

野菜の抗酸化性評価

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	池羽,智子
発行元	養賢堂
巻/号	82巻2号
掲載ページ	p. 271-277
発行年月	2007年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



野菜の抗酸化性評価

—野菜の抗酸化性を日常の食生活で活かすために—

池羽智子*

〔キーワード〕：抗酸化性、野菜、高品質化、栽培方法、調理

1. 機能性研究の背景

昭和 55 年ごろの日本の食生活は、従来の米を中心とした食事に、肉や乳製品を中心とした欧米型食生活がうまく融合し、炭水化物、タンパク質、脂質のバランスは理想的といわれた。しかし、その後さらなる食生活の欧米化が進み、幅広い年齢層で脂質の過剰摂取が指摘されている。さらに、利便性の追求から、外食・中食の利用が増加し、朝食の欠食、家庭での偏食化が問題となっている。食生活の乱れは、がん、心疾患、糖尿病、アレルギー性疾患などの生活習慣病を引き起こす要因になっていると考えられ、食育の重要性が論じられるようになってきた。また、急速な高齢化がすすみ、高齢者は健康への大きな不安を抱えている。こうした世相を背景として、中高年層を中心に、日々の食生活を見直し、薬ではなく食で疾病を予防しようという機運が高まってきた。とくに野菜は多種類のビタミン、ミネラルなどの栄養素を含み、昔から健康に良い食材とされていたが、近年、体調調節、生体防御、疾病予防などの生理的機能性を持つことが明らかとなり、大きな注目を集めている。

すでに、抗酸化性、発がん予防機能性（抗変異原性など）、免疫賦活性、抗アレルギー性、血圧やコレステロールの調節など多岐に渡る野菜の機能性が報告されており、関与する成分の解明も進んでいる（東 1999）。これらは健全な食生活を送るために役立つ情報であり、消費者が野菜の品質を評価するうえで重要な指標になると考えられる。ここでは、主要な生理的機能性の一つである抗酸化性に着目し、抗酸化性の高い野菜の種類および栽培条件や調理・加工による抗酸化性の変化に焦点をあてて報告したい（池羽 2006）。

2. 抗酸化性とは

ヒトは酸素を体内に吸収して、生命活動に必要なエネルギーを得ている。その際、酸素の大部分は二酸化炭素や水に代謝されるが、一部は非常に反応性の高い「活性酸素」に変換される。活性酸素は一重項酸素、ヒドロキシラジカル、スーパーオキサイド、過酸化水素など反応性の高い酸素種の総称であり、ホルモンの合成や体内に侵入してきた病原菌・ウイルスを殺傷するのに必要とされる。しかし、ストレスや喫煙等により、活性酸素が過剰に生成されると、余分な活性酸素が体内の脂質、タンパク質、核酸を攻撃し、酸化損傷を与える。この傷が蓄積することによって、生活習慣病、がん、老化等が引き起こされるといわれている。したがって、過剰な活性酸素の働きを抑制し、生体成分の酸化を抑えることが疾病予防に効果的と考えられる。

この活性酸素の働きを抑えるのが「抗酸化性」という働きであり（図 1），野菜は多くの「抗酸化成分」を含むことが明らかになっている（東 2001）。主に、アスコルビン酸（ビタミン C）、カロテノイド類、トコフェロール（ビタミン E）、ポリフェノール類が野菜に含まれる抗酸化成分であるが、成分によって抗酸化性の強さはまちまちである。そのため、個々の成分測定法に加え、食品の抗酸化性を全体的に

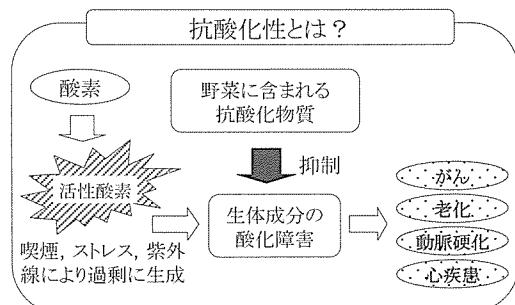


図 1 活性酸素と抗酸化性

*茨城県農業総合センター園芸研究所 (Tomoko Ikeba)

表1 生野菜抽出液の抗酸化性の強さ

非常に高い活性 (>100mgBHA/100g)	やや高い活性 (50~100mgBHA/100g)	やや低い活性 (25~50mgBHA/100g)	低い活性 (<25mgBHA/100g)
ハマボウフウ	レンコン	トマト	ラッキョウ
食用キク	花豆「常陸大黒」(煮豆)	わけぎ	つる菜
イタリアンパセリ	シットウ	ホウレンソウ	ミョウガ
オオバ	ゴボウ	エンサイ	まいたけ
こごみ	摘果メロン	ジャガイモ	タマネギ
ブロッコリースプラウト	キャベツ(紫)	キャベツ	エシャレット
アンタバ	パセリ	ハクサイ	巨峰(実)
ミツバ(根ミツバ)	オクラ	サトイモ	カブ
モロヘイヤ	ターサイ	サツマイモ	ヤマトイモ
ピーマン	ルッコラ	ニンジン	フキ
ベビーリーフ	ミツバ(糸ミツバ)	チンゲンサイ	カボチャ
	ミズナ	レタス(結球レタス)	花ニラ
	豆苗	パプリカ	
	セリ	菜花	
	レタス(リーフレタス)	トウガン	
	カイワレ	トウモロコシ	
	コマツナ	シュンギク	
欧洲系ブドウ(マリオ)	ヤーコン	レタス(フリルレタス)	
	ナス	バジル	
	ブロッコリー	タマネギ(紫)	
	アスパラガス	イチジク	
ネギ(赤ねぎ)	ニンニク	クリ	
	かき菜	ダイコン	
	ニラ	ニガウリ	
	セロリ	ネギ(白)	
	葉ショウガ		

太字:茨城県の特産野菜。

に測定する方法がいろいろと考案されている。ここでは過酸化脂質が β -カロテンを退色させることを利用した、津志田らの β -カロテン退色法(津志田ら 1994)を用いて抗酸化性の評価を行った。

3. 抗酸化性が高いのはセリ科の野菜とスプラウト類

茨城県の主要野菜や地域特産品など76品目・733検体を、直売所やスーパー等で購入または現地圃場、当研究所内圃場から採取し、生野菜抽出液の抗酸化性を評価した。

抗酸化性の強さを、合成酸化防止剤ブチルヒドロキシアニソール(BHA)量に換算し、大きく4グループに分類して表1に示した。BHA100mg/100g以上の高活性に相当するのはハマボウフウ、食用菊、イタリアンパセリ等11種であった。県の特産品であるオオバ、根ミツバ、ピーマンもこのグループに属した。100g当たりBHA50mg以上100mg未満のやや活性の高いグループにはレンコン、花豆「常陸大

黒」(煮豆)、ミズナ、セリ、欧洲系ブドウ「マリオ」、赤ネギ等29種が含まれた。同様に、やや活性の低い25mg以上50mg未満のグループにはホウレンソウ、ハクサイ、サツマイモ、チンゲンサイ、結球レタス等24種、活性の低い25mg未満のグループにはエシャレット、カブ、タマネギ等12種が含まれた。

科目別にみるとハマボウフウやミツバ、イタリアンパセリなどセリ科の野菜で抗酸化性が非常に高く、オオバ等を加えるといずれも香りの強い野菜であることから、香り成分の多い野菜で抗酸化性が高い可能性が示唆された。また、ブロッコリースプラウトやコゴミ、豆苗などの幼苗や若芽、摘果メロンなどの若い果実に抗酸化性が高い傾向がみられた。レタスでは品種により抗酸化性の強さに違いがみられ、リーフレタスでは比較的抗酸化性が高かったが、結球レタスやフリルレタスでは低かった。キャベツ、ネギ、タマネギは概して活性が低かったが、紫キャベツ、赤ネギ、紫タマネギなど赤色色素を持

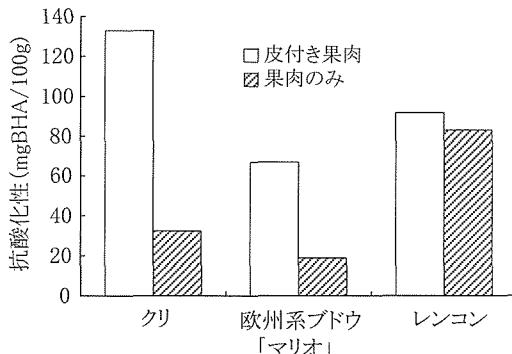


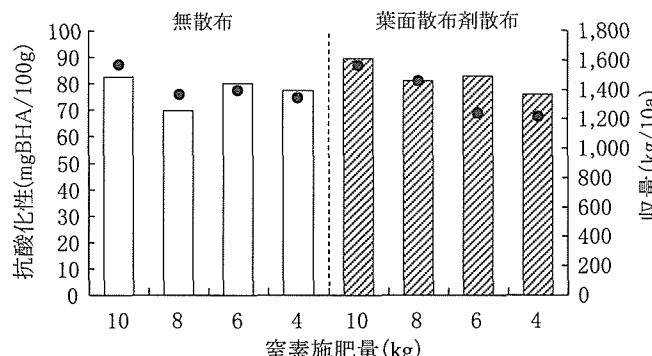
図2 皮の有無による抗酸化性の違い

つ品種では色素を持たないものに比べて抗酸化性が高かった。赤色色素はポリフェノールの1種であるアントシアニンであるが、アントシアニンには活性酸素消去能があるといわれており、この色素により抗酸化性が増加するものと考えられる。

また、ブドウ、クリ、レンコンについては、表皮部と可食部とに分けて抗酸化性を測定した。その結果、いずれも表皮部の抗酸化性が高かった(図2)。植物は紫外線から自分の身を守るために抗酸化成分を生成するといわれており、表皮部や表皮直下に抗酸化成分が多く分布するのはそのためと考えられる。ブドウ「巨峰」は皮の抗酸化性が非常に高いが、通常皮は食べない。皮ごと食べる欧洲系ブドウは、この点でも注目される。クリの渋皮やレンコンの表皮も可食部より抗酸化性が高いので、皮も含めた調理加工を工夫することにより、抗酸化成分を無駄なく摂取することが可能となる。

4. 栽培方法による抗酸化性の変化

ミズナをパイプハウス内(表層腐植質黒ボク土)で栽培し、栽培時の窒素施肥量、遮光、収穫時期、



収穫時間帯、生育ステージが抗酸化性に及ぼす影響を検討した。

(1) 窒素施肥量

窒素施肥量が10a当たり10kg, 8kg, 6kg, 4kgの区を設け、7月31日に播種し、8月25日に収穫した。その結果ミズナの抗酸化性は、わずかではあるが窒素施肥量が多いほど増加する傾向がみられた(図3)。しかし、15kg窒素施肥区では抗酸化性が劣ったことから、10kgを越える過剰施肥では抗酸化性が低下する可能性があると考えられる。

(2) 遮光

7月25日に播種し、8月20日に収穫するまで、シルバー寒冷紗を終日被覆した30%の遮光区と無遮光区を設け、抗酸化性に及ぼす光の影響を調査した。その結果、30%遮光区では無遮光区に比べて約17%抗酸化性が低下した(図4)。

(3) 収穫時期

8月、10月、11月に収穫したミズナの抗酸化性を比較すると、8月収穫で抗酸化性が高かった(図4)。チングンサイの周年栽培で行った結果でも同様であり、夏～秋作は冬～春作より高い活性がみられた。

(4) 収穫時間帯

5:00, 11:00, 16:00の収穫時間帯と抗酸化性との関係を調べた結果、朝収穫よりも夕方収穫で抗酸化性が高かった(図5)。この傾向は曇りの日よりも晴れた日により顕著であり、先の遮光試験の結果と合わせると、光の影響が大きいと考えられる。

(5) 生育ステージ

9月27日に播種し、播種後15日、24日、35日にそれぞれサンプリングして、各生育ステージでの抗酸化性を調査した。その結果、抗酸化性は生育ステージが進むにつれて低下した(表2)。播種後日数の少ない幼植物体では、抗酸化力を持つ成分の含

図3 ミズナの施肥量、葉面散布剤の使用と抗酸化性

縦棒は抗酸化性、丸は収量。
7月31日播種、8月25日収穫。
20種類のアミノ酸を含む葉面散布剤を使用。
400倍液を収穫1週間前と2週間前の2回散布。

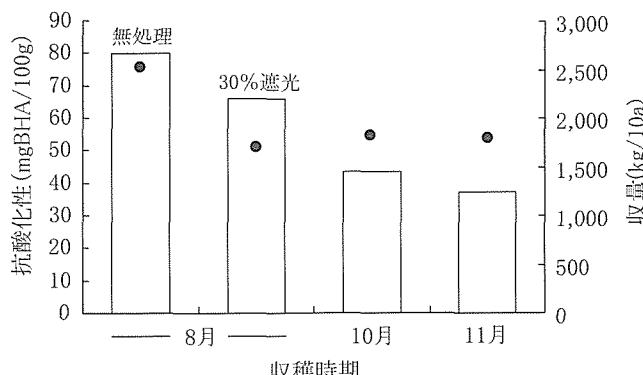


図4 遮光・収穫時期とミズナの抗酸化性
縦棒は抗酸化性、丸は収量。
窒素施肥量: 10kg/10a.
10月, 11月は無遮光.

有率が高く、生育するにつれて成分が希釈されるためと考えられる。

以上のように、抗酸化性は栽培条件の影響を受けることが明らかであり、栽培管理によって向上する可能性がある。しかし、収穫時期、窒素施肥量など抗酸化性が高くなる条件では、最近問題となっている硝酸イオンも多くなる傾向があり、注意が必要である。ただし、光を十分浴びる栽培条件下では、硝酸還元酵素が活性化するため、硝酸イオンは減少することが知られており、逆に抗酸化性は増加することが今回の試験で明らかとなった。したがって、抗酸化性が高く、硝酸イオンの少ない野菜を生産するためには、十分光を当てて栽培することがポイントになると考えられる。

また、播種後日数の少ない幼植物体で抗酸化性が高いことは、スプラウト類の抗酸化性が高いことと一致する。近年、「サラダ野菜」がブームになっているため、スプラウトやベビーリーフなどの幼植物体を商品化することは、抗酸化性の高い野菜を提供する1つの手段になると期待される。

5. 調理・加工による抗酸化性の変化

(1) 短時間の加熱と抗酸化性の変化

加熱調理が一般的なチンゲンサイ、ホウレンソウ等13品目について、加熱調理による抗酸化性の変化を調査した。新鮮物と2Lの沸騰水中で可食部100gを40秒ゆでたものの抗酸化性を比較した。その結果、ほとんどの品目ではゆでることにより抗酸化性は低下したが、セリ、シunjingik、アシタバ等では、抗酸化性が大きく増加する傾向がみられた(図6)。この原因としては、ゆでることによって、成分がより抗酸化性の高い構造に変化するか、また

表2 ミズナの播種後日数と抗酸化性

施肥窒素量	播種後日数	抗酸化性 (mgBHA/100g)	株重 (g)	葉長 (cm)
19kg/10a	15日	134.0	0.4	4.8
	24日	41.1	2.7	18.8
	35日	12.6	29.3	35.9
10kg/10a	15日	159.8	0.4	4.5
	24日	39.2	2.9	20.1
	35日	14.3	22.5	32.7

9月27日播種。

は細胞壁が壊れ、細胞内の抗酸化成分が溶け出しやすくなったためと推測される。西堀ら(1998)も、トマト・ニンジンなどのカロテノイド系野菜やタマネギ・モヤシなどのフラボノイド系野菜は、加熱により活性酸素消去能が低下するが、クロロフィル系野菜は温野菜にても活性酸素消去能が持続すると報告していることから、クロロフィル系色素の働きによる可能性も示唆される。

(2) レンコンの調理時間と抗酸化性の変化

厚さ5mmに切ったレンコン100gを、500mLの沸騰水中で15分、30分、45分、60分間煮込み、レン

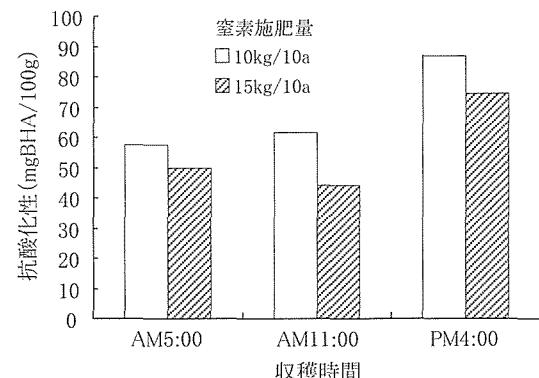


図5 ミズナの収穫時間帯と抗酸化性
9月と12月に調査を行い平均値を使用。

コンと煮汁に分けて、それぞれの抗酸化性を測定した。煮汁は蒸発分を補充しながら、最終的には200mLに調整した。その結果、レンコンはゆでる時間が長くなるにつれて抗酸化性が低下した。とくに加熱直後から15分間の変化が著しく、この間にレンコンの抗酸化性は5割程度まで低下し、その後は緩やかに減少した。これとは逆に、ゆで汁の抗酸化性は最初の15分間で著しく高まり、その後は60分後まで緩やかに増加した(図7)。したがって、レンコンの抗酸化成分は熱には比較的強いものの、水溶性のものが多く、ゆでる時間が長いほど細胞が破壊され、ゆで汁中に流出する量が増えると考えられる。

(3) レンコンの調理方法による抗酸化性の変化

厚さ5mmに切ったレンコンを「煮る」、「炒める」、「炒めてから煮る」、「蒸す」、「油で揚げる」の5通りの方法で調理し、調理後の抗酸化性を測定して、新鮮物の値と比較した。調理時間は15分とし、「炒めてから煮る」方法では、2分間油で炒めてから13分煮た。その結果、いずれの調理方法においても、抗酸化性は著しく低下した。「煮る」、「炒めてから煮る」の抗酸化性は最も低く、「生」の半分以下に低下した。「炒める」、「油で揚げる」など油を使った調理では、比較的高い抗酸化性が保持されたが、それでも「生」の59~66%程度であった(図8)。油を使った調理法では、レンコンの周りに油膜ができ、抗酸化成分の流出が幾分抑えられるためと考えられる。しかし、「炒めてから煮る」方法では油膜の効果はなくなり、ただ煮たものと同等であった。

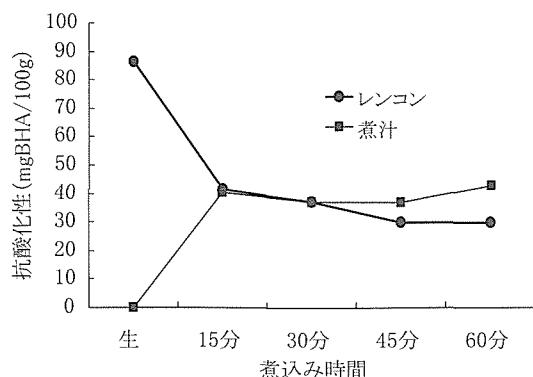


図7 レンコンの加熱時間と抗酸化性

以上の結果から、野菜中の抗酸化性は一部の品目を除き、調理・加工により減少することが明らかとなつた。とくに、調理開始後短時間で抗酸化成分が流出することから、高い抗酸化性を摂取するためには、サラダとして生で食べるか、ごく短時間の調理にとどめる必要がある。また、煮ると煮汁中に抗酸化成分が流出することから、スープや味噌汁などで

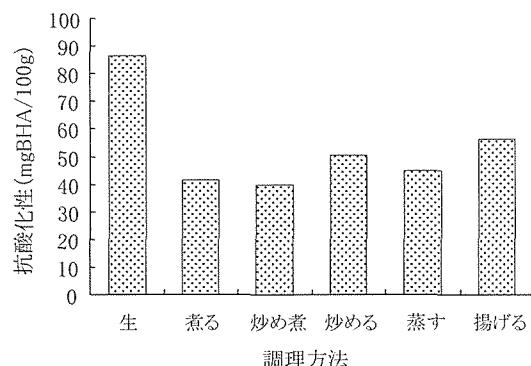


図8 レンコンの調理方法と抗酸化性

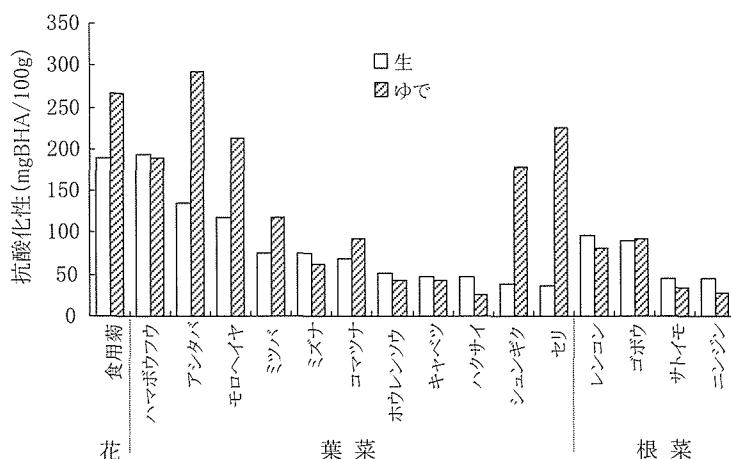


図6 短時間の加熱調理による抗酸化性の変化

ゆで：沸騰水中で40秒間加熱。

汁ごと食べるのも効果的と考えられる。今回の試験では、「油で揚げる」調理も他と時間を合わせるために15分に設定したが、実際はもっと短時間で調理可能である。調理時間を短くすれば、より抗酸化性の保持に効果があると予想される。

6. 機能性研究の今後

ここまで、抗酸化性の高い野菜を検索し、栽培・調理による抗酸化性の変化を検討してきた。しかし、現在のところ、1日にどの程度抗酸化性の高いものを食べれば健康維持に効果があるか、摂取許容となる上限値はどのくらいの量かといった目安は出されていない。野菜に含まれる抗酸化成分は非常に種類が多く、体内への吸収量や代謝プロセスが異なるため、抗酸化性の強さがそれぞれ異なる。また、食品は成分複合系であり、1成分が単独でもたらす効果と他成分が共存する際の効果は異なることも指摘されている。複数の成分を組み合わせたり、実際の食事を想定した機能性評価が今後の課題であり、これらの点を踏まえた摂取量の制定が望まれる。

現在の機能性に関する研究では、試験管・動物試験レベルでの報告は増えているものの、大規模なヒトでの臨床試験はまだ少なく、野菜の機能性成分と、体内への吸収・代謝、健康に対するヒトでの効果については不明な点も多い。今後はよりいっそ医療機関との連携を強くし、大規模で長期的な臨床試験での実証が重要となる。

また、機能性と野菜のおいしさを両立させることは意外と難しい。アントシアニン含量の多いムラサキイモや果肉まで赤いイチゴでは、抗酸化性の高い色素が多い分糖含量が少なく、甘味が薄い傾向にある。抗酸化性はポリフェノールとの相関が報告されているが（津志田ら 1994），ポリフェノールは苦味を呈したり、褐変の要因になることもあるため、野菜の品質を考慮すると、必ずしも多ければよいというものではない。機能性が高いものはよりおいしく、味に満足できるものはより機能性を高める等、品種の改良も今後の課題である。

7. 機能性向上による高付加価値化

抗酸化性の高い品目・品種を選び、あるいは適切に加工することが、機能性向上による高付加価値化への早道である。抗酸化性は品目・品種によって大

きく異なり、また品目によって用途が限られてくるため、品目・品種の選定には注意を要する。最近では、地域の特産物が機能性の面から見直され、全国的に知名度を上げた例も見られる。沖縄県で栽培されている柑橘類のシークワシャーや九州のムラサキイモなどはその典型であり、アピオスなども注目されてきている。機能性の観点から地場野菜や郷土料理を見直し、PRするチャンスもある。

しかし、生鮮物だけでは消費に限度があるため、手軽に食べられる加工品開発の必要性が出てくる。加工により、機能性成分濃度を濃くしたり、甘味などを加えて食べやすくすることが可能であり、高付加価値化が容易となる。「血液さらさら効果」をねらって黒大豆の煮汁をドリンクとして販売したり、機能性成分を含む葉をお茶として飲用するのは良くみられる例である。ただし、販売する際には、薬事法や健康増進法にのっとった表示を行なう必要がある。現在、厚生労働省は保健機能食品制度を導入し、パッケージに食品機能の表示が認められる個別許可型の特定保健用食品と、国が設定した規格基準を満たしていれば栄養機能食品として販売できる規格基準型の栄養機能食品の2つを設定している。機能性を表示してPRするためには、これらをクリアする必要がある。

8. おわりに

すでに、機能性をうたった商品は数多く販売されている。しかし、機能性だけでは、顧客層を長く引きつけておくことは難しい。サプリメントも普及しているが、近年、β-カロテンやイソフラボンなど、サプリメントによる成分の過剰摂取が指摘されており、安全性を疑問視する声もある。また、食生活を省みずにサプリメントに頼るのでは、本末転倒の感がぬぐえない。多種類の野菜をうまく取り入れ、「おいしく」、「手軽」に食べられて、しかも「体に良い」商品に加工することが究極の高付加価値化と考える。多種類の野菜や果物を使った野菜ジュース、手間ひまかけた野菜スープのレトルトなどはおいしさと機能性さらに手軽さを兼ね備えた商品として魅力がある。今後はさらに野菜本来の味と機能性を活かし、家庭ではなかなかできない「手間をかけた一品」や、ファーストフード店の1メニューとして、栄養を補う野菜・果物の商品化が望まれる。

しかし本来なら、利便性の追求にとらわれず、採りたての新鮮な野菜を家庭で調理し、家族みんなで楽しく食べる時間こそ「付加価値」だと考える。農業関係者としては、おいしい食事と豊かな食生活の上に成り立った健康の維持・増進を願うところである。

参考文献

東敬子 1999. 野菜の生理機能と機能性成分. 農業技術 54:325-329.

- 東敬子 2001. 健康増進に有効な抗酸化活性の高い野菜とその成分. 農業および園芸 76(10):3-10.
- 池羽智子・鹿島恭子 2006. 県産野菜の抗酸化性評価と加熱調理による変化. 次城農総七園研研究報告 14:27-33.
- 津志田藤次郎・鈴木雅博・黒木征吉 1994. 各種野菜類の抗酸化性の評価および数種の抗酸化成分の同定. 日食工誌 41(9):23-30.
- 西堀すき江・並木和子 1998. 野菜ジュースのスーパー オキシドアミオンラジカル消去能と加熱処理による変化. 日食科工誌 45:144-148.

外国文献抄録

レタスのカロテノイドやクロロフィルにおける紫外線照射の影響

Caldwell, C. R. and S. J. Britz 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa L.*) cultivars. *J. Food Composition and Analysis.* 19:637-644.

緑色の野菜はカロテノイドやクロロフィルの主な供給源である。カロテノイドやクロロフィルは白内障の発生率を減らすなどの効果があるが、その含量は生育環境によって大きく変化し、また、品種による違いが大きい。本研究ではレタスのカロテノイドやクロロフィルに対する紫外線の影響と品種間差について調べた。

赤葉のレタス (Black Jack, Galactic, Impuls, Dark Lollo Rossa, New Red Fire, Rave, Red Sails, Vulcan) と緑色のレタス (Black-Seeded Simpson, Concept, Crisp and Green, Envy, Marin, Simpson Elite, Two Star, Waldmann's Dark Green) を温室で育てた。それぞれの品種について、UV-A と UV-B の両方を照射した区、UV-A のみ照射した区、何も照射しない区の3処理を行った。照射を9日間行った後収穫し、葉の先端部を液体窒素で凍結乾燥させた。カロテノイドとクロロフィルはHPLCで分析を行った。また、比較として乾燥させていないサンプルも用いた。乾燥させていないサンプル中にはビオラキサンチンとルテインが多く検出されたが、乾燥させたサ

ンプルではビオラキサンチンはほとんど検出されなかった。これはビオラキサンチンが乾燥中に安定性を失うという報告と一致していた。また、緑色のレタス、赤色のレタスのいずれにおいても、品種による各種カロテノイドの含有量の違いがみられた。ルテイン濃度が高いサンプルではペータカロテンの量も多い傾向が見られた。緑色のレタスでは紫外線の照射によってカロテノイドが増えるのに対し、赤いレタスでは減ることがわかった。これは赤いレタスの表皮層に蓄積しているフェノール性物質が紫外線を遮蔽する働きを持っており紫外線の悪影響を受けにくくするためカロテノイドを生成しなくてもよいためと考えられた。紫外線照射によって緑色のレタスではクロロフィル濃度が高まったが、赤いレタスでは低くなった。ルテイン含有量が多いサンプルではクロロフィルa濃度も高い傾向があった。また、赤いレタスより緑色のレタスのほうがフェオフィチン量が多かった。紫外線は光化学系IIのD2タンパクの分解を促し、その結果光化学系IIのクロロフィルなどが分解されるが、緑色のレタスは赤いレタスのように紫外線を遮蔽できないため、フェオフィチン量が増加したと考えられた。これらの結果より、選ぶ品種によって得られる栄養素量が変わることが示された。

(東京大学大学院農学生命科学研究科園芸学研究室
井迫 希)