

キウイフルーツ新品種 ‘ZES008’ 果実のアスコルビン酸および アクチニジン濃度

西山 一朗*

Contents of Ascorbic Acid and Actinidin in the Fruits of ‘ZES008’, a Novel Cultivar of Kiwifruit

Ichiro NISHIYAMA *

Abstract

‘ZES008’ is a novel cultivar of kiwifruit. In the present study, the concentrations of ascorbic acid and actinidin in ‘ZES008’ fruit were determined. Ascorbic acid concentration in ‘ZES008’ fruit was 202.6 mg/100 g fresh weight. This value was about 3.2-fold that of the ‘Hayward’ fruit and more than 1.5-fold that of the ‘ZESY002’ fruit on a weight for weight basis. On the other hand, the amount of actinidin contained in ‘ZES008’ fruit was very small, and the fruit juice showed only slight effects on proteolysis of food proteins.

キーワード：キウイフルーツ, ZES008, アスコルビン酸, ビタミンC, アクチニジン

Key words : Kiwifruit, ZES008, Ascorbic acid, Vitamin C, Actinidin

1. 緒言

キウイフルーツは、手頃な価格で通年市販されていることから、消費者になじみの深い果物の一つである。キウイフルーツ果実の栄養特性としては、ビタミンCが極めて豊富であること、果実類の中ではビタミンEや葉酸、カリウムなどに富むこと、食物繊維の良い供給源となることなどが挙げられる。また、機能性成分としては、タンパク質分解酵素であるアクチニジンを含むことや、抗酸化性をもつルテインを比較的高濃度を含むことなどが挙げられる¹⁾。アクチニジンはゼラチンを良い基質とするため、ゼラチンをベースとしたゼリーやパパロアなどを

作る時に、そのゲル化を妨げることが知られている。他方ではアクチニジンの筋原線維タンパク質分解作用が、食肉軟化剤として応用される例もみられる。さらに近年では、消化管内でのアクチニジンのタンパク質消化促進作用も注目されている²⁾。

日本国内で市販されているキウイフルーツの主な品種は、‘ヘイワード’と‘ZESY002’の2種類である。‘ヘイワード’は果実表面が粗毛で覆われ、果肉は成熟してもクロロフィルを失わないため、緑色を呈する。市場に流通している最も一般的な品種であり、世界最大手の生産・販売会社であるニュージーランドのゼスブ

*人間健康学部 健康栄養学科

*連絡先 (Corresponding author) : inishiya@komajo.ac.jp

リ社における商標である「ゼスプリ・グリーン」あるいは単に「グリーン」として流通しているものが多い(表1)。一方、'ZESY002'は果実表面の毛茸が疎らで、クロロフィルをほとんど含まないため黄色果肉をもつ。ゼスプリ社の商標である「ゼスプリ・サンゴールド」あるいは単に「サンゴールド」として流通している(表1)。

キウイフルーツ果実の栄養成分や機能性成分の濃度には、品種によって大きな差異があることが知られている¹⁾。ビタミンCを例にとると、「日本食品標準成分表2020年版(八訂)」によれば、緑肉種果実では可食部100gあたり71mgであるのに対し、黄肉種果実では140mgとされている。また、「さぬきゴールド」のように、可食部100gあたりのビタミンC含量が200mgを上回る品種も存在する³⁾。

ニュージーランドで開発されたキウイフルーツの新品種である'ZES008'は、果実表面に毛茸がほとんどなく、果頂部が窪んだ比較的小型の果実である(図1)。豊富なアントシアニン色素のために果肉が濃赤色を呈する特徴を有している。この'ZES008'果実は、2020年よりゼスプリ・レッド、2022年からはゼスプリ・



図1 'ZES008'果実の形状
'ZES008'果実の外観と横・縦断面を示す。

ルビーレッドという商標で、日本国内で小規模に販売されるようになった(表1)。新規品種であるため、その栄養成分や機能性成分に関しては知見が乏しい。本研究では、この'ZES008'果実のアスコルビン酸やアクチニジンの濃度測定を行った。

2. 実験材料および方法

(1) 果実試料

'ZES008'果実は、東京都内および埼玉県内のスーパーマーケットで市販されているニュージーランド産適熟期果実を購入して実験に供した。比較のために、「ヘイワード」および'ZESY002'果実も、同様に購入して使用した。

(2) 果実の質量および糖度

果実の質量(一果重)は、9個の果実を使用し、キッチンスケール(株式会社ドリテック、KS-262)で小数第一位まで測定した。結果は、平均値±標準誤差(n=9)で表した。

糖度の測定は、それぞれの果実から果汁を調製して、糖度計(京都電子工業株式会社、ポータブル糖度計BX-1)を用いて行った。それぞれの品種の果実3個を剥皮し、フードプロセッサーで破碎した後、二重のガーゼで搾汁して得られた試料を果汁として用いた。各々の品種について独立した3回の実験を行い、結果は平均値±標準誤差(n=3)で表した。

(3) アスコルビン酸の定量

それぞれの品種につき、剥皮した果肉3果分をフードプロセッサーにより均一に破碎した。

表1 各品種の分類ならびに商標・通称

品種名	分類	商標	通称
ヘイワード	<i>Actinidia deliciosa</i>	ゼスプリ・グリーン	グリーン
ZESY002	<i>Actinidia chinensis</i>	ゼスプリ・サンゴールド	サンゴールド
ZES008	<i>Actinidia chinensis</i>	ゼスプリ・ルビーレッド	ルビーレッド、レッド

この果肉破砕物5.00gを計り取り、氷冷した5.0%メタリン酸水溶液 (pH 4.0、1 mmol/L エチレンジアミン四酢酸を含む) 20 mLを加え、ミキサー型ホモジナイザー (IKE社、ウルトララックス T25型)によりホモジナイズした。これを遠心分離 (10,000 × g、4℃、10分間) することにより、上清を分取した。沈殿に再びメタリン酸水溶液20 mLを加え、同様にホモジナイズし遠心分離を行い、上清を回収した。これら2回の上清を合し、5%メタリン酸水溶液で50 mLに定容した試料の一部をディスクフィルター (0.22 μm) でろ過し、アスコルビン酸定量用の試料とした。なお、上記の操作は、すべて氷冷して行った。試料調製は独立して3回を行い、結果はそれぞれの平均値 ± 標準誤差 (n=3) で表した。

アスコルビン酸の定量は Lee⁴⁾の方法にわずかな改変を加え、LiChroCART 250-4 LiChrospher 100 RP-18e (5 μm) カラム (4 mm × 125 mm、メルク社)を用いた高速液体クロマトグラフ (HPLC) 法により行った。カラム温度は35℃にセットした。移動相は10 mmol/L リン酸緩衝液 (pH 2.8)を用い、流速0.8 mL/分のイソクラティック溶出を行った。注入する試料の体積は10 μLとした。検出器は L-2420 UV-VIS detector (日立)を用い、またクロマトグラムの解析には D-2500型データ処理装置 (日立)を用いた。検出波長は243 nmとした。標準物質としては、HPLC用L(+)-アスコルビン酸標準品 (富士フィルム - 和光純薬)を用いた。

(4) アクチニジンおよびプロテアーゼ活性の定量

アクチニジンの定量には、上記(2)で調製した果汁を試料として用いた。測定方法は、既報⁵⁾に従って12.5%のゲルを用いたドデシル硫

酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) 法とデンストメトリーを組み合わせて行うことにより行った。標準アクチニジンは、'ヘイワード' キウイフルーツ果実から Brocklehurst et al.⁶⁾の方法に従って調製した精製アクチニジンを用いた。

プロテアーゼ活性の測定は、既報⁵⁾に従い人工基質 Benzoyloxycarbonyl-L-phenylalanyl-L-arginine *p*-nitroanilide (Z-Phe-Arg *p*NA、Bachem AG)を用いて、pH 6.0の条件下で行った。プロテアーゼ活性は、*p*-ニトロアニリンのモル吸光係数を $\epsilon_{405} = 9,920 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ として、果汁0.05 mLが1分間に遊離する *p*-ニトロアニリンの量によって表した。

アクチニジン濃度と、プロテアーゼ活性は、いずれも独立した3回の定量を行い、結果はそれぞれの平均値 ± 標準誤差で表した。

(5) 果汁の食品タンパク質分解作用

各品種果実から調製した果汁50 μLと純水25 μLを混合し、ここに25 μLの筋原線維タンパク質 (10 mg/mL)、ニワトリ卵白由来アルブミン (6 mg/mL、富士フィルム - 和光純薬)あるいはスキムミルク (8 mg/mL、雪印乳業)を加えて混和した。室温 (24℃)で30分間保持した後、2倍濃度の電気泳動用試料緩衝液100 μLを加え、直ちに100℃、3分間の湯煎を施し電気泳動用試料とした。試料を放冷した後、その5 μLを10% (筋原線維タンパク質)あるいは12.5% (ニワトリ卵白由来アルブミンおよびスキムミルク)のポリアクリルアミドゲルを用いたSDS-PAGE分析に供した。対照実験としては、基質タンパク質あるいは果汁に替えて純水を用い、同様の操作を行った。

筋原線維は、市販の豚もも肉から Claeys et al.⁷⁾の方法に従って調製した。得られた筋原線維画分は10 mg/mLの濃度となるよう、0.6

mol/L の KCl 水溶液に溶解し、上記の実験に供した。タンパク質濃度は、牛血清アルブミン (Sigma-Aldrich, Fraction V) を標準タンパク質として、Lowry et al.⁸⁾ の方法により定量した。

3. 実験結果および考察

(1) 果実の質量および糖度

果実の質量および糖度測定の結果を表2に示す。‘ZES008’果実は小型で、‘ハイワード’や‘ZESY002’と比較すると、一果重が軽いことが示された。果実の大きさは、摘果等の栽培条件によっても変化する。‘ZESY002’の場合には、‘ハイワード’と同程度の大きさの果実も認められたが、‘ZES008’では最大でも94 g程度であり、大型の果実は見られなかった。

一方果汁の糖度については、‘ZES008’で17.5%と最も高く、次いで‘ZESY002’の16.1%、‘ハイワード’の14.2%という結果であった。

(2) アスコルビン酸

それぞれの品種果実に含まれるアスコルビン酸の濃度を、表3に示した。‘ZES008’では、

表2 果実の質量および果汁の糖度

品種名	一果重 (g)	糖度 (%)
ハイワード	122.6 ± 0.86	14.2 ± 0.09
ZESY002	97.6 ± 1.30	16.1 ± 0.48
ZES008	86.0 ± 0.72	17.5 ± 0.40

それぞれの値は、平均値±標準誤差で示した。

表3 アスコルビン酸濃度

	アスコルビン酸 (mg/100g F.W.)	
ハイワード	63.6 ± 0.66	[100]
ZESY002	130.9 ± 6.86	[206]
ZES008	202.6 ± 9.92	[319]

アスコルビン酸濃度は、平均値±標準誤差で示した。[] 内の値は、ハイワード果実の値を100とした時の相対値を示す。

可食部100 gあたり202.6 mgのアスコルビン酸が含まれることが示された。この濃度は、‘ハイワード’の約3.2倍、‘ZESY002’の1.5倍以上に相当した。この‘ZES008’果実のアスコルビン酸濃度は、食品全体の中でも極めて高い値である。日本食品標準成分表(八訂)に記載されている2,400種余りの食品の中で、アセロラ(酸味種) 1,700 mg/100 g、アセロラ(甘味種) 800 mg/100 g、グアバ(赤肉種、白肉種) 220 mg/100 gに次ぐ位置づけとなる(乾燥パセリやお茶などの乾物および青汁を除く)。これらのアセロラやグアバなどが生果として販売されていることが稀であることを考慮すれば、‘ZES008’果実は一般に市販されている食品の中で、アスコルビン酸含量が最上位であるといえることができる。なお、日本人の食事摂取基準によれば、成人1日当たりのビタミンC摂取推奨量は100 mgであるが、‘ZES008’果実を1個食べるだけで、この推奨量の1.5倍のビタミンCを摂取することができる計算となる。これらのことから、‘ZES008’果実は大変優れたビタミンCの供給源であることが示された。

(3) アクチニジン

それぞれの品種の果汁をSDS-PAGE分析に供したときの電気泳動像を、図2に示した。精製アクチニジンでは、分子量26,000程度に明瞭なバンドが認められた(図2、レーンA)。「ハイワード」ならびに‘ZESY002’の果汁では、精製アクチニジンと同じ位置に明瞭なバンドが認められた(図2、レーン1および2)。一方‘ZES008’果汁では、アクチニジンに相当する位置に明瞭なバンドは認められなかった(図2、レーン3)。このことから、‘ZES008’果汁にはアクチニジンが含まれていないか、あるいはその濃度が非常に低いことが示された。この電気泳動像をもとに、デンストメトリーによって

定量したアクチニジン濃度を、表4左列に示した。‘ヘイワード’果汁のアクチニジン濃度は、1.79 mg/mLと算出されたが、この値は筆者らの報告^{5,12)}と概ね一致している。‘ZESY002’果汁のアクチニジン濃度は0.61 mg/mLであり、この値は‘ヘイワード’の約34%に相当した。

人工基質を用いて果汁のプロテアーゼ活性を測定した結果を、表4右列に示した。‘ヘイワード’果汁のプロテアーゼ活性が5.97 nmol pNA/minであったのに対し、‘ZESY002’ではその約13%に相当する0.79 nmol pNA/min、‘ZES008’では約1%に相当する0.06 nmol pNA/minであった。この結果からも、

‘ZES008’の果汁にはアクチニジンがほとんど含まれていないことが示された。‘ZESY002’については、‘ヘイワード’と比較してアクチニジン濃度が34%、プロテアーゼ活性が13%とその相対値に明瞭な差異が認められた。アクチニジンには複数種のアイソザイムが存在することが知られている⁹⁻¹¹⁾ため、アイソザイム組成の差異によってこの相対値の違いが生じている可能性も考えられる。この点に関しては、今後の検討課題である。

以上の結果より‘ZES008’果実は、‘ホート16A’、‘レインボーレッド’、‘紅鮮’、‘香粹’などの品種^{5,12)}と同様、アクチニジンをほとんど含んでいないことが示された。

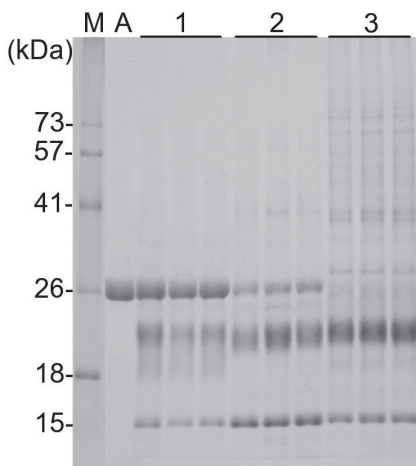


図2 果汁の電気泳動像

M：分子量マーカータンパク質、A：精製アクチニジン、1：‘ヘイワード’果汁、2：‘ZESY002’果汁、3：‘ZES008’果汁

(4) 果汁の食品タンパク質分解作用

各種の食品タンパク質をキウイフルーツ果汁で30分間処理したときの変化を、図3に示した。筋原線維タンパク質を‘ヘイワード’の果汁で処理すると、ミオシン重鎖 (m) やアクチン (a) のバンドはいずれも消失した (図3 A、レーン5-6)。このことから、これらの筋原線維タンパク質は、ほぼ完全に加水分解されたものと考えられた。‘ZESY002’果汁処理では、ミオシン重鎖のバンドは消失したが、アクチンのバンドは薄く残存した (図3 A、レーン7-8)。この結果から、‘ZESY002’果汁も筋原線維タンパク質をよく加水分解するものの、その作用は

表4 アクチニジン濃度およびプロテアーゼ活性

	アクチニジン濃度 (mg/mL)		プロテアーゼ活性 (nmol pNA/min)	
ヘイワード	1.79 ± 0.12	[100]	5.97 ± 0.43	[100]
ZESY002	0.61 ± 0.04	[34]	0.79 ± 0.07	[13]
ZES008	ND		0.06 ± 0.01	[1]

それぞれの値は、平均値±標準誤差で示した。NDは検出されなかったことを示す。[]内の値は、ヘイワード果汁の値を100とした時のパーセンテージを示す。

‘ヘイワード’果汁よりも劣ることが示唆された。‘ZES008’果汁処理では、ミオシン重鎖ならびにアクチンのバンドがはっきりと認められたことから、その加水分解作用はわずかであったことが示唆された(図3A、レーン9-10)。

ニワトリ卵白由来アルブミンを試料とした場合には、分子量45,000付近に卵白アルブミン(oa)、分子量73,000付近にオボトランスフェリン(ot)のバンドが認められた(図3B、レーン4)。これに対し、‘ヘイワード’果汁で処理したものでは、いずれのバンドも消失するとともに、卵白アルブミンの分解産物と考えられるバンドが、分子量37,000付近に認められた(図3B、レーン5-6)。「ZESY002」果汁処理では、オボトランスフェリンのバンドは消失したが、卵白アルブミンのバンドは減弱したものの残存しており、分子量37,000の断片のバンドも‘ヘイワード’の場合よりも薄いことが示された(図3B、レーン7-8)。「ZES008」果汁処理では、

オボトランスフェリンの分解はほとんど認められず、また、卵白アルブミンの分解もわずかであり、分子量37,000の断片のバンドも‘ZESY002’の場合よりもさらに薄いことがわかった(図3B、レーン9-10)。

スキムミルクを試料とした場合には、‘ヘイワード’果汁処理(図3C、レーン5-6)でも‘ZESY002’果汁処理(図3C、レーン7-8)でも、 α -カゼインおよび β -カゼインのバンドは消失した。一方、‘ZES008’果汁処理では、 α -カゼインおよび β -カゼインのバンドは影響を受けなかった(図3C、レーン9-10)。

以上の結果より、‘ZES008’果汁では各種食品タンパク質を加水分解する作用が極めて弱いかが示された。この結果は、‘ZES008’の生の果肉を加えても、ゼラチンゼリーのゲル化には悪影響を与えないことや、ミルクと混ぜ合わせても苦みペプチドを生じないという、食品加工・調理上のメリットがあることを示唆した。

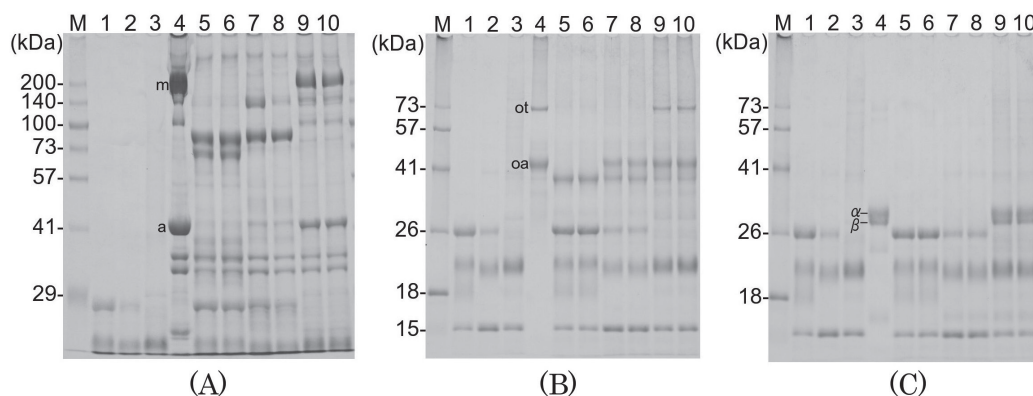


図3 果汁処理による筋原線維タンパク質 (A)、ニワトリ卵白由来アルブミン (B)、スキムミルク (C) の変化

それぞれの食品タンパク質をキウイフルーツ果汁で30分間処理した後に、SDS-PAGE法でタンパク質成分の分析を行った。レーンM:分子量マーカータンパク質、レーン1:‘ヘイワード’果汁、レーン2:‘ZESY002’果汁、レーン3:‘ZES008’果汁、レーン4:無処理の食品タンパク質、レーン5-6:‘ヘイワード’果汁処理した食品タンパク質、レーン7-8:‘ZESY002’果汁処理した食品タンパク質、レーン9-10:‘ZES008’果汁処理した食品タンパク質。図Aのmはミオシン重鎖、aはアクチンのバンドを示す。図Bのotはオボトランスフェリン、oaは卵白アルブミンのバンドを示す。図Cの α は α -カゼイン、 β は β -カゼインのバンドを示す。

一方では、‘ZES008’果実が食肉軟化剤の原料には適さず、また、消化促進効果も期待できないことを示している。

本研究の結果から、キウイフルーツの新品種である‘ZES008’果実は、並外れて優れたビタミンCの供給源であり、また、たんぱく質分解酵素であるアクチニジンをほとんど含んでいないことが示された。今後は他の栄養成分に関する検討や、口腔刺激性の原因物質であるシュウ酸カルシウム結晶束などの多寡についても検討を行いたい。

4. 謝辞

本研究にご助力をいただいた、本学部2021年度卒業研究生である村橋芽吹さんに感謝いたします。

5. 利益相反

利益相反に相当する事項はない。

6. 参考文献

- 1) Nishiyama I (2007) Fruits of the *Actinidia* genus. *Adv Food Nutr Res*, 52: 293-324
- 2) 西山一朗 キウイフルーツの消化促進効果に関する研究動向 — アクチニジンの役割 — 栄養学雑誌, 72, 292-301 (2014)
- 3) Nishiyama I et al. (2004) Varietal difference in vitamin C content in the fruit of kiwifruit and other *Actinidia* species. *J Agric Food Chem*, 52: 5472-5475
- 4) Lee HS (1993) HPLC method for separation and determination of nonvolatile organic acids in orange juice. *J Agric Food Chem*, 41: 1991-1993
- 5) 西山一朗, 太田忠親 (2002) キウイフルー

ツ果汁のアクチニジン濃度およびプロテアーゼ活性の品種間差. 日本食品科学工学会誌, 49: 401-408

- 6) Brocklehurst K, Baines B and Malthouse PG (1981) Differences in the interactions of the catalytic groups of the active centres of actinidin and papain. *Biochem J*, 197: 739-746
- 7) Claeys E et al. (1995) Quantification of beef myofibrillar proteins by SDS-PAGE. *Meat Sci*, 39 : 177-193
- 8) Lowry OH et al. (1951) Protein measurement with the folin phenol reagent. *J Biol Chem*, 193: 265-275
- 9) McDowall MA (1970) Anionic proteinase from *Actinidia chinensis* / Preparation and properties of the crystalline enzyme. *Eur J Biochem*, 14: 214-221
- 10) Sugiyama S et al. (1996) Purification and characterization of six kiwifruit proteases isolated with two ion-exchange resins, Toyopeael-superQ and Bakerbond WP-PEI. *Biosci Biotech Biochem*, 60: 1994-2000
- 11) 西山一朗・福田哲生・末澤克彦 (2022) キウイフルーツ果実におけるアクチニジンアイソザイム組成の品種・系統間差異. 駒沢女子大学研究紀要 [人間健康学部・看護学部編] 4 : 11-18
- 12) 山中美穂, 大田忠親, 福田哲生, 西山一朗 (2004) マタタビ属果実における果汁中アクチニジン濃度およびプロテアーゼ活性の品種間差異. 日本食品科学工学会誌, 51 : 491-494

