

農水産物の機能性を強化する加工条件の構築と応用

－レンコンの部位ごとにおける成分および機能性比較－

食品工業部

鶴田裕美 吉村臣史 澤田和敬

レンコンを「実」、「皮」、「節」の部位ごとに分け、成分分析、機能性評価および微生物試験を行ない、レンコン未利用部位の有用性について検討した。その結果、①アミノ酸含量は、実や皮に比べて、節の部分で最も多かった。②カリウムは皮に最も多く含まれ、その他のミネラルについては、節で多い傾向が認められた。③ポリフェノール量およびプロアントシアニジン（PA）量は、実に比べて皮や節で顕著に多かった。④抗酸化活性は、ポリフェノール量および PA 量と相関し、節と皮で高い活性を示した。また、「金澄 8 号」および「佐賀県在来種」の品種間による大きな差は認められなかった。⑤節の一般細菌数は、実と皮に比べて顕著に多く、泥による汚染度が高いことが推察された。したがって、レンコンの未利用部位である皮や節は、機能性成分を多く含み、洗浄方法や殺菌方法に関する加工条件を改善することで、有効利用できる可能性が示された。

1. はじめに

佐賀県は、全国 3 位、九州 1 位（平成 25 年度）とレンコンの生産量が多い地域である。その一方で、通常よりも味や外観などの品質が劣るために廃棄される未利用レンコン（図 1）の量も多いのが現状である。県内では、出荷量の約 2～3 割が年間に廃棄されると言われており、これらの有効利用法が求められている。

我々は、これまでに、未利用レンコンを新たな機能性食品素材として利用することを目的として研究を行ってきた。これらの研究の中では、レンコンに含まれるポリフェノールが、主にカテキンおよびガロカテキンを構成成分としたプロアントシアニジン（PA）であり（図 2）、肥満モデルマウスの脂肪肝を改善することを認めている¹⁻⁴⁾。

また、レンコンは節ごとに栄養成分やポリフェノール含量が異なっており、特に廃棄率が最も高いと言われている末節部分でポリフェノール含量と抗酸化活性が高いことも認めている⁵⁾。このことにより、未利用な末節部分を利用することで、より機能性の高い加工食品の開発ができる可能性を提案した。

このような研究結果を基に、県内では未利用なレンコンを利用した乾燥粉末や加工食品の開発が進められている。しかし、皮や節の部分は加工後の着色や微生物汚染のリスクが高いことが懸念され、皮や節を除去して実の部分のみを加工する製造者も少なくない。

そこで、本研究ではレンコンを「実」、「皮」、「節」の部位ごとに分け、成分および機能性の比較を行ない、

レンコンの各部位ごとの違いや有用性について検討した。

また、レンコンの品種についても比較するため、「金澄 8 号」と「佐賀県在来種」のレンコン 2 品種を用いた。「金澄 8 号」は、関東地方で品種改良されたレンコンで、佐賀県内で最も多く流通している。県内の農家の約半数が栽培していると言われており、節と節の間が短く丸いのが特徴である。

一方、「在来種」は、昔から県内にあった品種で節と節の間がやや長細く、金澄系に比べて粘り気が強いのが特徴である。現在は、栽培量も少なく、ほとんど市場流通していない品種である。



図 1 未利用レンコン
(末節部位、変形、傷付いたレンコン)

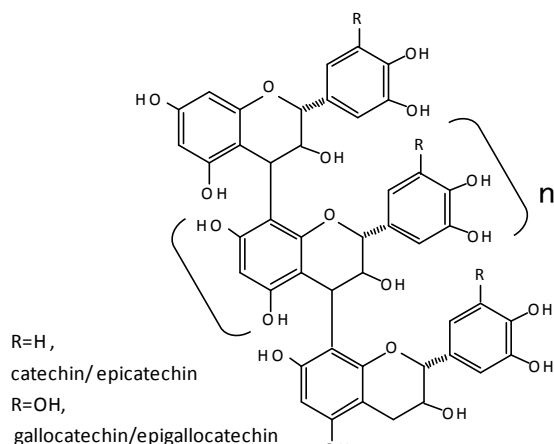


図2 レンコンポリフェノールの推定構造



図4 実験に用いたレンコン
(A) 実、(B) 皮、(C) 節、(D) 乾燥粉末

2. 実験方法

2.1 試料調製

レンコンは、佐賀県白石町で栽培された「金澄8号」および「佐賀県在来種」の2品種を用いた(図3)。水洗い後、実、皮(厚さ2~3mm)、節(中心から±1cm, 根は除く)に分け、真空凍結乾燥を行なった(図4)。乾燥前後の重量を測定後、次の計算式で乾燥歩留りを算出し、粉碎机で粉末化したものをレンコン乾燥粉末試料とした。

$$\text{乾燥歩留り (\%)} = \frac{\text{乾燥重量}}{\text{新鮮重量}} \times 100 \quad \dots (1)$$

2.2 総アミノ酸分析

精秤した粉末試料に1%フェノール含有6N塩酸(ア

ミノ酸分析用)を加え、110℃・20時間加水分解した。ろ液をAccQ・Tagアミノ酸分析法(Waters社)に準じて誘導体化後、超高速液体クロマトグラフ(Waters社製, UPLC H-class)で測定した。結果は、新鮮重量100gあたりに換算した。

2.3 ミネラル分析

精秤した粉末試料に濃硝酸(精密分析用)を加え、マイクロ波反応システム(Anton-Paar社製, Multiwave PRO)にて湿式灰化した。ろ液を誘導結合プラズマ質量分析装置(以下ICP-MSと略す, Agilent Technologies社製, 7900 series)にて分析し、ナトリウム(Na)、カリウム(K)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、鉄(Fe)、リン(P)、マンガン(Mn)、銅(Cu)、亜鉛(Zn)を定量した。結果は、新鮮重量100gあたりに換算した。

2.4 ポリフェノール量の測定

粉末試料0.5gをAWA溶液(アセトン:水:酢酸=70:29.5:0.5, v/v)10mLで3回抽出し、定容後、測定試料とした。

ポリフェノール量の測定はFolin-Ciocalteu法⁶⁾を一部改良して行なった。すなわち、96穴マイクロプレートに10μLの試料溶液を加え、10倍希釈したフォーリン・チオカルト試薬75μLを加えて攪拌し、室温で5分間静置した。さらに、2%炭酸ナトリウム溶液75μLを加え、攪拌し、室温で15分間静置後、マイクロプレートリーダー(Molecular Devices社, Spectra Max M5-ZX)を用いて波長750nmの吸光度を測定した。標準物質に没食子酸を用いて検量線を作成し、試料のポリフェノール量を没食子酸当量として換算し、新鮮重量100gあたりで表した。



図3 実験に用いたレンコン

2.5 プロアントシアニン (PA) 量の測定

PA 量の測定は、バニリン-塩酸法⁷⁾を用いて行なった。すなわち、AWA 抽出試料 0.5 mL に 4% バニリン-メタノール溶液 3 mL を加え、攪拌した。さらに、塩酸 1.5 mL を添加し、攪拌後、室温で 15 分間静置後、紫外可視分光光度計 (島津製作所, UV-3600) を用いて波長 500 nm の吸光度を測定した。標準物質にカテキンを用いて検量線を作成し、試料の PA 量をカテキン当量として換算し、新鮮重量 100 g あたりで表した。

2.6 DPPH ラジカル消去活性の測定

DPPH ラジカル消去活性を須田らの方法⁸⁾を用いて測定し、抗酸化能の評価を行なった。すなわち、96 穴マイクロプレートに 200 mM MES 緩衝液 (pH 6.0) 50 μ L、適宜希釈した試料溶液 50 μ L を加え攪拌し、エタノールに溶解した 200 μ M DPPH 溶液を加え、室温で 20 分間反応後、マイクロプレートリーダーを用いて波長 520 nm の吸光度を測定した。標準物質には、抗酸化物質である Trolox を用いて検量線を作成し、DPPH の退色率から試料の抗酸化能を Trolox 当量として換算し、新鮮重量 100 g あたりで表した。

2.7 微生物測定

凍結乾燥粉末の一般細菌数および真菌数の測定は、食品衛生検査指針微生物編⁹⁾に準じて平板培養法で行なった。一般細菌数測定には標準寒天培地、真菌数測定にはクロラムフェニコール含ポテトデキストロース寒天培地を用いた。結果は、凍結乾燥粉末 1 g あたりの菌数で表した。

3. 結果および考察

3.1 乾燥歩留り

表 1 に各部位の乾燥歩留りを測定した結果を示す。いずれの品種においても、節の乾燥歩留りが最も高く、次いで実、皮の順に低くなる傾向が認められた。金澄 8 号に比べて、在来種の乾燥歩留りの方が全体的にやや高い値を示した。

3.2 アミノ酸含量

表 2 および表 3 に各品種の部位ごとにおける総アミノ酸含量を示す。いずれの品種においても、皮のアミノ酸総量が最も低く、節で最も多かった。アミノ酸は

表 1 各部位の乾燥歩留り (%)

部位	金澄 8 号	在来種
実	22.9	24.0
皮	21.3	22.5
節	24.9	27.4

表 2 金澄 8 号の総アミノ酸含量 (mg/100 g 新鮮重量)

成分名	実	皮	節
ヒスチジン	35.4	30.8	49.1
セリン	65.3	53.8	77.4
アルギニン	116	72.8	228
グリシン	32.8	31.0	52.9
アスパラギン酸	708	385	812
グルタミン酸	139	107	154
スレオニン	55.4	45.3	60.0
アラニン	51.2	48.8	60.7
プロリン	38.3	35.0	54.6
システイン	2.65	1.80	2.65
リジン	52.1	46.5	89.9
チロシン	30.8	26.0	34.9
メチオニン	20.1	14.1	17.5
バリン	56.5	49.6	61.7
イソロイシン	41.1	37.4	45.8
ロイシン	57.0	52.2	74.7
フェニルアラニン	47.2	40.7	54.6
総量	1549	1078	1931

表 3 在来種の総アミノ酸含量 (mg/100 g 新鮮重量)

成分名	実	皮	節
ヒスチジン	36.7	33.7	51.6
セリン	67.9	59.4	79.4
アルギニン	129	73.1	190
グリシン	33.5	34.4	54.2
アスパラギン酸	556	281	695
グルタミン酸	188	146	181
スレオニン	55.6	47.0	62.7
アラニン	53.4	52.7	54.3
プロリン	40.7	40.0	59.3
システイン	2.72	2.12	3.51
リジン	55.2	54.1	92.3
チロシン	30.6	28.7	36.0
メチオニン	21.6	16.0	24.1
バリン	65.4	56.1	68.6
イソロイシン	49.1	43.5	53.8
ロイシン	65.2	60.8	83.6
フェニルアラニン	50.8	45.0	62.1
総量	1501	1074	1852

タンパク質の構成成分であり、皮にはタンパク質が少ないことが示唆された。また、いずれの部位においてもアスパラギン酸とグルタミン酸の含有割合が高く、品種による顕著な差は認められなかった。

3.3 ミネラル含量

表 4 に各品種の部位ごとにおけるミネラル含量を示す。ICP-MS による定性分析で検出された 9 種のミネラルについて定量分析を行なった。その結果、品種や部位に関らず、K 含量が最も多かった。いずれの品種においても、K 含量は皮で最も多く、節で最も低かった。他のミネラルについては、節で最も多く、実で最も低い値を示すものが多かった。なかでも、Fe 含量は部位ごとの差が著しく、畑の中で泥と直節接触している節や皮は、実に比べて顕著に高い値を示した。また、Cu および Zn 含量はいずれの部位においても低い値を示した。

3.4 ポリフェノール量

図 5 に各部位ごとのポリフェノール量を示す。金澄 8 号のポリフェノールは、節の部分に最も多く含まれ、実に比べて節で約 5.4 倍、皮で約 2.3 倍の値を示した。また、在来種においても金澄 8 号と同様の傾向が認められ、実に比べて節で 4.2 倍、皮で約 2.6 倍の値を示し

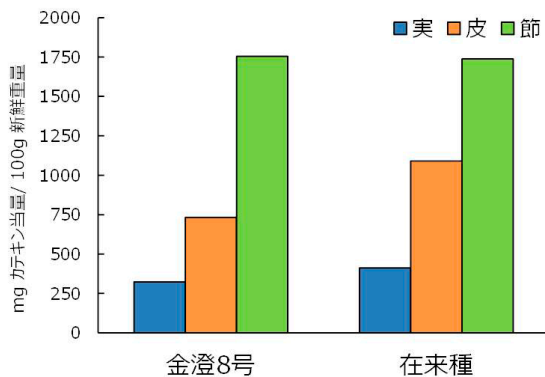


図 5 各部位のポリフェノール量

た。

3.5 PA 量

図 6 に各部位ごとの PA 量を示す。PA 量は、いずれの品種においても、ポリフェノール量と同様の傾向を示し、節の部分で最も多かった。金澄 8 号では、実に比べて節で約 6.3 倍、皮で約 2.4 倍の値を示した。在来種では、実に比べて節で約 4.8 倍、皮で約 2.7 倍の値を示した。

3.6 抗酸化活性

図 7 に各部位ごとの抗酸化活性を示す。DPPH ラジカル消去法による抗酸化活性は、ポリフェノール量および PA 量に相関し、いずれの品種においても節で最も高く、次いで皮、実の順であった。金澄 8 号の抗酸化活性は、実に比べて節で約 6.1 倍、皮で約 2.4 倍であった。在来種では、実に比べて節で約 4.6 倍、皮で約 2.9 倍の値を示した。

3.7 微生物試験

汚染指標菌として、一般生菌数および真菌数を各部位ごとに測定した結果を表 5 に示す。金澄 8 号の一般生菌数は、実の部分では検出限界以下の値を示し、皮でも少なかった。しかし、節の部分では皮よりも約 50 倍高い値を示し、泥に由来する微生物の汚染度が高い

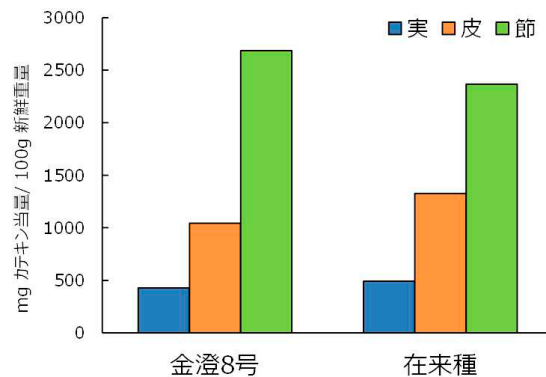


図 6 各部位の PA 量

表 4 各部位のミネラル含量 (mg/100 g 新鮮重量)

品種	部位	K	Na	Mg	Ca	Fe	P	Mn	Cu	Zn
金澄8号	実	575	47.7	30.9	22.4	0.47	92.5	1.60	0.08	0.43
	皮	692	50.7	36.7	38.8	3.56	97.7	2.69	0.07	0.31
	節	541	50.8	69.2	81.1	5.26	122	3.42	0.08	0.54
在来種	実	619	52.4	26.7	15.3	0.43	80.5	1.97	0.09	0.38
	皮	679	62.9	35.1	34.2	3.79	86.4	3.43	0.07	0.29
	節	526	67.8	64.5	53.2	9.44	107	4.55	0.14	0.62

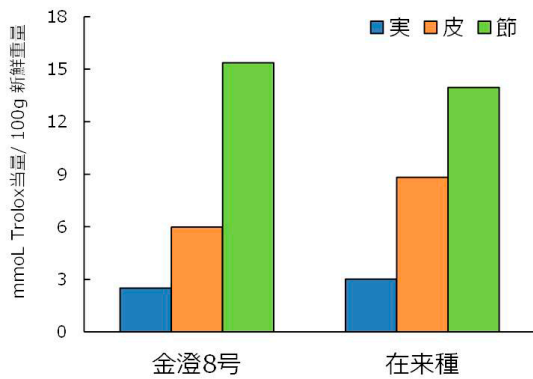


図 7 各部位の抗酸化活性

可能性が考えられた。在来種でも同様の傾向を示し、実や皮に比べて、節では 50~100 倍以上高い値を示した。

真菌数については、品種および部位に関らず、検出限界以下の値を示した。節の部分については、根が生えており、通常の水洗いでは、泥の除去が不完全である可能性が示された。節を利用する場合、強力な洗浄方法や殺菌方法を検討する必要があると考えられた。

4. おわりに

本研究では、レンコンの未利用部位を有効利用するため、レンコン 2 品種について「実」、「皮」、「節」の部位ごとに分けて、成分分析および機能性評価を行った。その結果、アミノ酸含量は、実や皮に比べて、節の部分で多かった。ミネラル含量については、実に比べて皮や節に多く含まれるものが多かった。特に、高血圧症の予防効果を有する K は、皮に最も多く含まれていることが認められた¹⁰⁾。

ポリフェノール量および PA 量については、実に比べて皮や節に多く含まれていることが明らかとなった。ポリフェノール類の代表的な機能性である抗酸化活性

表 5 各部位の微生物試験結果

品種	部位	一般生菌数 (CFU/g 粉末)	真菌数 (CFU/g 粉末)
金澄8号	実	< 200	< 200
	皮	200	< 200
	節	1.1×10 ⁴	< 200
在来種	実	< 200	< 200
	皮	400	< 200
	節	2.1×10 ⁴	< 200

(CFU : Colony Forming Unit)

は、ポリフェノール量および PA 量と相関して節や皮で顕著に高い活性を示した。また、いずれの測定項目においても、品種間による大きな差は認められなかった。

一方、一般生菌数は、実や皮に比べて節の部分で 50 倍~100 倍程度高い値を示した。懸念されていたとおり、節の部分は微生物の汚染度が高いことが認められた。

したがって、本研究によって、レンコンの皮や節の部分は機能性成分を多く含み、機能性食品原料として有用性が高いことが認められた。しかし、節の利用については、洗浄方法や殺菌方法を検討する必要がある、今後の課題である。

最後に、本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業の助成を受けて実施したものです。

試料のご提供にご協力頂きました佐賀県杵島農業改良普及センター本村祐美氏に感謝致します。

また、本研究を実施するにあたって使用したアミノ酸分析システム、マイクロプレートリーダーおよび紫外可視分光光度計は、電源立地地域対策交付金で導入した装置である。

参考文献

- 1) 鶴田裕美, 柘植圭介, 吉村臣史, 小金丸和義, 柳田晃良, 永尾晃治: 佐賀県工業技術センター研究報告書, **16**, 51-53 (2007).
- 2) 鶴田裕美, 柘植圭介, 吉村臣史, 小金丸和義, 柳田晃良, 永尾晃治: 佐賀県工業技術センター研究報告書, **18**, 41-47 (2009).
- 3) Tsuruta Y, Nagao K, Shirouchi B, Nomura S, Tsuge K, Koganemaru K, Yanagita T.: Effects of Lotus root (the edible rhizome of *Nelumbo nucifera*) on the development of non-alcoholic fatty liver disease in obese diabetic db/db mice. *Biosci Biotechnol Biochem.* **76** (3), 462-466 (2012).
- 4) Tsuruta Y, Nagao K, Kai S, Tsuge K, Yoshimura T, Koganemaru K, Yanagita T.: Polyphenolic extract of lotus root (edible rhizome of *Nelumbo nucifera*) alleviates hepatic steatosis in obese diabetic db/db mice. *Lipids Health Dis.* **10**, 202 (2011).
- 5) 鶴田裕美, 柘植圭介, 吉村臣史, 小金丸和義: 佐賀県工業技術センター研究報告書, **19**, 29-33 (2010).
- 6) Sun T, Tang J, Powers J. R.: Effect of pectolytic enzyme preparations on the phenolic composition and antioxidant activity of asparagus juice. *J. Agric. Food Chem.*, **53** (1), 42-48 (2005).

- 7) Sun JS, Tsuanga YH, Chen JJ, Huang WC, Hang YS, Lu FJ.: An ultra-weak chemiluminescence study on oxidative stress in rabbits following acute thermal injury. *Burns*, 24, 225-231 (2000).
- 8) 須田郁夫, 食品機能研究法, 光琳, 218-220 (2000).
- 9) 厚生労働省監修, 食品衛生検査指針—微生物編—, 116-123, 370-373 (2004).
- 10) Whelton PK, He J, Cutler JA, Brancati FL, Appel LJ, Follmann D, Klag MJ.: Effects of oral potassium on blood pressure. Meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *JAMA*, 277(20), 1624-1632 (1997).