用い、正イオンモード、負イオンモードそれぞれで測定した。取得した質量分析データをサイエックスのソフトウェア SCIEX OS により解析した。

2.2. 試薬と器材

ワインのアントシアニンであるマルビン、オエニンは Santa Cruz Biotechnology より購入した。シアニジン、クロマニン、スチルベン系のポリフェノールである cis-レスベラトロール、 ϵ -ビニフェリンは長良サイエンスから購入した。trans-レスベラトロールは BLD Pharmatech より購入した。ピセイド、ピセアタンノール、主要なベタレンであるベタニンは東京化成から購入した。東京化成から購入したベタニンは抽出後デキストリンで希釈したものとされていたため、東京化成以外にも AdooQ バイオサイエンスからも購入した。メタノール、エタノールは関東化学の LC/MS グレード、または残留農薬分析グレードのものを購入した。アセトニトリルは LC/MS グレードのものを林純薬工業より購入した。実験に用いた水はバーンステッドの超純水製造装置 NANOpureDiamond により製造したものを用いた。振とう抽出には東京理化機械のキュートミキサー CM-1000 を用いた。遠心分離機は himac 製 CR22N を用いた。

2.3. ワインの取組

鳥取県内には現在 3 事業者によるワイナリーがあり、さらに琴浦町にレストランを含めた宿泊施設を持つ観光ワイナリーも事業開始を予定している。地域のワインの価値向上に向けて、含まれる成分を高付加価値化に繋げる期待は高いものである。ただし、ワインの健康への影響をめぐっては古くからの議論の対象である。現在では世界保健機関 WHO の専門

機関である国際がん研究機関が 2012 年のモノグラフ 100E 卷において、アルコール飲料はヒトにおける発がん性と十分な関連があることを示す証拠があるものに分類している。アルコールに対する体質については遺伝的な要因があるとされ、日本人はアルコールの代謝に関して大きな役割を果たすアルデヒド脱水素酵素の 1 つ ALDH2 に変異を持つ比率が約半数と高い (Nakamura, 2002)。ALDH2 は分子量 5.6 万 Da のタンパク質であり、変異により 487 番目のアミノ酸残基がグルタミン酸からリシンに置換される。このため、変異を持つヒトの ALDH2 は適切な高次構造が形成できず酵素活性が落ちるとされる (Farrés, 1994)。遺伝的な差異はあるとしても、日本人を対象としたアルコールとがんの関連についての調査はすでに相当数行われている。国立がん研究センターはがんリスクへのエビデンスを調査しており、2023 年にエビデンスの評価を更新している。その中で、飲酒は肝臓・大腸・食道・頭頸部のがんにつながることに十分な証拠があるとしている。これらの状況を踏まえ、機能性表示制度においても、アルコールを摂取するためのアルコールを含む食品については制度の対象外とされている。

一方で、ワインが健康によいとする見方も根強い。国立医薬基盤・健康・栄養研究所が公開している「健康食品の安全性・有効性情報」において、これまでの研究事例の評価を行っている。その中でもブドウポリフェノールについて 2025 年 2 月に情報が更新されている。動物あるいはヒトを対象とした調査で、ブドウポリフェノールの摂取は血圧の低下をもたらすとする報告も多い中でヒトでの調査は動物での報告例に比較して単純ではないとされる (Weaver, 2021)。また、機能低下が動脈硬化につながる血管内皮機能がブドウポリフェノールの摂取により機能改善するとされる報告もある (Li, 2013)。糖代謝や免疫に関する報告例も多くあるが、これらには十分な信頼性を持って有効性を示す報告例はないとされる。血圧等、循環器に対する機能改善傾向を示す研究例は少なくないが、公的機関として明確にブドウポリフェノールの効能を認めている事例は世界的にも見られない。

ワインに含まれる健康維持の機能性があるとされるポリフェノールで注目されているのは赤色の色素であるアントシアニン類と、レスベラトロールを代表とするスチルベン系化合物である。どちらも単独の物質ではなく、類似の構造の総称である。ワイン中の主要なアントシアニンであるマルビン、オエニンに加え、スチルベン系化合物である *trans*-レスベラトロール、*cis*-レスベラトロール、ピセイド、ピセアタンノール、 ϵ -ビニフェリンを同時に測定できる手法を用いてワイン中の量を測定した。ワインには多くのポリフェノールが含まれるため、希釈した試料を LC/MS による測定を対象とした。希釈は 4 g の酒石酸、120 mL エタノールを水に溶かし 1 L としたものを水酸化ナトリウム水溶液で pH 3.6 に調製した擬似ワインを行い行った。調査対象は EC サイト「とっとり市」で取り扱われているワインを中心に選択した。

2.4. ビーツの取組

ビーツはヒュ科ベタ属 (Beta) に属し地中海原産の食用作物である。国外ではビートルート (beetroot) あるいはテーブルビート (table beet) と呼ばれ和名も火焔菜（かえんさい）があるが、日本語ではビーツが一般的な呼称となっている。栽培の歴史は紀元前にすでにローマ人が地中海沿岸地方に自生する野生種から葉野菜を開発したことにさかのぼる。この葉野菜が栽培地域を拡大するにつれ、色素を蓄え、根を膨らませた形のものが選択され現在の根菜としてのビーツが生まれた (Nikan, 2019)。その姿から大根やカブの仲間と見做されがちであるが異なる種であり、砂糖甜菜やフダンソウが同属の主要な作物である。

ビーツはビタミンやミネラルを豊富に含むことから、民間療法としても用いられてきた地域もある。一方で、ビーツの健康上の利点は含まれる生理活性成分に依存するとされる。ビーツ自身にも多く品種があり、含有成分についても部位や収穫条件によっても異なると考えられる。本研究では特徴的な赤い色素であるベタレインの一種類であるベタニンについてビーツパウダー中に含まれる量を評価するための分析法を検討した。ビーツパウダーは 0.5 g に水あるいはメタノールを 5 mL 加え、東京理化器械のキュートミキサーを用い 1500 rpm で 20 分間振とうし、Himac の遠心機 CR22N を用い 20000 g で遠心分離し上清を集めることを合計 5 回繰り返し、抽出回数に対する 535 nm の吸収強度の変化を調べた。また、確立した抽出方法を用いて、鳥取市内で製造されているビーツパウダーの量を LC/MS により分析した。

3. 結果と考察

3.1. ワインの検討結果

分析結果の一例を図 2 に示す。ワイン 1 mL に含まれるポリフェノール類量を表 1 に示す。含まれるポリフェノールはブドウ品種によって大きな違いが見られた。ワインに含有

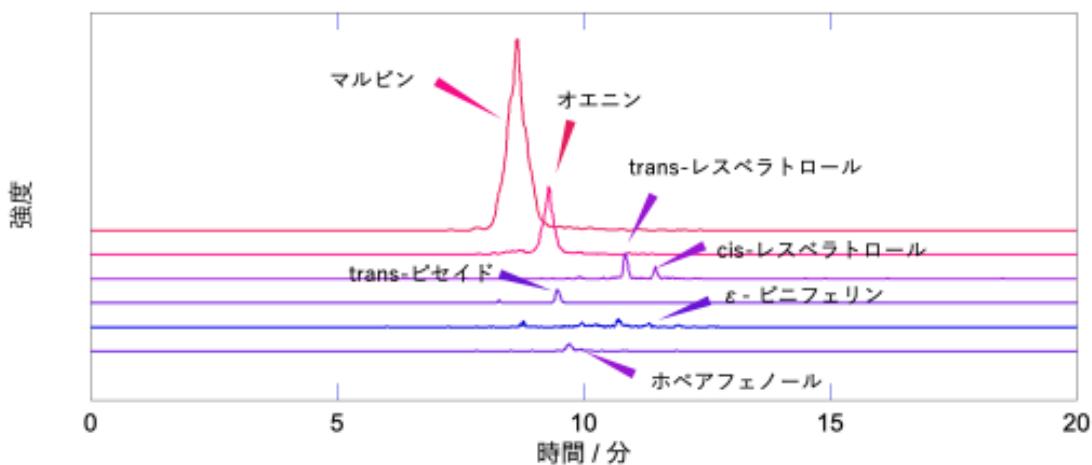


図 2. ワインの分析対象物質の液体クロマトグラフ質量分析計分析例

表 1. ワインに含まれる各ポリフェノール

ワイン種類	カイノワール 2021	メルロ 2022 ン 2023	ヤマソービニオ ン 2023	シラー 2023	小公子 2023
trans-レスベラ トロール	670	1100	110	1400	60
ϵ -ピニフェリン	<30	240	140	330	190
cis-レスベラト ロール	930	2100	330	4000	760
trans-ビセアタ ンノール	<30	450	<30	450	<30
trans-ビセイド	890	4000	68	320	77
オエニン	48000	25000	140	1000	45000
マルビン	1100000	150000	620000	18000	1300000

されるポリフェノールに関しての研究例は数多くあり、遺伝的な要因としてブドウに含まれるポリフェノールが決まり、醸造の過程で酵素反応による変化を受け、さらには保存に伴う熟成の過程で化学反応による変化が起きる。最終的には複雑な種類となり、これがワインの色合いや味を決める大きな要因となっている。全てを測定することは困難であるが、Arapitsas らはイタリアで栽培される主要な赤ワイン品種であるサンジョベーゼについて赤色の色素である 90 種類のアントシアニンを測定している。この中で、オエニンといった基本のアントシアニジンにグルコースが結合したアントシアニンの合計濃度は栽培年によって差があるものの 20-240 mg/L 程度であるとしている。今回測定したブドウ品種がカイノワール、ヤマソービニオン、小公子であるワインはマルビン単独でこの濃度を超えていた。また、クロアチアの Lukić らはメルロ、カベルネソービニオンに加え、クロアチアの土着品種であるテラン、プラヴァツ・マリから醸造されたワインのポリフェノール類を測定している。メルロのアントシアニン合計濃度を 190 mg/L と報告しており、これは今回測定したメルロと近い数字となっている。Heras-Roger らは 250 種類のワインについて含有成分や味・色合いの関連を調べている。メルロやシラーにおいてマルビンやオエニンといったマルビジン系のアントシアニンの合計濃度をそれぞれ 60 mg/L、120 mg/L としている。これらの既報のデータを比較すると今回のカイノワール、小公子から醸造されたワインのマルビンの値は明らかに高い値といえる。学術論文等でこれらの高濃度を報告している事例やこれらの品種の分析例を見つけることはできなかったが、山形県東根市の事業者、東根フルーツワインが運営しているホームページでは主力製品のさくらんぼワインだけでなく通常のブドウの赤ワインについてのポリフェノール分析事例を公開している。ヤマブドウやヤマソービニオンといった日本の品種から醸造したワインではマルビンの濃度が 1000 mg/L 程度であったとしており、今回得られた値と遜色ないものであった。

3.2. ピーツの検討結果

Infinity 1260 による分析結果の一例を図 3 に示す。5.9 分と 9.1 分に顕著な吸収を示すシグナルが得られていた。溶出した成分は 5.9 分のものがベタニン、9.1 分のものがベタニンの異性体であるイソベタニンと考えられた。Infinity 1260 で検出されたシグナル強度の抽出回数に対する積算値を図 4 に示す。水で抽出した場合、抽出回数が 3 回を

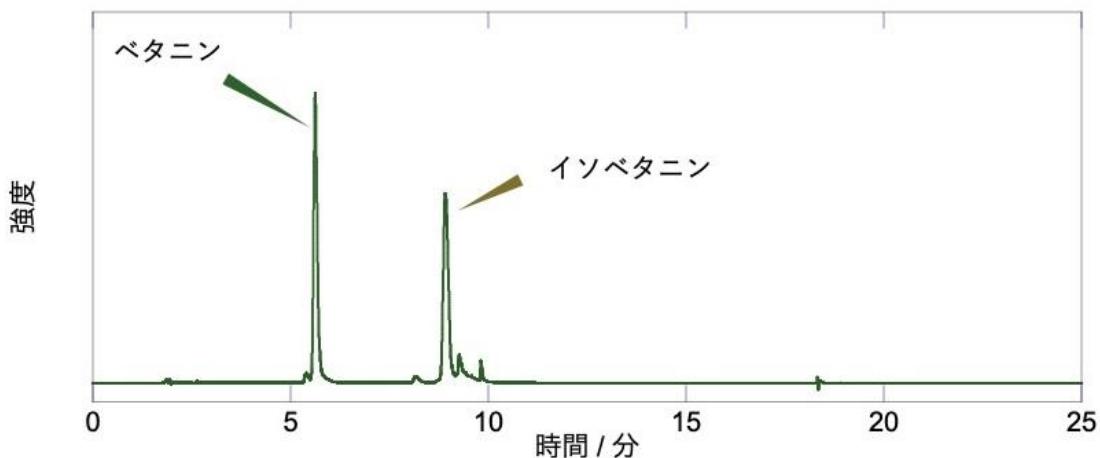


図 3. ビーツパウダー抽出液の液体クロマトグラフ分析例

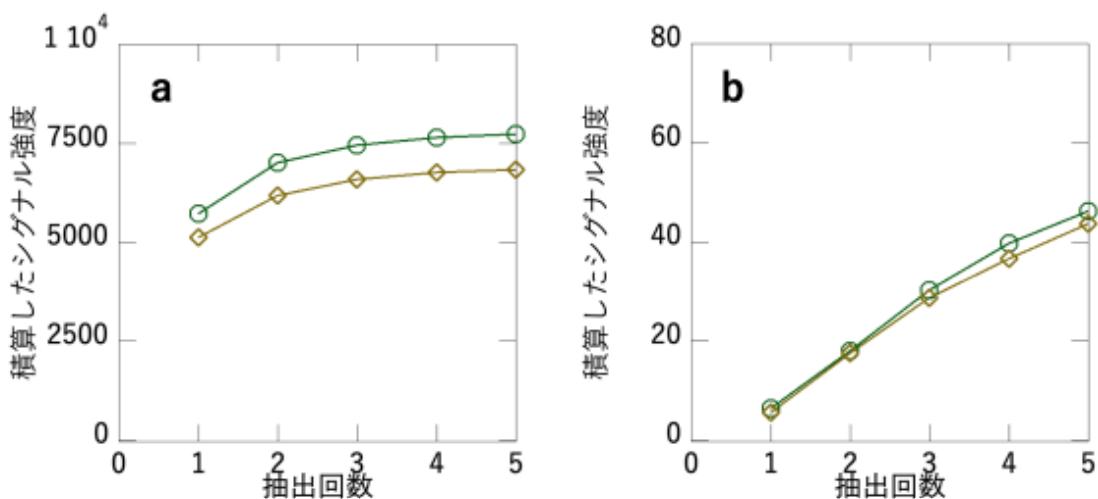


図 4. 抽出回数に対するシグナル強度の積算値の変化 (a: 水抽出、b: メタノール抽出)

超えると、さらに抽出されるベタニンの量は 5 % も増加しておらず、3 回でほとんどのベタニンが抽出できており、4 回目以降の抽出は不要と考えられた。メタノールを抽出溶媒に用いた場合は、1 回の抽出されるベタニンの量が少なく、抽出を繰り返しても延々とベタニンが抽出されており、抽出効率が水に比べて低かった。実際のビーツパウダーの分析では水による抽出を 3 回繰り返した溶液についてベタニンの量を測定した。

今回、ベタニンを東京化成および AdooQ バイオサイエンスから購入したが、純粋な化合物としてのベタニンではなく、精製されていないビーツ抽出物であった。Grewal らは同じ AdooQ の試薬を用い、モル光吸係数から 1 g に含まれるベタニン量を 1.7 mg と決めている。この値を用いて定量したビーツパウダーに含まれるベタニン量を表 2 に示す。これま

表 2. ビーツに含まれるベタニン / mg g⁻¹

ビーツパウダー種類	生産者 A	生産者 B
ベタニン	4.9	2.4
イソベタニン	6.3	2.7

で、ビーツに含まれるベタニンの量の報告例は限られていた。その機能性が注目されるようになっていることもあり、2020 年以降、ビーツのジュースや生のビーツに限らず、様々な乾燥方法を適用してパウダーを製造した時の、パウダーに含まれるベタニン量に関する報告が増えている。Kongor らは製造したパウダーにベタニンが 1.89 mg/g 含まれていたと報告している。まだ比較できる値が少ないものの、他の報告例と大きく違いのない値といえる。

ベタニンの生理機能については、抗酸化作用だけでなく、低密度リポタンパク酸化抑制、抗炎症作用、薬物代謝酵素の誘導による肝臓保護作用が期待され研究例が年々増加している。増えつつある知見を整理し、情報発信していくことが期待される。

4.まとめ

本研究は、地域食材の有用成分を価値向上に繋げるため、有用成分の予備的探索、探索した成分についての量的評価法の確立、確立した手法を用いての産地・品種・加工方法による評価という段階で進めている。今年度はワイン、ビーツについて新たに対象としたベタニンを含め量的評価法を確立し、品種間、製造者による違いを調査した。データの蓄積がすすみ、EC サイトなどの情報発信に信頼性の高い情報が提供できることが望まれる。

参考文献

- [1] Yoshimoto, M., Sakai, H., Ishigooka, Y., Kuwagata, T., Ishimaru, T., Nagagawa, H., Maruyama, A., Ogiwara, H., Nagata, K.: Field survey on rice spikelet sterility in an extremely hot summer of 2018 in Japan. *J Agric Meteorol*, 77: 262-269, 2021.
- [2] Nakamura, Y., Amamoto, K., Tamaki, S., Okamura, T., Tsujita, Y., Ueno, Y., Kita, Y., Kinoshita, M., Ueshima, H.: Genetic variation in aldehyde dehydrogenase 2 and the effect of alcohol consumption on cholesterol levels. *Atherosclerosis*, 164: 171-

177, 2002.

- [3] Farrés, J., Wang, X., Takahashi, K., Cunningham, S. J., Wang, T. T., Weiner, H.: Effects of Changing Glutamate 487 to Lysine in Rat and Human Liver Mitochondrial Aldehyde Dehydrogenase. *J Biol Chem*, 269: 13854-13860, 1994.
- [4] Weaver, S. R., Rendeiro, C., McGettrick, H. M., Philp, A., Lucas, S. J. E.: Fine wine or sour grape? A systematic review and meta-analysis of the impact of red wine polyphenols on vascular health. *Eur J Nutr*, 60, 1-28, 2021.
- [5] Li, S. H., Tian, H. B., Zhao, H. J., Chem, L. L., Cui, L. Q.: The Acute Effects of Grape Polyphenols Supplementation on Endothelial Function in Adults: Meta-Analyses of Controlled Trials. *PLOS ONE*, 8: e69818, 2013.
- [6] Nikan M., Many A.: Beta vulgaris L. Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements. Academic Press, London, 2019.
- [7] Arapitsas, P., Perezoni, D., Nicolini, G., Mattivi, F.: Study of Sangiovese Wines Pigment Profile by UHPLC-MS/MS. *J Agric Food Chem*, 60: 10461-10471, 2012.
- [8] Lukić, I., Radeka, S., Budić-Leto, I., Bubola, M., Vrhovsek, U.: Targeted UPLC-QqQ-MS/MS profiling of phenolic compounds for differentiation of monovarietal wines and corroboration of particular varietal typicity concepts. *Food Chem*, 300: 125251, 2019.
- [9] Heras-Roger, J., Díaz-Romero, C., Darís-Martín, J.: A comprehensive study of red wine properties according to variety. *Food Chem*, 196: 1224-1231, 2016.
- [10] Grewal, P. S., Modavi, C., Russ, Z. N., Harris, N. C., Dueber, J. E.: Bioproduction of a betalain color palette in *Saccharomyces cerevisiae*. *Metabol Engineer*, 45: 180-188, 2018.
- [11] Kongor, J. E., de Pascual-Teresa, S., Owusu, M., Kyei-Baffour, V. O., Oduro-Yeboah, C.: Investigating the effect of red beetroot powder concentration and processing time on the bioactive compounds composition and antioxidant capacity of beetroot dark chocolate. *J Sci Food Agric*, 104: 184-105, 2024.

補遺

ベタレインについて

植物の主要な色素には、葉緑素として知られるクロロフィル、カボチャやニンジンに含まれるカロテノイド、ブドウやブルーベリーに含まれるアントシアニンに加え、ベタレインという 4 つのグループがある。自然界では 90 種類程度のベタレインしか報告（Strack, 1992）されておらず、カロテノイドやアントシアニンに比べその数は少なくベタレインの研究は他の色素から遅れている。ベタレインは窒素原子を含む図 A1 に示す化合物で赤色のベ

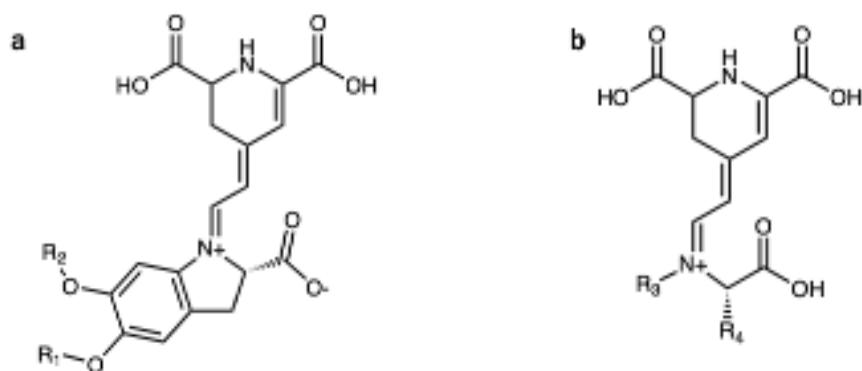


図 A1. ベタレインの 2 つのグループ (a: ベタシアニン、b: ベタキサンチン; R₁, R₂ は糖、あるいは水素、R₃, R₄ はアミンあるいはアミノ酸の側鎖の構造を表す)

タシアニンと黄色のベタキサンチンという細かなグループに分かれる。検討対象としたベタニンはベタシアニンの代表的化合物の 1 つである。ベタレインには高い抗酸化作用があり、DNA や低密度リポタンパク質（いわゆる悪玉コレステロール）などの生体分子の酸化を防ぐことや免疫機能の改善を示す報告は複数なされているが（Banger, 2022）、公的な機関から食品の機能性表示として認められるには根拠が不十分とされている。ベタレインは赤色から黄色の鮮やかな発色を持つことから、天然の着色料は食品産業にとって必要な材料となっている。一部の生産者が製造した紅麹由来の赤色色素に安全上の問題が発生したこともあり、ビーツ由来の着色料の注目が高まっている。ベタニンおよびその関連化合物の構造を図 A2 に示す。

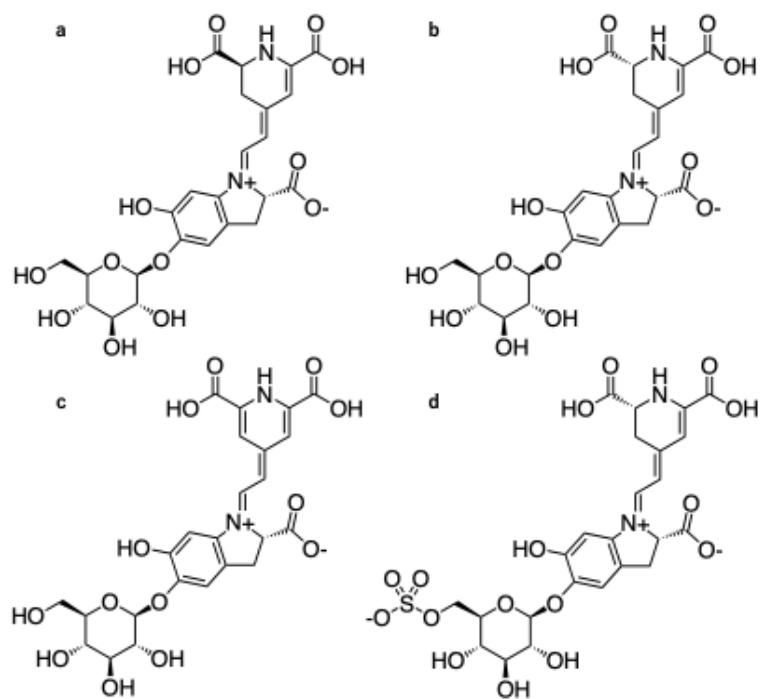


図 A2. ベタニン関連物質の化学構造 (a: ベタニン、b: イソベタニン、c: ネオベタニン、d: プレベタニン)

参考文献

- Strack, D., Vogt, T., Schliemann, W.: Recent advances in betalain research. *Phytochem*, 62: 247-269, 2003.
- Banger, S. P., Sharma, N., Sanwal, N., Lorenzo, J. M., Sahu, J. K.: Bioactive potential of beetroot (*Beta vulgaris*). *Food Res Int*, 158: 111556, 2022.