

# 機能性成分に着目した農産物加工技術の研究開発 (R5)

公益財団法人とかち財団 ものづくり支援部

食品技術グループ 高谷政宏

## 1 研究の背景と目的

令和4年の日本の総人口1億2,495万人のうち65歳以上の人口は3,624万人、高齢化率は29.0%となり<sup>1)</sup>、健康寿命の延伸は日本の大きな課題となっている。健康寿命を延伸するためには日本の国民病とも言われる生活習慣病の予防が重要であり、生活習慣病を引き起こす原因のひとつに酸化ストレスが挙げられる<sup>2,3)</sup>。酸化ストレスの要因はさまざまあるが、例えば呼吸により取り込まれた酸素の一部から発生する活性酸素が挙げられる。発生した活性酸素は通常はスーパーオキシドジスムターゼ等により除去されるが、加齢等が原因で活性酸素の消去機能が弱まると活性酸素の産生量が消去量を上回り、過剰な活性酸素が酸化ストレスとなって細胞を損傷することが知られている。したがって、生活習慣病を予防するため酸化ストレスを軽減する方法が求められている。

こうした背景から食品による酸化ストレスの軽減または制御に関する研究が精力的に行われてきた<sup>4)</sup>。十勝地域でも栽培されているビーツ(テーブルビート)はアルツハイマー病予防の可能性、LDL-コレステロール酸化抑制、末梢部の血流促進等、様々な健康機能が報告されており<sup>5-8)</sup>、このビーツに含まれるベタレイン色素は緑茶等に含まれるカテキンよりも抗酸化活性が高いと報告されている<sup>9)</sup>。また、ビーツジュースはスポーツのパフォーマンスを向上する可能性があり、世界の市場では年5%の成長を遂げていると報告されている<sup>10)</sup>。しかし、抗酸化活性を持つベタレイン色素は熱や光によって分解される性質があるため、この色素を有効に活用した加工食品を製造・販売することは容易ではない。色調を保持する加工技術を開発することは加工品の健康機能が期待されるだけでなく、色鮮やかさによる商品価値の向上、維持も期待できる。

本試験ではより商品価値の高いビーツジュースの開発のため、ベタレイン色素と抗酸化活性を向上、さらに保持する加工技術の開発に取り組んだ。

## 2 試験研究の方法

### 2-1. ビーツの搾汁と殺菌条件の検討

北海道産ビーツを洗浄し、トリミングして搾汁するまで-20℃で冷凍保存した。冷凍保存したビーツ約700gをケンミックスミキサーの連続ジュースセパレーターに2回通してビーツを搾汁した。

調製したビーツジュースにクエン酸一水和物を添加し、pHを4.4または3.6に調整した。pH調整したビーツジュースは中心温度85℃以上・30分もしくは65℃以上・10分の条件で殺菌した。殺菌したビーツジュースは渡らの方法<sup>11)</sup>でベタレイン色素(ベタシアニン、ベタキサンチン)を簡易的に定量した。殺菌前後の糖濃度は高速液体クロマトグラフィー(HPLC)により分析した<sup>12)</sup>。

## 2-2. ビーツの乾燥条件の検討

トリミングしたビーツはスライサーを使用して厚さ 1.5 mm 程度にスライスし、通風乾燥機による乾燥条件を検討した。乾燥温度は 60、70、80℃、乾燥時間はそれぞれ 5、4、3 時間とした。乾燥前のビーツは減圧加熱・乾燥助剤法 (70℃・5 時間)、乾燥物は常圧加熱・直接法 (105℃・3 時間) で水分を測定した。2-1 記載の方法によりベタレイン色素と糖濃度を分析した。

## 2-3. ビーツジュースの新製法の検討

2-1 記載の方法で調製したビーツジュースを使用した。2-2 記載の方法 (70℃・4 時間乾燥) で調製した乾燥ビーツの粉末を 5% 添加して圧搾したジュースを調製し、クエン酸一水和物を使用して pH4.4 に調整して中心温度 85℃以上・30 分の殺菌処理をしたジュースを調製した。対照として 0.1% アスコルビン酸添加と無添加のジュースを調製し、上記と同様に pH 調整と殺菌をしたジュースを調製した。調製したジュースを 30℃、20 日間保存し、定期的にサンプリングして 2-1 記載の方法によりベタレイン色素と糖濃度を分析した。抗酸化活性は DPPH ラジカル消去活性を測定した<sup>13)</sup>。実験は 3 回実施し、統計処理は Excel の統計ソフトを使用して Tukey-kramer 法による多重比較検定をした。

## 2-4. 実規模ビーツジュース製造試験

地域企業のご協力のもと、工場スケールで試作実証試験を実施した。芽室町産ビーツをトリミングし、100℃のスチームで 15 分間加熱した。連続ジュースセパレーターに 2 回通して搾汁し、このうち 5 L を分取して 70℃・4 時間乾燥して粉末化したビーツ 580 g (回収したジュース全量のおよそ 1%) を添加して混和した。粉末を添加したジュースを大元のジュースと混合し、圧搾してろ過をした。クエン酸を使用して pH4.43 に調整したのち、ガラス瓶 1 本あたり 200 mL を充填して中心温度が 85℃以上で 30 分間殺菌した。完成したビーツジュースは速やかに冷却した。保存試験はアルミホイルでガラス瓶を包むことで遮光して 30℃で保存した。保存開始から 8 カ月まで糖濃度、色素濃度と抗酸化活性を分析した。

## 3 結果と考察

### 3-1. ビーツの搾汁と殺菌条件の検討

購入した北海道産ビーツ 10.5 kg を洗浄、トリミングして 7.35 kg を回収した。収率は 70% であった。約 700 g をケンミックスミキサーの連続ジュースセパレーターに 2 回通してビーツを搾汁した。この作業を 3 回独立して実施し、平均搾汁率は 73.2% であった。

無殺菌かつ pH 無調整のビーツジュースの総糖濃度 (グルコース、フルクトース、スクロース) は  $1418 \pm 17$  mg/100 mL であり、ベタレイン色素濃度は  $25.0 \pm 0.6$  mg/100 mL であった。至適殺菌条件を定めるため、ビーツの特長である甘味成分の糖とベタレイン色素について殺菌後の減少量を評価した (表 1)。85℃・30 分の殺菌条件を比較すると pH が低い 3.6 のほうが糖とベタレイン色素の減少が大きかった。pH4.4・85℃・30 分と pH3.6・65℃・10 分

を比較すると糖の減少量は変わらなかったが、pH4.4 のほうが色素の減少量が大きかった。ベタレイン色素の減少量の違いから、pH がやや中性に近い 4.4 のほうが構造は安定であり、熱に耐性があるものと推察された。殺菌により糖が減少する原因としてメイラード反応が考えられた。メイラード反応は一般に中性から塩基性条件下のほうが反応は進みやすいと言われている。しかし、pH4.4・85℃・30分と pH3.6・85℃・30分の比較では、より酸性条件下である後者のほうが糖の減少が大きかった。糖の組成を比較すると pH3.6・85℃・30分のほうがスクロースは分解され、グルコースとフルクトースが増加していた。この原因として酵素インベルターゼが作用したことが考えられた。つまり、ビーツ中のインベルターゼは pH3.6 の方が至適であり、スクロースからメイラード反応の反応性が高いグルコースとフルクトースが多く遊離した状態で加熱されたことによって pH3.6 のほうがより糖の減少が大きくなったものと推察された。糖とベタレイン色素の減少量からはビーツジュースの至適殺菌条件は pH3.6・65℃・10分と思われたが、試飲すると酸味が強いため甘味が非常に弱く感じられた。そこで、本試験ではビーツ由来の甘味を生かすため殺菌条件を pH4.4・85℃・30分として、色素量と抗酸化活性を向上する製法を開発することにした。

**表 1. 殺菌による糖とベタレイン色素の減少**

pH	殺菌	減少糖濃度 (mg/100mL)	減少色素濃度 (mg/100mL)
4.4	85℃・30分	41±29 b	7.4±0.4 b
3.6	85℃・30分	191±73 a	9.6±0.1 a
3.6	65℃・10分	45±30 b	2.2±0.1 c

異なるアルファベットは有意水準 5%で差があったことを示す。

### 3-2. ビーツの乾燥条件の検討

ビーツジュースの色素量と抗酸化活性を向上するため、ジュース中に乾燥ビーツを添加して簡易的にジュースを濃縮する方法を考案した。そこで、まずはビーツの色素量を多く残存する乾燥条件を検討した(表 2)。固形 100g 当たりの色素含量は 60℃・5 時間の乾燥条件と 70℃・4 時間に違いはなく、80℃・3 時間の乾燥条件はベタレイン色素濃度が低いことが分かった。本試験では乾燥が短時間で済む 70℃・4 時間を至適乾燥条件とした。

**表 2. 乾燥条件による色素濃度**

温度 (℃)	時間	色素濃度 (mg/100 g DW)
60	5	425±2 a
70	4	408±6 a
80	3	374±11 b

異なるアルファベットは有意水準 5%で差があったことを示す。

### 3-3. ビーツジュースの新製法の検討

ビーツジュースに乾燥ビーツ粉末を添加する新製法によるジュースを試作して、ベタレイン色素濃度と抗酸化活性を経時的に評価した(図1)。殺菌直後(保存0日)を比較すると新製法のベタレイン色素が最もベタレイン色素と抗酸化活性が高く、それぞれ  $45 \pm 5$  mg/100 mL、 $4821 \pm 260$   $\mu$  mol-Trolox 相当量/L であった。0.1%アスコルビン酸添加はそれぞれ  $32 \pm 6$  mg/100 mL、 $4059 \pm 58$   $\mu$  mol-Trolox 相当量/L であり、対照はそれぞれ  $25 \pm 4$  mg/100 mL、 $2125 \pm 95$   $\mu$  mol-Trolox 相当量/L であった。新製法は対照と比べて色素濃度が1.8倍、抗酸化活性が2.3倍に増加していた。30°Cで保存をするとアスコルビン酸添加と対照は保存日数とともにベタレイン色素濃度と抗酸化活性が減少し続けた。一方で、新製法のベタレイン色素濃度も徐々に減少する傾向であり20日経過すると有意に減少したが、高い水準を維持していた。抗酸化活性は保存5日で有意に減少したが、その後は高い活性を維持し続けた。以上の結果から、乾燥ビーツ粉末を添加することによりアスコルビン酸添加や対照よりも高い色素濃度と抗酸化活性が維持できることが明らかになった。また、サンプリングしたジュースを試験管に加えて観察した(図2)。対照とアスコルビン酸添加の保存10日目になるとビーツの特徴である紫色がほぼ退色していたことから、ビーツ本来の色調を表すためにはベタレイン色素濃度がおよそ15 mg/100 mL 以上は必要であると考えられた。

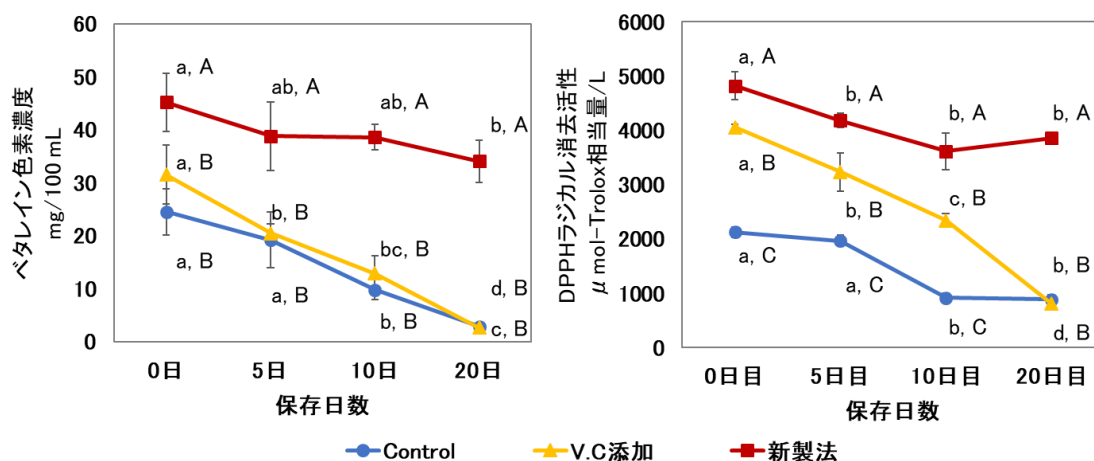


図1. 各製法のベタレイン色素と抗酸化活性

小文字のアルファベットは同一群間、大文字のアルファベットは異なる群間を比較しており、それぞれ異なるアルファベットは有意水準5%で差があったことを示す。



図2. 試作ビーツジュースの外観

### 3-4. 実規模ビーツジュースの製造試験

工場スケールで新製法の実証試験を実施した。トリミングした芽室町産ビーツ約 90 kg からジュース約 56 kg を回収した。収率はおよそ 62%であった。一方で、ラボの試作では収率は 73.2%であった（3-1 記載）。ラボの試作は搾汁前にビーツを冷凍保存していた。解凍すると実が非常に柔らかくなっており、発生した多量のドリップもジュースとして回収していた。それに対して実規模製造試験は時間と場所の都合上、冷凍処理ができなかったため 100℃のスチーム処理で収率を上げようとしたが、結果として冷凍処理ほどの効果が得られなかった。収率を上げて製品の出来高を向上するためには原料のビーツを冷凍・解凍するほうが好ましいと考えられた。

試作したビーツジュースを遮光、30℃条件下で保存して評価した。総糖濃度（グルコース、フルクトース、スクロース）は保存開始時 9,436±89 mg/100 mL、保存 8 カ月経過時は 9,447±138 mg/100 mL であり、保存開始時から変化がなかった。ベタレイン色素濃度と抗酸化活性の経時変化を評価した（図 3）。ベタレイン色素濃度（図 3 青丸、左軸）は保存 8 カ月間徐々に減少していき、保存開始時 47±2 mg/100 mL が 8 カ月後 24±1 mg/100 mL に低下した。減少したベタレイン色素のうち、ベタキサンチン（図 3 黄三角、左軸）よりもベタシアニン（図 3 紫四角、左軸）のほうが減少していた。これはベタシアニンのほうがベタキサンチンよりも抗酸化活性が高いため<sup>14)</sup>、優先的に消費されたものと考えられた。抗酸化活性（図 3 緑点線、右軸）も色素濃度と同様に経時的に減少していたが、ベタレイン色素濃度は保存開始時と比較して 8 カ月経過すると半減していたのに対し、抗酸化活性の減少率は 80%であった。3-3 記載の殺菌直後（保存 0 日）の対照と比較すると 8 カ月保存した試作品のベタレイン色素濃度は同等であり、抗酸化活性はおよそ 1.8 倍高かった。3-3 と 3-4 は原料が異なるため比較評価はできないが、少なくとも乾燥ビーツ粉末を添加する新製法はベタレイン色素濃度の長期維持と高い抗酸化活性の維持に有効な製法であった。

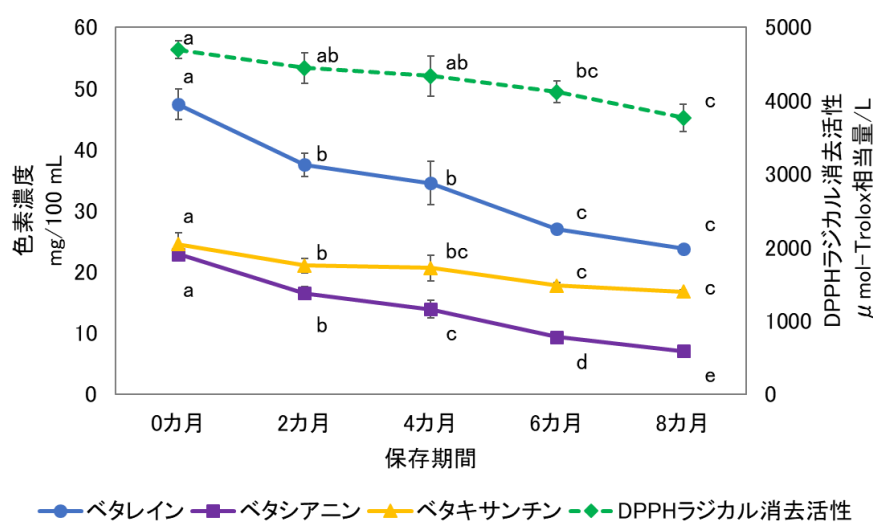


図 3. 実規模試作ビーツジュースの色素濃度と抗酸化活性の経時変化

異なるアルファベットは同一群間において有意水準 5%で差があったことを示す。

#### 4. まとめ

農産物の色素は食卓に彩りを添えるだけでなく健康機能性を持ち合わせているものも多く、その機能性に関する研究は以前から精力的に行われてきた<sup>15)</sup>。しかし、その色素を安定させる加工に関する研究報告は少ない。小泉はベタレイン色素をナノ乳化処理することによって、色素の安定性と吸収性を向上する可能性を報告していた<sup>16)</sup>。本研究では吸収性を検証することはできなかったが、考案した新製法は常温で8カ月保存しても色調を著しく劣化することなく、高い抗酸化活性を維持することを示した。また、本研究で考案した乾燥粉末をジュースに添加する方法はビーツに限定されず、例えば色調が劣化しやすいイチゴなど別の農産物にも応用することが可能かもしれない。本研究によって開発した加工技術が我が国の健康寿命を延伸するような高機能食品を生み出すことを期待する。

#### 5. 参考文献

- 1) 内閣府「令和5年版高齢社会白書」
- 2) 山門實 (2010), 人間ドック **24**, 7-12
- 3) 江口裕伸ら (2009), 生物試料分析 **32** (4), 247-256
- 4) 寺尾純二 (2015), 日本栄養・食糧学会誌 **68** (1), 3-11
- 5) T. Imamura *et. al.* (2022), *Plant Foods for Human Nutrition* **77**, 90-97
- 6) L. Tesoriere *et. al.* (2004), *Am. J. Nutr.*, **80**, 941-945
- 7) H. Wakabayashi *et. al.* (2022), *Eur. J. Appl. Physiol.* **123**(3), 495-507
- 8) 高橋あずさら (2017), 日本食品科学工学会誌 **64**(2), 51-58
- 9) 有賀豊彦ら (2008), *Food Style 21*. **12**, 84-91
- 10) H. Zamani *et. al.* (2021), *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **61**(5), 788-804
- 11) 渡萌恵ら (2017), 園学研 **16**(3), 301-308
- 12) Y. Oda *et. Al.* (2003), *Food Microbiol.*, **20**(3), 371-375
- 13) 沖智之, 平成19年度農林水産省補助事業(食料産業クラスター展開事業)食品機能性評価マニュアル第II集, DPPHラジカル消去活性評価法, 71-78
- 14) Y. Cai *et. al.* (2003), *J. Agric. Food Chem.* **51**, 2288-2294
- 15) 東敬子 (1998), 農林水産技術研究ジャーナル **21**(7), 40-47
- 16) 小泉次郎 (2022), 北海道立総合研究機構食品加工研究センター研究報告 **17**, 1-8