県産農産物からの有用物質の抽出およびその活用

ーレンコンの節ごとにおける成分比較ー

食品工業部
鶴田裕美　柘植圭介　吉村臣史
小金丸和義

レンコンは，通常 4〜6 節からなり，一般的に外見や味が良くないと言われている下位節部位の廃棄率が高いと言われているが，ポリフェノール含量は廃棄処分される部位で高い傾向がある．そこで，本研究では，レンコンを節ごとに分けて分析することで，未利用レンコンの機能性食品素材としての利用性について検討した．6 節からなるレンコンを節ごとに分析した結果，①ポリフェノール量および抗酸化活性は，下位節（6 節）で最も高かった．②タンパク質含量は上位節（１節）から下位節になるに従って低下した．③デンプン含量は 6 節で顕著に低値を示し，他の節では大きな差はなかった．④アミノ酸組成については，上位節側でアスパラギン酸が少なく、アルギニンおよびアラニンは多い傾向が認められた．したがって，レンコンは節ごとで成分含量が異なり、特に下位節から得られる乾燥粉末は，ポリフェノール含量が多く，機能性ポリフェノールの原料として有用性が高いことが確認された．

１．はじめに

佐賀県は，全国５位，九州１位（平成 20 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品質が劣るために廃棄されるレンコンの量も多いのが現状である．佐賀県内では９月から翌年４月頃までが収穫時期にあたる．しかし，１月末以降の収穫時期終盤に収穫されるものは，通常よりも味や外観など品質が若干劣るため，出荷できずに廃棄される割合が高くなる．また，レンコンは通常，４〜６節からなるが，なかでも下位節の廃棄率が非常に高い．県内では，出荷量の約２割から３割が年間に廃棄されると言われており，このような未利用農産物の有効利用法が求められている．野菜や果物をはじめ植物は，ポリフェノールを含み，様々な生体調節機能を示すことが数多く報告されている [1]．しかし，レンコン可食部の生理機能やポリフェノールに関する報告は少なく，我々は，未利用レンコンを新たな食品素材として有効利用するために，レンコンの機能性研究を行なってきた．これまでに，レンコンに含まれるポリフェノールが，肥満モデル動物の脂質代謝改善作用を有することを認めている [2-4]．また，出荷可能な良品質レンコンと廃棄処分されている未利用レンコンの栄養成分を比較したところ，良品質なレンコンよりも未利用レンコンで総ポリフェノール含量および抗酸化活性が高い傾向を認めた [5]．未利用レンコンは，下位節を含む割合が高く，一般的に味や質が良いとされる上位節部位と廃棄されることの多い下位節部位では，収穫時期よりも節ごとでポリフェノール等の成分含量が異なる可能性が考えられた．そこで，本研究では，レンコンを節ごとに分析し，ポリフェノール量，抗酸化活性，タンパク質含量，デンプン含量およびアミノ酸含量について比較した．

２．実験方法

2.1　試料調製

レンコンは，佐賀県杵島郡白石町で栽培・収穫された「金澄８号」を用いた．6 節からなるレンコン３本の可食部を水洗い後，節ごとに分け（図１），真空凍結乾燥後の重量を測定し，水分含量を算出した．その後，各節ごとに粉砕機で粉末化し，分析試料とした．また，粉末試料 1 g に 0.5%酢酸含有 70%アセトン 10 mL を加え，15 分間超音波処理後，遠心分離し（3,000 rpm，5 分間），上清を回収した．この操作を 3 回繰り返し，回収した抽出液を減圧濃縮後，0.5%酢酸含有 50%メタノールで 20 mL に定容し，ろ液を総ポリフェノールおよび DPPH ラジカル消去活性測定に用いた．

2.2　総ポリフェノール量測定

総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 10 μL のサンプル溶液を加え，10 倍希釈したフォーリン・チオカルト試薬 75 μL 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

図１　試料として用いたレンコン

液 75 µL を加え, 攪拌し, 室温で 15 分間静置後, 750 nm 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，サンプルの総ポリフェノール量を没食子酸当量として換算した.

2.3　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 [7]を用いて測定し，抗酸化能の評価を行った．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 µL, 適宜希釈したサンプル液 50 µL を加え攪拌し，エタノールに溶解した 200 µM DPPH 溶液を加え，室温で 20 分間反応後，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 の退色率からサンプルの抗酸化能を Trolox 当量として換算した.

2.4　タンパク質含量測定

タンパク質含量の測定は，粉末試料をケルダール法に準じた窒素/タンパク自動分析装置（ビュッヒ社製 K-370, 平成 16 年度電源立地地域対策交付金補助備品）にて測定した．窒素 - タンパク質係数には 6.25 を用いた.

2.5　総アミノ酸測定

総アミノ酸の測定は，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 Bidlingmeyer らによる PICO・TAG アミノ酸分析法 [8] に準じて誘導体化後，逆相 HPLC で測定した.

2.6　デンプン含量測定

デンプン含量は，杉山らの方法 [9] に準じたヨウ素比色法によって測定した.

３．結果および考察

3.1　水分含量

節ごとにおけるレンコンの平均水分含量は，1 節～5 節では 75～77%であったのに対し，6 節では約 87%であり，他の節に比べて顕著に水分が多いことが認められた.

3.2　総ポリフェノール量

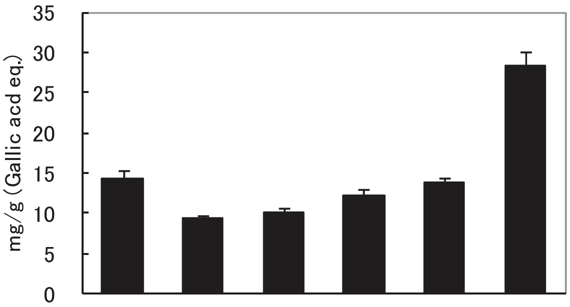
図２（a）にレンコン乾燥粉末 1g 当たりおよび（b）に新鮮重量 100g 当たりに換算した総ポリフェノール量を示す.（a）に示すように乾燥粉末 1g 当たりのポリフェノール量は，2 節で最も低値を示し，6 節では他の節に比べて 2～3 倍も高い値が認められた．しかし，新鮮重量 100g 当たりに換算すると，6 節は水分含量が多かったため，他の節との差が小さくなった（b）．1 節を除いては，下位節に向かうほどポリフェノール量が高くなる傾向が認められた.

3.3　抗酸化活性

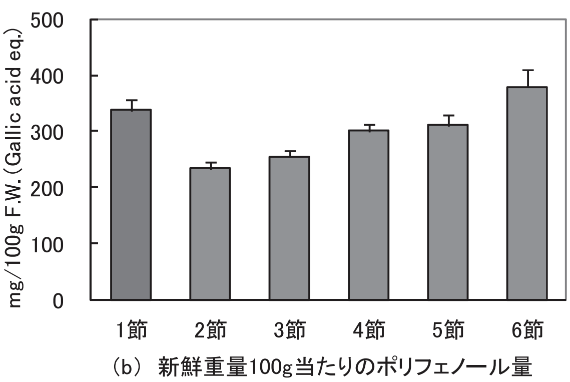
図 3 に抗酸化活性を比較するために，レンコン乾燥粉末 1g 当たり（a）および新鮮重量 100g 当たり（b）に換算した DPPH ラジカル消去活性を示す.（a）に示すように乾燥粉末 1g 当たりでは, 総ポリフェノール量と同様に 2 節で最も活性が低く，6 節で顕著に高い値を示した. (b) に示すように新鮮重量 100g 当たりでは, 6 節の水分含量が多いため，他の節との差が小さくなったが，6 節で最も活性が高く，次に 1 節が高い値を示した．また，この結果は，ポリフェノール量と相関しており，レンコンの抗酸化活性にはポリフェノールが大きく寄与していることが考えられた.

3.4　タンパク質含量

図 4（a）に乾燥粉末および（b）に新鮮重量当たりに換算したタンパク質含量を示す.（a）に示すように乾

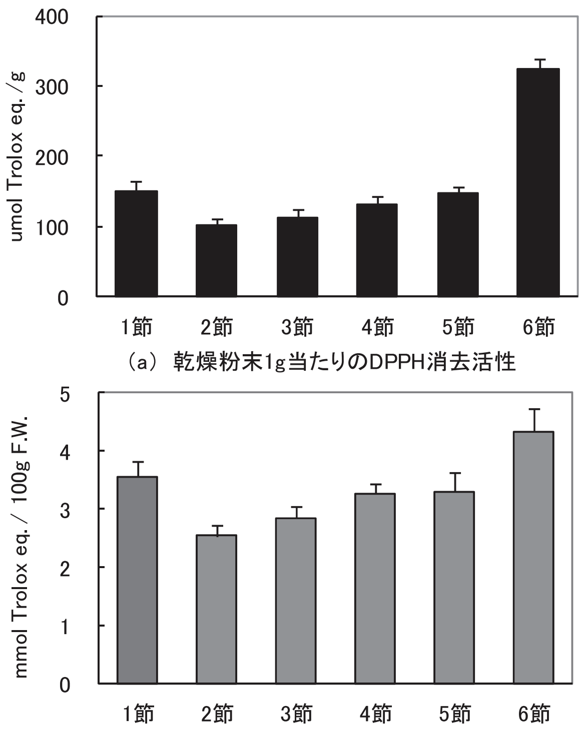


（a）乾燥粉末1g当たりのポリフェノール量



（b）新鮮重量100g当たりのポリフェノール量

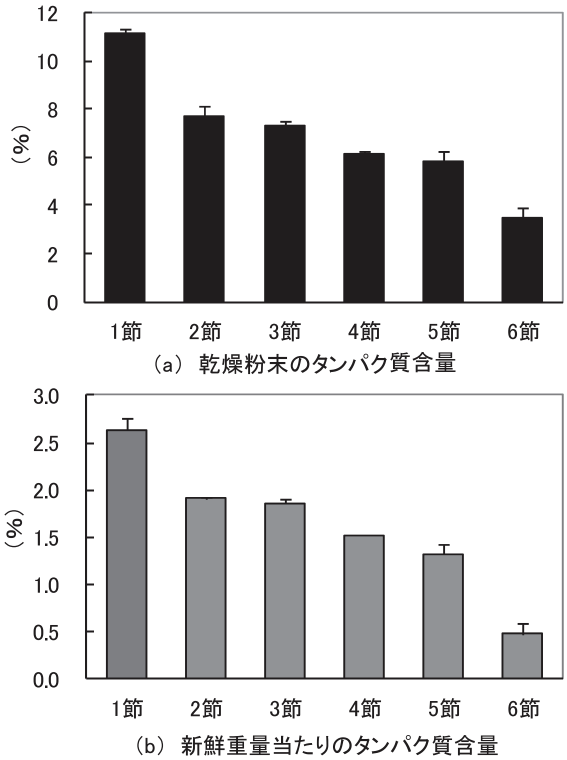
図２　総ポリフェノール量



(a) 乾燥粉末1g当たりのDPPH消去活性

(b) 新鮮重量100g当たりのDPPH消去活性

図３　抗酸化活性



(a) 乾燥粉末のタンパク質含量

(b) 新鮮重量当たりのタンパク質含量

図４　タンパク質含量

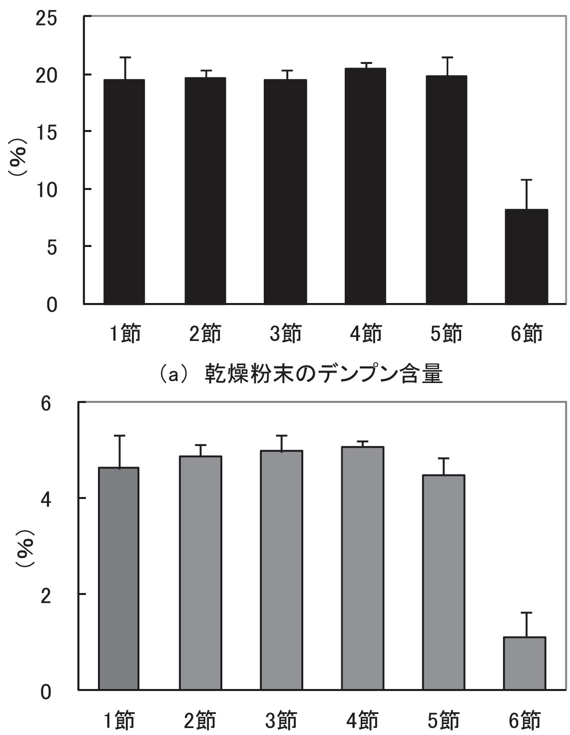
燥粉末では，1 節で最もタンパク質含量が高く，下位節になるに従って低下することが認められた．(b) に示すように新鮮重量当たりに換算すると，さらにその差は大きくなり, 6 節のタンパク質含量は 1 節の約 20% しか含まれていないことが確認された.

3.5　デンプン含量

図 5 (a) に乾燥粉末および (b) に新鮮重量当たりに換算したデンプン含量を示す．(a) に示すように乾燥粉末では，1～5 節でデンプン含量に大きな差は認められず，6 節のみ顕著に低値を示した．(b) に示すように新鮮重量あたりに換算すると，その差はさらに大きくなった．一般的に，末節は，レンコン特有の粘り気が少なく, 他の節に比べて味が劣ると言われているが, タンパク質やデンプン含量が非常に少ないことが関与していることが示唆された.

3.6　アミノ酸含量

表 1 に新鮮重量 100g 当たりの総アミノ酸含量を測定した結果を示す．総アミノ酸量は，タンパク質含量で得られた結果と一致しており，1 節で最も多く，6 節で最も少なかった．また，総アミノ酸量に占める各アミノ酸の割合を比較したところ，アスパラギン酸は上位節よりも 3～5 節で高い割合を示した (図 6)．一方，アルギニンおよびアラニンの割合は，上位節で高く，下位節で低下する傾向が認められた．他のアミノ酸の



(a) 乾燥粉末のデンプン含量

(b) 新鮮重量当たりのデンプン含量

図５　デンプン含量

割合については，各節で大きな差は認められなかったが，各節ごとでアミノ酸組成についても違いがあるこ

表１　アミノ酸含量（mg / 新鮮重量 100g）

	1節	2節	3節	4節	5節	6節
ASP	533 ± 78	427 ± 21	567 ± 12	545 ± 52	487 ± 18	126 ± 69
GLU	199 ± 12	130 ± 11	98.7 ± 1.3	84.2 ± 3.1	67.8 ± 1.4	28.3 ± 5.9
SER	95.3 ± 3.6	79.4 ± 3.1	72.5 ± 5.8	57.5 ± 5.3	44.0 ± 2.8	16.1 ± 3.4
GLY	46.5 ± 1.6	42.0 ± 0.8	38.7 ± 2.6	32.5 ± 2.2	25.6 ± 1.0	11.6 ± 2.5
HIS	46.3 ± 4.8	40.3 ± 0.8	30.2 ± 4.6	23.7 ± 3.6	20.5 ± 1.3	7.78 ± 1.5
ARG	271 ± 25	142 ± 21	87.8 ± 12	47.4 ± 7.3	36.3 ± 1.6	12.2 ± 3.3
THR	132 ± 14	98.1 ± 8.3	82.1 ± 4.7	60.8 ± 9.0	48.9 ± 0.8	16.8 ± 4.8
ALA	355 ± 27	250 ± 20	223 ± 49	176 ± 29	121 ± 11	41.5 ± 11
PRO	75.8 ± 3.0	65.9 ± 2.6	61.4 ± 3.7	50.6 ± 3.3	41.3 ± 2.2	17.5 ± 3.4
TYR	75.3 ± 7.1	56.1 ± 3.8	42.4 ± 7.9	33.3 ± 4.6	24.6 ± 1.3	8.50 ± 2.5
VAL	110 ± 10	76.4 ± 4.2	62.6 ± 4.8	49.0 ± 3.6	38.9 ± 1.3	17.1 ± 4.6
MET	22.9 ± 3.4	17.4 ± 4.4	10.4 ± 0.8	10.3 ± 1.5	6.03 ± 1.3	2.34 ± 0.2
CYS	2.76 ± 0.2	3.58 ± 0.5	3.19 ± 0.1	2.43 ± 0.3	2.21 ± 0.2	0.76 ± 0.1
ILE	69.0 ± 7.2	49.2 ± 4.5	45.5 ± 3.2	37.7 ± 2.3	30.9 ± 1.0	13.5 ± 4.1
LEU	106 ± 7.5	82.8 ± 4.9	82.7 ± 3.9	70.8 ± 4.2	57.7 ± 2.1	24.9 ± 6.3
PHE	61.8 ± 2.8	62.3 ± 2.6	65.9 ± 16	52.9 ± 4.3	43.7 ± 1.6	16.4 ± 3.4
LYS	104 ± 17	91.0 ± 24	90.7 ± 8.4	56.9 ± 7.9	60.5 ± 7.3	26.8 ± 2.9
Total	2306 ± 39.0	1712 ± 75	1665 ± 111	1391 ± 129	1158 ± 28.8	388.0 ± 119

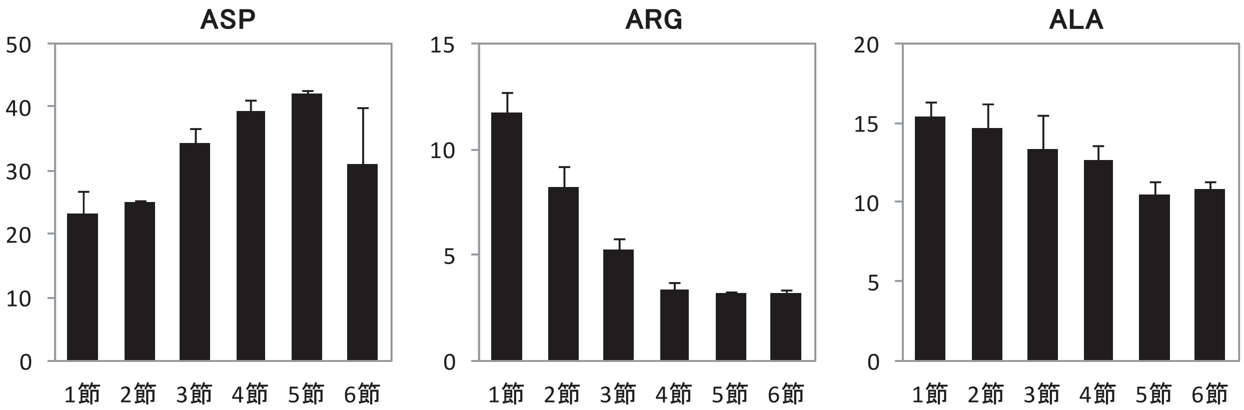


図６　総アミノ酸量に占める各アミノ酸の割合（%）

とが確認された.

４．おわりに

本研究では，レンコンを節ごとに分析し，ポリフェノール等の成分含量を調べた．その結果，最も廃棄率が高いと言われている下位節でポリフェノール量および抗酸化活性が高いことが認められた．それに対して，タンパク質やデンプン含量については，上位節に比べて下位節で低い傾向が認められたが，これらの成分は，ポリフェノールを抽出する際，抽出の妨げになることが多い．また，レンコンに含まれるポリフェノールは，カテキンおよびガロカテキンから構成されたプロアントシアニジン（縮合型タンニン）が主である．データには示していないが，各節のポリフェノール組成について， MALDI-TOF MS および ESI-MS 分析を行なった結果，いずれの節においても同様のスペクトルが見られ，含まれるポリフェノールは節ごとで差がないことも認めている．したがって，レンコンの下位節部位は，機能性を有するポリフェノールを多く含み，且つポリフェノール抽出時の不要な物質の量が少ないため，機能性食品素材の原料として有用性が高いことが認められた．

最後に，本研究にあたり御助言を賜りました佐賀県農業試験研究センター白石分場に深謝致します．

参考文献

1）西川研次郎監修，食品機能性の科学　ポリフェノールの健康効果，産業技術サービスセンター，299-371(2008)

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，**16**, 51-53 (2007)

3）鶴田裕美，野村沙織，城内文吾，小金丸和義，永尾晃治，柳田晃良：レンコン摂取が肥満・糖尿病マウスの病態発症に及ぼす影響，日本農芸化学会要旨集，p.134（2009）

4）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)

5）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)

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）須田郁夫，食品機能研究法，光琳，218-220 (2000).

8）Bidlingmeyer, B. A., Cohen, S.A., Tarrin, T.L. : Rapid analysis of amino acid using pre-column derivetization. *J. Chromatogr.,* **336** (1), 93-104 (1984)

9）杉山泰之，大城晃：ウンシュウミカンの栄養診断のためのヨウ素比色によるデンプン簡易測定法. 日本土壌肥科学雑誌, **72** (1), 81-84 (2001)