

調理過程における野菜類の抗酸化性の 評価に関する研究

山口 智子*

Tomoko Yamaguchi



はじめに

ガンや動脈硬化をはじめとする生活習慣病や老化の要因に、活性酸素・フリーラジカルによる生体の酸化的傷害が深く関与していることが指摘されている¹⁾。一方、食品には活性酸素・フリーラジカルの生成やその作用を抑制する多様な抗酸化性成分が存在することが明らかになっており、各種の疾病を予防する上で、食品の持つ抗酸化性の効果に期待が寄せられている^{2,3)}。その中でも、野菜類には抗酸化性成分として、ビタミンCやβ-カロテンなどのビタミン類やポリフェノールなどが多く含まれていることが分かっている⁴⁾。

疫学調査によると、野菜の摂取量が多い国民はガンや虚血性心疾患による死亡率が低いとされている^{2,5)}。さらに、糖尿病、高血圧などの生活習慣病や肥満症など、現代人が抱えている健康上の問題の予防や改善に対しても、野菜の摂取が有効であることが報告されている⁶⁾。このような中で、厚生労働省は「健康日本21」において、成人一人一日あたり野菜を350g以上摂取することを推奨している。

日常の食生活において、われわれは野菜を摂取する際に生で食するだけでなく、通常、調理・加工を経てから食している。したがって、実際の食生活に即した形態での野菜に含まれる抗酸化性成分の有用性や意義を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、まず食品の抗酸化性を簡便かつ迅速に評価するための測定法を開発した。そして、野菜類を中心に、その調理過程における抗酸化性の変化の解析を行った。その際、主な抗酸化性成分であるアスコルビン酸やポリフェノールの分析を併せて行うとともに、加熱法や栽培法との関連を検討した。これまでの一連の研究の中から得られた知見を報告する。

1. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) を 用いた食品の抗酸化性測定法の開発

抗酸化性をはじめとする食品の機能性に関する研究は、従来、植物性食品中の新たな機能性成分の検索や個々の成分の生理機能の解明に重点を置いて進められてきた。しか

し、食品は様々な成分の複合系であり、日常の食生活におけるそれらの成分の機能性を検討するに当たっては、食品全体の評価が不可欠であると考えた。

抗酸化性の測定法には、DPPH 比色法、β-カロテン退色法、チオバルビツール酸法 (TBA 法)、化学発光法、電子スピン共鳴法 (ESR 法) など測定原理の異なる多種多様な方法が知られている^{7,8)}。これらの測定法は、特殊な分析機器が必要であったり、操作の煩雑さや測定の特異性などに問題点があった。このような背景から、食品中の抗酸化性を簡便かつ迅速に評価するためのラジカル捕捉活性測定法 (DPPH-HPLC 法) の開発に至った。

1) DPPH-HPLC 法の原理⁹⁾

一般にフリーラジカルは反応性が高く、非常に不安定であるが、本法は比較的安定なフリーラジカルである DPPH を用い、メタノール/水系の逆相高速液体クロマトグラフィー (HPLC) によって抗酸化性 (ラジカル捕捉活性) を評価するものである。

DPPH ラジカルは可視領域の 517 nm に極大吸収をもち、濃い紫色を呈する。この DPPH ラジカルが抗酸化性成分により還元 (捕捉) されて非ラジカル体になると、517 nm の特異的吸収が減少し退色する (Fig. 1)。DPPH ラジカルは生体内に存在しないラジカルであるが、LOO・のモデルとして電子供与反応を反応機構とする抗酸化性の測定に応用できる。この原理を利用して、従来の比色法では 517 nm の吸光度を分光光度計で測定することによってラジカル捕捉活性を評価するが、本法では食品に含まれる色素や他の成分の影響を除くために HPLC で分離し、ピーク面積の減少からラジカル捕捉活性を評価した (Fig. 2)。既知抗酸化性成分のラジカル捕捉活性を測定したところ、従来の比色

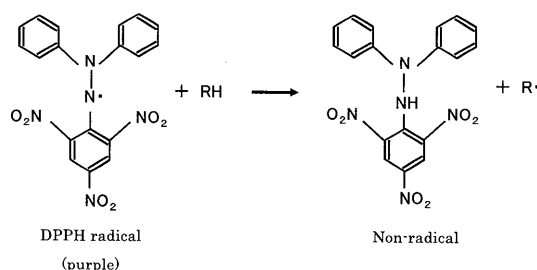


Fig. 1. Scheme for scavenging the DPPH radical by an antioxidant. RH, antioxidant

* 新潟大学人文社会・教育科学系 (教育学部)
(Niigata University)

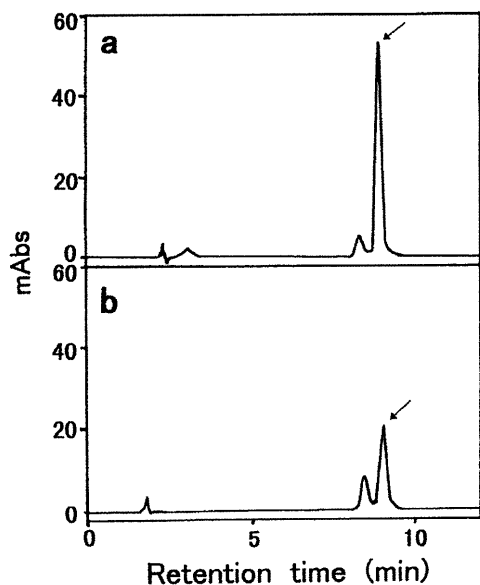


Fig. 2. HPLC chromatogram of DPPH radical obtained by DPPH-HPLC method. Column: TSKgel Octyl-80Ts column (4.6×150 mm, Tosoh). Mobile phase: methanol/water (70:30, v/v). Flow rate: 1 mL/min. Detection: Absorbance at 517 nm. a) Chromatogram of DPPH radical without any antioxidants. b) Chromatogram of DPPH radical after the addition of Trolox (final concentration was 75 μ M). The arrows indicate the peak of DPPH radical.

法と良い相関を示した⁹⁾。さらに、14種類のポリフェノール化合物について、デオキシリボース酸化法、デオキシグアノシン酸化法、リボソーム酸化法、Randox kit法と併せて測定したところ、本法は比較的感度が高く、多種類の物質の測定が可能であり、*in vitro*系における食品の1次スクリーニング法として汎用性が広いことが明らかとなった¹⁰⁾。

2) 種々の食品のラジカル捕捉活性の評価

開発したDPPH-HPLC法を用いて、飲料、野菜、果物、魚介類、乳製品、スパイスなど種々の食品のラジカル捕捉活性の評価を行った^{9,11-19)}。Table 1に示すように、飲料7種の中では、コーヒーと赤ワインに高い活性がみられた。ワインでは赤ワイン>ロゼワイン>白ワインの順にラジカル捕捉活性が高く、ポリフェノール含量とフレンチパルドックスとの関連が示唆された⁹⁾。果物4種においては、イチゴ>リンゴ>キウイ>オレンジの順にラジカル捕捉活

性が高かった。また、魚介類45種ではタチウオのラジカル捕捉活性が非常に高く、鰹節、カニ、サンマ、アジも比較的高い活性を示すことがわかり、魚の部位による活性の相違もみられた¹⁵⁾。

このように本法は、DPPHラジカルをHPLCで測定することによって、着色や濁りのある食品系においてもラジカル捕捉活性の測定を可能とし、従来法に代わる簡便で迅速な評価法として有用であることが明らかとなった。

2. 野菜類の抗酸化性に対する調理の影響

1) 生鮮野菜のラジカル捕捉活性と抗酸化性成分

野菜類はビタミンCの主な供給源である。ビタミンCは還元型のアスコルビン酸および酸化型のデヒドロアスコルビン酸として存在し、両者の生物学的効力は同等とされている。しかし、抗酸化性の観点から両者の機能性をみた場合、デヒドロアスコルビン酸はDPPHラジカル捕捉活性を示さない。また、ESR法によるヒドロキシルラジカル捕捉活性に対しても、デヒドロアスコルビン酸は活性を示さないことを確認した²⁰⁾。このことから、ビタミンCとしてアスコルビン酸量のみを測定することとし、野菜類のラジカル捕捉活性とその活性に寄与する抗酸化性成分の解析を行った。

野菜類18種の水抽出液についてラジカル捕捉活性を測定したところ、ゴボウの活性が最も高く、ブロッコリー、ピーマン、アスパラガスにも比較的に高い活性が認められた¹²⁾。一方、ニンジン活性は最も低かった。ブロッコリー、ピーマン、キャベツ、カリフラワーではアスコルビン酸が主な抗酸化性成分であったが、ラジカル捕捉活性に寄与するその他の成分として、フラボノイドやフェノール酸、クロロフィルなどが考えられた。

2) 野菜類の抗酸化性に対するゆで加熱の影響

野菜は加熱調理して食することが多い。一般には、「食材を加熱すれば、有効成分は壊れてしまう」との懸念がもたれているが、これは「野菜を加熱するとビタミンCは破壊される」という通説のためである。そこで、野菜の抗酸化性に対するゆで加熱の影響を調べたところ、アスコルビン酸含量が減少したにもかかわらず、ラジカル捕捉活性の増加がみられたものがあつた¹²⁾。特に、ゴボウ、ピーマン、ナスで顕著な増加がみられた。このような増加の現象は、前田ら²¹⁾によっても報告されており、加熱により野菜の細胞壁が軟化した結果、細胞内の活性成分が溶出しやすくなったためであると説明している。

一方、ラジカル捕捉活性およびアスコルビン酸量の減少がみられた野菜では、ゆで水への成分の流出がその一要因であった。そこで、ゆで水に食塩を添加したところ、アスコルビン酸および活性成分の流出が抑制される傾向が認められた²⁰⁾。

Table 1. Radical-scavenging activity of beverages

Beverage	Radical-scavenging activity (μ mol Trolox eq./100 mL)
Red wine	944 \pm 25
Rose wine	480 \pm 27
White wine	322 \pm 36
Green tea	746 \pm 73
Black tea	584 \pm 44
Coffee	965 \pm 71
Orange juice	216 \pm 36

The values are the means \pm SD for three samples.

3) 野菜類の抗酸化性に対する酸化酵素の影響

野菜類の加熱によるラジカル捕捉活性の増加の要因として、酸化酵素の関与を疑った。野菜にはポリフェノールを酸化するポリフェノールオキシダーゼ (PPO) やアスコルビン酸を酸化するアスコルビン酸オキシダーゼ (AAO) が存在する。一般に、PPO は食品の酵素的褐変の原因酵素として知られており、リンゴやバナナなどの加工の際に PPO の作用を抑制し、外観的品質を保持させることを目的とした食品工業的な研究が多く行われてきた^{22,23)}。野菜の調理・加工の際にも、切断部や汁液が褐変するものがあることから、PPO の作用によってポリフェノールが酸化されると、それに伴ってポリフェノールに由来するラジカル捕捉活性は失われることが予想される。したがって、先の生鮮野菜のラジカル捕捉活性の評価において、分析試料を調製するために生鮮野菜をすりつぶしている間に、PPO が作用してポリフェノール量が低下していたのではないかと、一方、野菜の加熱によって PPO は失活するので、加熱野菜を

すりつぶしても PPO は作用せず、ポリフェノール量は変化しなかったのではないかと、すなわち、「加熱することによって活性が上がるのではなく、活性が下がらない」との仮説を立てた。

そこで、生鮮野菜を液体窒素で瞬時に凍結し、酸化酵素を作用させずに凍結乾燥させた試料を調製した。さらに、その凍結乾燥粉末の水溶液を調製して、100℃で加熱処理をしたものとしなかったものを室温で放置し、ラジカル捕捉活性、総ポリフェノール量、クロロゲン酸量およびアスコルビン酸量の経時的変化を測定した。その結果、高い PPO 活性を有するゴボウとレタスでは、ラジカル捕捉活性、総ポリフェノール量およびクロロゲン酸量が1分間で著しく減少した。しかし、ブロッコリーではラジカル捕捉活性がわずかに減少したのみであり、この減少は AAO によるアスコルビン酸の酸化に由来するものであった。加熱により酵素を失活させるとこれらの化合物は全く減少しなかった (Fig. 3, 4)²⁴⁾。以上の実験結果は、筆者らの仮説を支持する

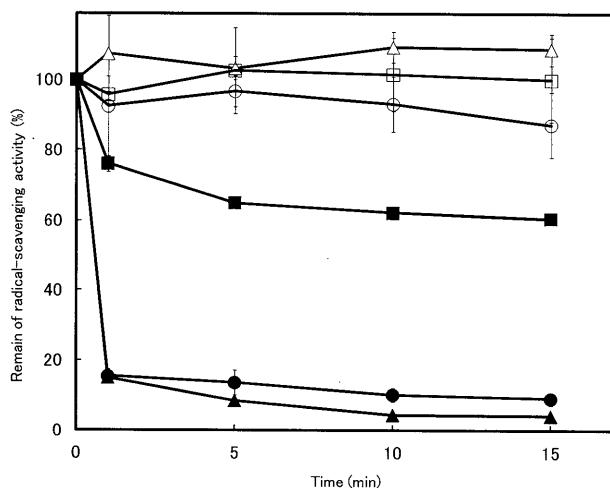


Fig. 3. Effects of heating on the radical-scavenging activity during cooking process of vegetables. ▲, burdock; ●, lettuce; ■, broccoli; △, heated burdock; ○, heated lettuce; □, heated broccoli.

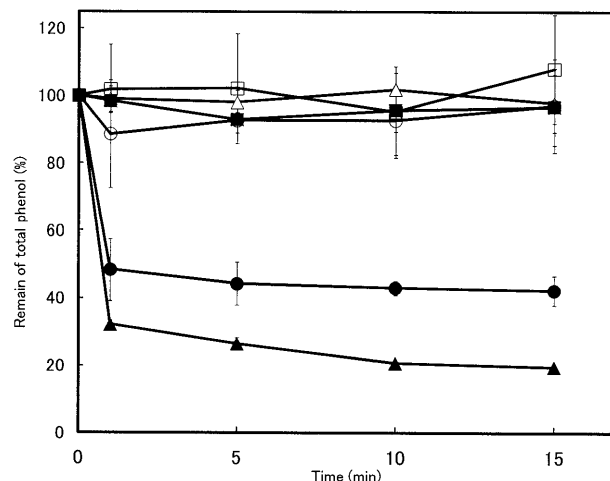


Fig. 4. Effects of heating on the total phenol content during cooking process of vegetables. ▲, burdock; ●, lettuce; ■, broccoli; △, heated burdock; ○, heated lettuce; □, heated broccoli.

Table 2. Radical-scavenging activity and content of total phenol and ascorbic acid in vegetables

Vegetable	Radical-scavenging activity	Total phenol content	Ascorbic acid content	Contribution of ascorbic acid ^{a)}
	($\mu\text{mol Trolox eq./100 g}$)	($\mu\text{mol Gallic acid eq./100 g}$)	(mg/100 g)	(%)
Cabbage	247 ± 33^b	272 ± 36	36 ± 5	92
Onion	104 ± 22	295 ± 123	6 ± 3	37
Tomato	243 ± 25	289 ± 5	18 ± 1	48
Eggplant	$1,121 \pm 50$	806 ± 42	2 ± 1	1
Carrot	87 ± 16	223 ± 20	2 ± 1	18
Green pepper	570 ± 34	566 ± 35	66 ± 6	73
Broccoli	890 ± 56	933 ± 136	99 ± 8	70
Spinach	526 ± 90	$1,464 \pm 199$	55 ± 7	66

^{a)} The contribution of ascorbic acid to radical-scavenging activity of the vegetables was calculated as a percentage.

^{b)} The values are the means \pm SD for three determinations.

調理過程における野菜類の抗酸化性の評価に関する研究

もので、「加熱することによって活性が上がるのではなく、活性が下がらない」ことが明らかになった。

生鮮野菜では切ったり、刻んだり、揃りつぶしたりすると、PPO が作用してポリフェノール量が減少するために、

ラジカル捕捉活性も減少する。したがって、PPO 活性の強い野菜を調理する場合には、褐変を抑えるだけでなく、ラジカル捕捉活性や抗酸化性成分を減少させないためにも、切った後には長らく放置して空気に触れさせないようにす

Table 3. Radical-scavenging activity of vegetables after various cooking methods

Vegetable	Radical-scavenging activity			
	Cooked tissue		Cooking water	
	($\mu\text{mol Trolox eq./100g}$)	(%) ^{a)}	($\mu\text{mol Trolox eq./100g}$)	(%)
Cabbage	Fresh	247 \pm 33 ^{b)}	100	
	Boiling	125 \pm 15	50	113 \pm 17
	Simmering	37 \pm 7	15	127 \pm 21
	Microwave	229 \pm 13	93	
	Pan-frying	196 \pm 46	79	
	Deep-frying	—	—	
Onion	Fresh	104 \pm 22	100	
	Boiling	79 \pm 20	76	30 \pm 8
	Simmering	61 \pm 6	59	56 \pm 7
	Microwave	99 \pm 12	95	
	Pan-frying	111 \pm 18	107	
	Deep-frying	102 \pm 8	98	
Tomato	Fresh	243 \pm 25	100	
	Boiling	163 \pm 14	67	73 \pm 12
	Simmering	33 \pm 5	14	175 \pm 1
	Microwave	195 \pm 5	80	
	Pan-frying	173 \pm 12	71	
	Deep-frying	—	—	
Eggplant	Fresh	1,121 \pm 50	100	
	Boiling	285 \pm 76	25	365 \pm 40
	Simmering	186 \pm 59	17	910 \pm 76
	Microwave	959 \pm 25	86	
	Pan-frying	942 \pm 192	84	
	Deep-frying	—	—	
Carrot	Fresh	87 \pm 16	100	
	Boiling	50 \pm 14	57	39 \pm 8
	Simmering	26 \pm 7	30	26 \pm 3
	Microwave	86 \pm 19	99	
	Pan-frying	67 \pm 14	77	
	Deep-frying	60 \pm 16	69	
Green pepper	Fresh	570 \pm 34	100	
	Boiling	509 \pm 18	89	136 \pm 24
	Simmering	139 \pm 29	24	405 \pm 63
	Microwave	588 \pm 24	103	
	Pan-frying	607 \pm 65	106	
	Deep-frying	602 \pm 38	106	
Broccoli	Fresh	890 \pm 56	100	
	Boiling	308 \pm 108	35	493 \pm 12
	Simmering	227 \pm 40	25	282 \pm 38
	Microwave	621 \pm 101	70	
	Pan-frying	579 \pm 34	65	
	Deep-frying	630 \pm 13	71	
Spinach	Fresh	526 \pm 90	100	
	Boiling	140 \pm 50	27	155 \pm 9
	Simmering	—	—	—
	Microwave	326 \pm 95	62	
	Pan-frying	305 \pm 109	58	
	Deep-frying	—	—	

The heating time of each cooking method is as follows: boiling for 2 min (spinach), 3 min (onion), and 5 min (others); simmering for 1 h; microwave heating for 2 min (spinach and tomato), 3 min (carrot and onion), and 5 min (others); pan-frying for 2 min (carrot, green pepper, onion, spinach, tomato), 3 min (broccoli and cabbage), and 5 min (eggplant); deep-frying for 1 min (broccoli, green pepper, onion) and 1.5 min (carrot).

^{a)} Percentage to the value for fresh materials.

^{b)} The values are the means \pm SD for three determinations.

るなど、取り扱いに留意しなければならない。さらに、生鮮野菜のサラダを食べる場合、同様の現象が咀嚼時の口腔内でも起こり得ることが示唆され、pHを低下させるなど酸化酵素の活性を抑制するために調味料を用いるといった工夫が必要である。

4) 種々の加熱法における野菜類の抗酸化性の比較

上記に示したように、野菜を加熱することは酸化酵素を失活させ、抗酸化性の減少を抑制する上で重要である。そこで、通常家庭で行われる種々の加熱法（ゆで加熱、煮込み加熱、電子レンジ加熱、炒め加熱、揚げ加熱）を用いて、各調理過程における抗酸化性の変化について比較検討を行った²⁵⁾。

Table 2に測定に用いた8種類の野菜の抗酸化性を示した。ラジカル捕捉活性に対するアスコルビン酸の寄与率は1%（ナス）～92%（キャベツ）であり、野菜の種類によりかなりの相違がみられた。これらの野菜を種々の加熱法により調理した場合、ラジカル捕捉活性および総ポリフェノール量は、ゆで加熱および煮込み加熱により減少し、電子レンジ加熱、炒め加熱、揚げ加熱の各調理では保持される傾向がみられた（Table 3）。アスコルビン酸量は、いずれの調理法においても減少した。このように、野菜の加熱調理において、アスコルビン酸量は減少するものの、比較的熱に安定なポリフェノールが多く含まれるため、全体的にはラジカル捕捉活性の著しい減少はみられなかった。

ポリフェノール化合物の熱安定性について、ケルセチン、ルチン、クロロゲン酸等の標品を用いて100℃および180℃での加熱実験を行った。100℃の加熱では、8時間加熱してもすべてのポリフェノール化合物のラジカル捕捉活性は80%以上保持されていた。180℃の加熱では、3時間後に10～30%に活性が減少していたが、通常の調理では長時間の加熱は行わないことから、ラジカル捕捉活性は十分保持されることがわかった^{26,27)}。ポリフェノールを含むオリーブオイルの揚げ調理（180℃加熱）においても、大豆油よりもラジカル捕捉活性の残存率が高いことを確認している²⁸⁾。

Table 3に示したように、ゆで加熱や煮込み加熱においては、抗酸化性成分がゆで汁や煮込み汁に流出する。そして、加熱時間の長い煮込み加熱の方が流出は著しい。それに比べて、電子レンジ加熱では全体的にラジカル捕捉活性およびアスコルビン酸量が高い。これは、抗酸化性成分の流出が起らないためであり、野菜の抗酸化性を保持する上で電子レンジ加熱は有効な加熱法である²⁵⁾。なお、野菜をゆでて食する場合、そのゆで汁も合わせて摂取できる料理（スープ、シチュー、みそ汁、鍋物など）が健康維持のために望ましいと言える。

3. カレーの調理過程における抗酸化性の変化

カレーライスでは野菜類と多くのスパイスを素材として調

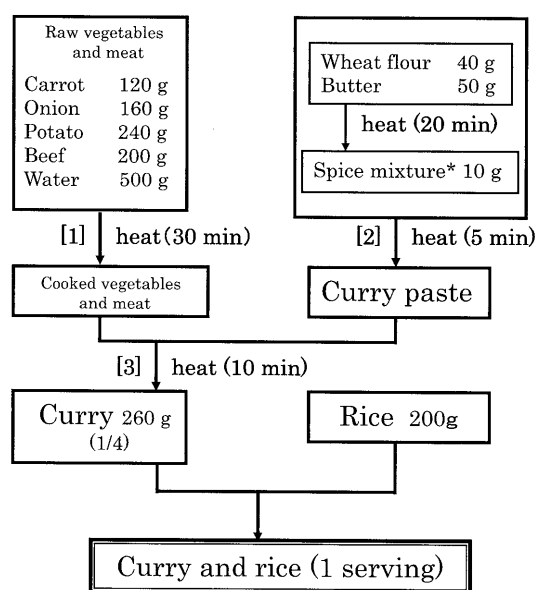


Fig. 5. Recipe and cooking process of curry and rice.

Recipe for 4 servings. One serving of curry and rice is curry (260 g) and rice (200 g). *Spice mixture contains 13 spices (9 flavoring spices; coriander, cumin, cardamom, allspice, cinnamon, fenugreek, clove, fennel, and mace, 3 hot-tasting spices; ginger, red pepper, and white pepper, and 1 coloring spice; turmeric).

理される我が国独特の料理で、しかも、世代を超えて広く食されている庶民的な献立の一つである。スパイスには、食欲増進をもたらす辛味作用、肉や魚の臭みを消す矯臭作用、香りを付加して美味しくする肺香作用、特有の色素による着色作用などがあり、世界各国で広く用いられている。また、スパイスは高い抗酸化性や抗菌作用を持つことが報告されている^{29,30)}。そこで、本研究では、スパイスおよび野菜・肉類の素材からカレーライスにいたるまでの調理過程におけるラジカル捕捉活性の変化を解析した。カレーライスの調理法をFig. 5に示す。

まず、15種類のスパイスのラジカル捕捉活性を測定したところ、すべてのスパイスに活性が認められ、特にクロブ、オールスパイス、シナモンに高い活性がみられた¹⁸⁾。野菜類と比較してもその活性は同等以上であった。

次に、中程度の辛さのカレーを想定して13種類のスパイスをブレンドした調合スパイスと、数種の野菜と牛肉を用いてカレーを調理したところ、Fig. 6に示すように、野菜と牛肉を合わせた具を加熱する過程で2.7倍に活性が増加した。一方、調合スパイスからカレーを作る際には50%の活性の減少がみられ、これはバター共存下での高温加熱により、活性成分が揮発もしくは分解したためであると考えられた。カレーライス1食分は363 μmol Trolox 当量の活性を有し、カレーライスの全ラジカル捕捉活性に対するスパイスの占める割合は約45%であった¹⁸⁾。このように、カレーライスではスパイスだけでなく、野菜類もその活性に大きく寄与していた。

調理過程における野菜類の抗酸化性の評価に関する研究

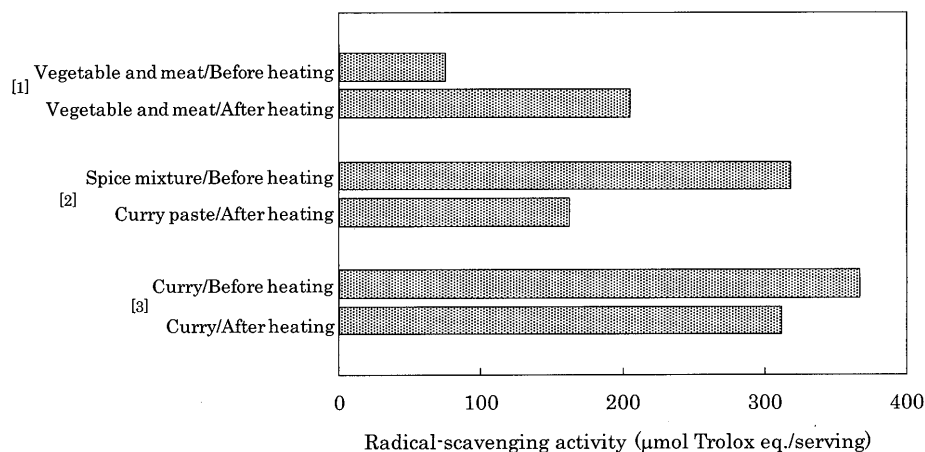


Fig. 6. Change in radical-scavenging activity of vegetables and spices during curry cooking.

4. 色や品種の異なる野菜類の抗酸化性と調理適性

市場には色や品種の異なる多くの野菜が出回っており、栽培法もさまざまである。そして、これらの抗酸化性や調理適性も異なることが予想される。そこで、色や品種の異なる野菜類の抗酸化性と調理適性を比較検討した。

1) 色の異なるピーマンおよびパプリカについて

6種の色の異なるピーマンおよびパプリカについて、抗酸化性と加熱調理（ゆで加熱、電子レンジ加熱、炒め加熱）の影響を調べた³¹⁾。Fig. 7に示すように、生のピーマンおよびパプリカのラジカル捕捉活性は緑色のものよりも赤色、オレンジ色、黄色のものの方が高かった。また、これ

らの加熱調理においては、色の違いによるラジカル捕捉活性の変化に大きな相違は認められなかった。総ポリフェノール量、アスコルビン酸量、総カロテノイド量にも同様の傾向がみられた。

2) 品種・系統の異なるサトイモについて

7品種・系統のサトイモの抗酸化性を測定するとともに、蒸し芋、田楽、煮っ転がしおよび味噌汁の4種の調理品について官能評価を行い、美味しさ、粘りに対する食感、硬さに対する食感およびほくほく感に対する食感を評価した³²⁾。美味しさは、蒸し芋と田楽では品種・系統間で有意な差がみられ、品種・系統間の相対的な関係が異なった。粘り、硬さおよびほくほく感に対する食感、全ての調理

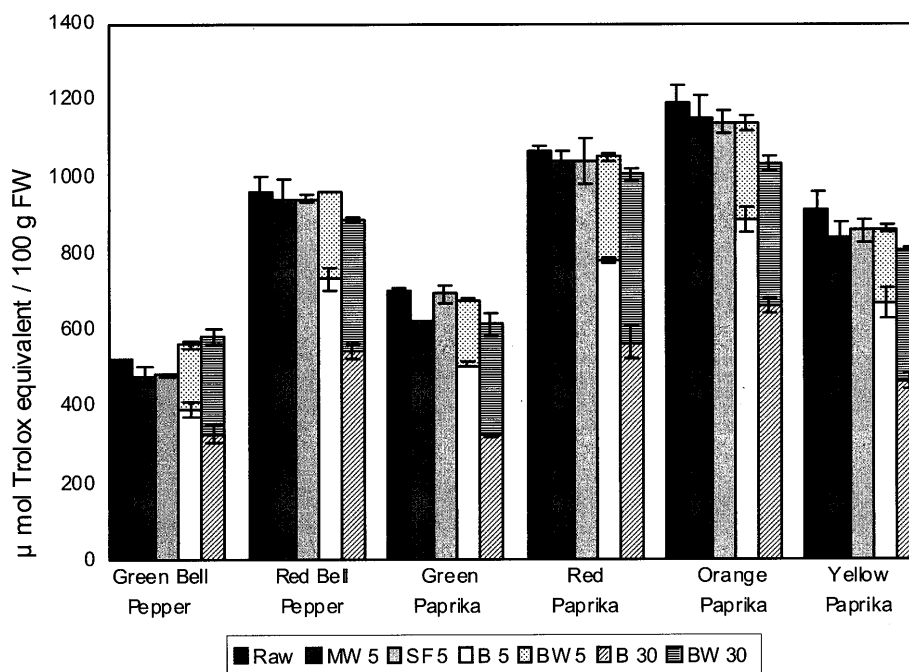


Fig. 7. Changes in radical-scavenging activity of different colored peppers after various cooking.

MW5, microwave heating for 5 min; SF5, stir-frying for 5 min; B5, boiled tissue after boiling for 5 min; BW5, boiled water after boiling for 5 min; B30, boiled tissue after boiling for 30 min; BW30, boiled water after boiling for 30 min.

法において、品種・系統間で有意な差がみられた。さらに、全ての調理法において、美味しさとほくほく感に対する食感の間に正の相関が認められた。また、ラジカル捕捉活性および総ポリフェノール量にも品種・系統間差がみられた。アスコルビン酸量はいずれの品種・系統においても低く、ラジカル捕捉活性への寄与率は3~11%であった。しかし、抗酸化性と調理適性に関係が深いと考えられる粘り、硬さおよびほくほく感に対する食感並びに美味しさとの間には、有意な相関は認められなかった。

これらの結果から、野菜の栽培において抗酸化性の高い品種を選択すること、また、調理においてはその品種に適した調理法を選択することは、高付加価値化と美味しさに繋がると考える。

3) 栽培条件の異なるキャベツおよびハクサイについて

食品の安全性と健康の観点から、消費者の有機農産物への関心が高まっていることを受けて、有機質肥料および化成肥料を用いて栽培されたキャベツおよびハクサイを取り上げ、栽培条件の違いが生育状況、抗酸化性および食味に与える影響を解析した。

まず、生育状況をみてみると、キャベツでは有機質肥料で栽培したものより化成肥料で栽培したものの方が一株当たりの重量が約1.5倍重く、球高や球径も若干大きかった。ラジカル捕捉活性およびアスコルビン酸量はキャベツ・ハクサイともに有機質肥料で栽培したものの方が高い傾向がみられたが、有意差は認められなかった³³⁾。官能評価において、生のキャベツでは有機質肥料で栽培したものより化成肥料で栽培したものに味や香りの違いがみられたが、両者を加熱した場合には風味の違いは感じられなかった。

このような有機農産物以外にも、近年、伝統野菜や地域特産野菜が食文化の継承や地産地消の観点から注目されており、現在、大和野菜や新潟県産野菜の分析も進めているところである。

おわりに

以上のように、これまで、野菜類の加熱調理過程における抗酸化性の変化を中心に研究を遂行してきた。その中で、生鮮野菜の状態ではむしろ減少してしまいがちな抗酸化性を、加熱することで保持できることが明らかになった。野菜は加熱調理すると、軟らかくなると同時にボリュームも小さくなる。しかも、料理の種類も多彩になって、多量の野菜を摂取することができるというメリットがある。現在、一人一日あたりの野菜の摂取量は295gに留まっており、摂取目標値の350gを達成するためにも、加熱調理した野菜を食することは有効な手段であると言える。本研究で得られた成果を日常の食生活における食事献立の設計に活かすことにより、生活習慣病の予防と健康の維持・増進に少しでも繋がればと期待するところである。

本研究を遂行するにあたり、終始、ご指導とご助言を賜りました奈良女子大学名誉教授の場輝佳先生ならびに准教授高村仁知先生に深く感謝申し上げます。また、本研究の大部分は、奈良女子大学生生活環境学部食物栄養学科食品調理科学研究室で行われたものであり、多くの共同研究者の方々のご協力を学内外よりいただきました。ここに心から御礼申し上げます。最後に、本研究を日本調理科学会奨励賞にご推薦いただきました大阪市立大学名誉教授中谷延二先生に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 吉川敏一 (1997), 「フリーラジカルの科学」, 講談社, 東京, pp. 125-198
- 2) Ames, B. N., Shigenaga, M. K. and Hagen, T. M. (1993), Oxidants, antioxidant, and the degenerative diseases of aging, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **90**, 7915-7922
- 3) Aruoma, O. I. (1994), Nutrition and health aspects of free radicals and antioxidants, *Food Chem. Toxic.*, **32**, 671-683
- 4) Shahidi, F. and Naczk, M. (1995), Phenolic compounds in fruits and vegetables, "Food phenolics, sources, chemistry, effects, applications", Shahidi, F. and Naczk, M., Ed., Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, pp. 75-107
- 5) Steinmetz, K. A. and Potter, J. D. (1991), Vegetables, fruit, and cancer. I. Epidemiology, *Cancer Causes Control*, **2**, 325-357
- 6) 高宮和彦 (1996), 「野菜の科学」, 高宮和彦編, 朝倉書店, 東京, pp. 101-138
- 7) 佐野浩亮, 内海英雄 (1999), 活性酸素・フリーラジカルの分析, 化学と生物, **37**, 328-333
- 8) 寺尾純二 (1996), 抗酸化性の評価, ぶんせき, 1996年3号, 190-195
- 9) Yamaguchi, T., Takamura, H., Matoba, T. and Terao, J. (1998), HPLC method for evaluation of free radical-scavenging activity of foods by using 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, *Biosci. Biotech. Biochem.* **62**, 1201-1204
- 10) Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. (2002), A comparative study on the various in vitro assays of active oxygen scavenging activity in foods, *J. Food Sci.*, **67**, 539-541
- 11) 石渡仁子, 山口智子, 高村仁知, 的場輝佳 (2003), 市販アルコール飲料の保存中におけるDPPHラジカル捕捉活性とアスコルビン酸量・ポリフェノール量の変化, 家政学研究, **50**, 48-55
- 12) Yamaguchi, T., Mizobuchi, T., Kajikawa, R., Kawashima, H., Miyabe, F., Terao, J., Kanazawa, K., Takamura, H. and Matoba, T. (2001), Radical-scavenging activity of vegetables and the effect of cooking on their activity, *Food Sci. Technol. Res.*, **7**, 250-257
- 13) Myojin, C., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. (2004), Changes in the radical-scavenging activity of sliced red and green cabbages during storage, *BioFactors* **21**, 297-299
- 14) Ishiwata, K., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. (2004), DPPH radical-scavenging activity and polyphenol content in dried fruits, *Food Sci. Technol. Res.*, **10**, 152-156
- 15) Khanum, M. N., Yamaguchi, T., Hiroishi, S., Muraoka, F., Takamura, H. and Matoba, T. (1999), Radical-scavenging

- activities of fish and fishery products, *Food Sci. Technol. Res.*, **5**, 193-199
- 16) Bhadra, A., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. (2004), Radical-scavenging activity: role of antioxidative vitamins in some fish species, *Food Sci. Technol. Res.*, **10**, 264-267
 - 17) 石渡仁子, 山口智子, 高村仁知, 的場輝佳 (2006), 種々の乳製品のラジカル捕捉活性, 日調科誌, **39**, 267-270
 - 18) 高村仁知, 山口智子, 林恵里奈, 藤本さつき, 的場輝佳 (1999), カレーの調理過程におけるラジカル捕捉活性の変化, 家政誌, **50**, 1127-1132
 - 19) Khatun, M., Eguchi, S., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. (2006), Effect of thermal treatment on radical-scavenging activity of some spices, *Food Sci. Technol. Res.*, **12**, 178-185
 - 20) Takamura, H., Yamaguchi, T., Terao, J. and Matoba, T. (2002), "Change in radical-scavenging activity of spice and vegetables during cooking" Bioactive compounds in foods: Effects of processing and storage, ed. by T-C. Lee and C-T. Ho, ACS Symposium Series 816, American Chemical Society, Washington, DC, pp. 34-43
 - 21) Maeda, H., Katsuki, T., Akaike, T. and Yasutake, R. (1992), High correlation between lipid peroxide radical and tumor-promoter effect: Suppression of tumor promotion in the Epstein-Barr virus/B-lymphocyte system and scavenging of alkyl peroxide radicals by various vegetable extracts. *Jpn. J. Cancer Res.*, **83**, 923-928
 - 22) 村田容常, 本間清一 (1998), ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御—最新の研究動向—, 日食工誌, **45**, 177-185
 - 23) 大羽和子 (1996), 新鮮野菜のアスコルビン酸オキシダーゼ, 日調科誌, **29**, 120-124
 - 24) Yamaguchi, T., Katsuda, M., Oda, Y., Terao, J., Kanazawa, K., Oshima, S., Inakuma, T., Ishiguro, Y., Takamura, H. and Matoba, T. (2003), Influence of polyphenol and ascorbate oxidases during cooking process on the radical-scavenging activity of vegetables, *Food Sci. Technol. Res.*, **9**, 79-83
 - 25) Yamaguchi, T., Oda, Y., Katsuda, M., Inakuma, T., Ishiguro, Y., Kanazawa, K., Takamura, H. and Matoba, T. (2007), Changes in radical-scavenging activity of vegetables during different thermal cooking processes, *J. Cook. Sci. Jpn.*, **40**, 127-137
 - 26) Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. (2004), Change in the radical-scavenging activity of quercetin and epigallocatechin gallate during heat treatment, *J. Home Econ. Jpn.*, **55**, 213-217
 - 27) Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T. (2004), Effects of thermal treatment on radical-scavenging activity of single and mixed polyphenolic compounds, *J. Food Sci.*, **69**, FCT7-FCT10
 - 28) 蔣立勤, 山口智子, 高村仁知, 的場輝佳 (2005), 揚げ調理過程における小豆島バージンオリーブオイルのラジカル捕捉活性の変化, 家政学研究, **51**, 59-64
 - 29) 中谷延二 (1989), 香辛料の抗酸化性, 抗菌性, 「香辛料成分の食品機能」, 光生館, 東京, pp. 69-96
 - 30) 河智義弘 (1992) 香辛料の生理作用について, 食品と科学, **11**, 48-58
 - 31) Chuah, A. M., Lee, Y-C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L-J. and Matoba, T. (2008), Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers, *Food Chem.*, **111**, 20-28
 - 32) 西本登志, 前川寛之, 山口智子, 高村仁知, 的場輝佳 (2009), サトイモの調理適性に関する品種・系統間差, 日調科誌 **42**, 129-134
 - 33) 山口智子, 村上恵, 石渡仁子, 高村仁知, 荒川彰彦, 大谷博実, 寺尾純二, 的場輝佳 (1999), 有機質肥料と化学肥料で栽培したキャベツおよびハクサイのラジカル捕捉活性, 日食工誌, **46**, 604-608