総 説

カットキャベツの生理・生化学

(平成6年度日本食品工業学会奨励賞)

永 田 雅 靖*

Physiology and Biochemistry of Shredded Cabbage

Masayasu NAGATA*

** National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants
and Tea, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries,
360 Kusawa, Ano-cho, Age-gun Mie 514-23*

カット野菜は、野菜の可食部のみを洗浄、切断、調製した野菜の一次加工品である。カット野菜という商品形態は、鮮度保持の難しい野菜を、さらに切り刻んでいるという点で、流通にとって最悪の条件であると言っても過言ではない。それにもかかわらずカット野菜が盛んに使われている現状は、外食産業や一般消費者がカット野菜という商品の利便性、簡便性に強い要求を持っていることを示している¹⁾。

カット野菜は、ファミリーレストランやファーストフードなどの外食産業や惣菜産業の伸びに伴って業務用の需要が増加してきた。その一方、スーパーマーケットやコンビニエンスストアで売られている消費者向けのパック詰めカット野菜の需要も増加している²⁾。カット野菜の生産、消費についての詳しい統計は取られていないが、その生産額は、1991年で750~850億円と見積られている³⁾。1991年に青果物カット事業協議会が事業者を対象に実施したアンケートによると、カット野菜に用いる量が最も多い原料野菜はキャベツで、ついでレタス、タマネギ、ゴボウの順となっている²⁾。

カット野菜の鮮度低下現象には、しおれ、褐変、異臭の発生、生菌数の増加、栄養成分の減少などが含まれる²⁾³⁾。カット野菜の品質変化には、製造方法、包装材料、保存温度などが大きく影響する。これらのことが、レタス^{4)~10)}、キャベツ^{11)~18)}、ニンジン^{19)~24)}、ピーマン^{25)~26)}、

タマネギ²⁷⁾等について報告されている。

カット野菜の製造方法では、野菜の切断に使用する刃物の切れ味が良いほど、褐変などの品質低下が少ない⁵⁾⁶⁾。洗浄も、流水あるいはバブリングしながら洗浄したほうが、褐変が少なく、初期生菌数も抑制される⁶⁾。洗浄水にアスコルビン酸⁴⁾⁶⁾、ソルビン酸⁴⁾、次亜塩素酸ナトリウム⁶⁾⁹⁾、二酸化イオウ⁵⁾、塩素⁵⁾、リン酸塩⁶⁾、ショ糖エステル¹⁵⁾あるいは塩化カルシウム²⁴⁾を加えた場合、初期生菌数は減少するが、それ以外には顕著な品質保持効果は認められていない。洗浄後の適度な脱水は、品質保持に良い影響を与える⁵⁾⁶⁾⁸⁾。また、材料の切断方向の影響や²²⁾²⁵⁾²⁶⁾、低温での風乾処理の影響も報告されている¹⁷⁾。

カット野菜の包装材料では、各種のプラスチックフィルム^{4)~8)11)15)16)20)23)27)}の効果や、貯蔵に適したガス条件¹⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁹⁾²¹⁾も検討されている。その他、減圧包装^{6)~8)28)}、一酸化炭素の注入⁹⁾、エチレンやアセトアルデヒド除去剤¹⁵⁾²⁷⁾の効果も報告されている。また、プラスチックフィルムで包装した場合のガス組成のシミュレーションモデルも研究されている¹⁴⁾。

保存温度はカット野菜の品質保持に最も大きな影響を与える因子で、凍結しない範囲で低いほうが、品質低下は少ない⁵⁾⁷⁾¹¹⁾¹²⁾¹⁸⁾。

これらの結果は、河野・椎名により総説²⁸⁾としてまと

* 農林水産省野菜・茶業試験場 (〒 514-23 三重県安芸郡安濃町草生 360)

められている。

カット野菜の製造以前の問題として、材料に用いる野菜の品質も重要な要因であり、キャベツの場合には、歩留まりや嗜好性のみならず、品質の保持性も品種間で大きく異なっている^{29)~32)}。したがって、鮮度の良いカット野菜を製造し、流通させるためには、使用する品種や栽培の方法³³⁾などの収穫以前の問題（プレハーベスト条件）と、製造方法や流通過程などの収穫後の問題（ポストハーベスト条件）の、それぞれを十分に検討する必要がある。

ここでは、カットキャベツの鮮度低下に伴う生理・生化学的側面を明らかにするとともに、キャベツの成分であるアリルイソチオシアネート (AITC) が、エチレン生成や褐変等の現象を抑制する機構について述べる^{34~36)}。

図 1 シニグリンからアリルイソチオシアネートの生成
(川岸³⁷⁾をもとに作成)

1. カットキャベツの生理

キャベツは収穫した後も呼吸、物質代謝などを続けるひとつの生命体である。そのため、切断などの傷害を受けると、生体防御のための様々な生理反応を引き起こす（傷害反応）。その中には、植物ホルモンのひとつであるエチレン生成量の急激な増加や呼吸速度の上昇、ある種の酵素活性の特異的な上昇等が含まれる。しかし、これらの反応は、どの品種のキャベツでも同じように起こるのではなく、例えばカットキャベツの褐変しやすさでは、明らかな品種間差異がある。大多数の品種では切断後に褐変が急速に進むが、銀力、四季穫などの品種では褐変が非常に起こりにくい³⁰⁾。矢野らは、キャベツに含まれる AITC が、カットキャベツの褐変やエチレン生成を抑制する作用を持つことを明らかにしている²⁹⁾。以下では、カットキャベツの AITC の生成、エチレンの生成、褐変、アスコルビン酸含量の変化と、鮮度低下の関連について述べる。

(1) AITC の生成

キャベツなどのアブラナ科植物はグルコシノレートと呼ばれる一連の配糖体を含んでいる³⁷⁾。グルコシノレートは細胞組織を切断したり、破壊したりすることにより、細胞内に局在するミロシナーゼによって分解され、イソチオシアネート、グルコースおよび硫酸になる（図 1）。キャベツの主な香味物質である AITC は³⁸⁾、シニグリンから生成し、ワサビ様の香気を持つ物質である³⁷⁾。刻んだ時に AITC が多く生成するキャベツほど、エチレン生成や褐変が抑制される³⁴⁾。表 1 に褐変、エチレン生成とキャベツに含まれる AITC 濃度の関連を示す³⁴⁾。

表 1 カットキャベツの褐変、エチレン生成速度と AITC 濃度の関連

品 種	褐変度 (ΔE (Lab))	エチレン生成速度 ($\text{nl} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	AITC 濃度 ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$ F.W.)
銀 力	2.69	0.7	3.20
四 季 穫	3.93	0.9	4.27
秋蒔中早生 2 号	9.00	4.0	0.05
新 A 号	9.75	5.0	0.21
秋 徳	11.74	3.0	0.21
デ リ シ ャ ス	13.69	7.0	0.77
越 の ひ か り	13.70	3.3	0.11
新 夏 秋	15.14	4.1	0.02
寒 取 1 号	15.48	3.5	1.18
秋 暉	16.38	2.3	0.43

(切断して 20℃, 24 時間後の分析値, 矢野ら²⁹⁾)

(2) エチレンの生成

植物は切断などの物理的傷害に反応して、植物ホルモンのひとつであるエチレンを急激に生成する³⁹⁾。エチレンは、さらに傷害反応に関連する酵素の活性を上昇させる働きをする。エチレンの生合成経路は YANG らによって明らかにされているが⁴⁰⁾、アミノ酸の一種であるメチオニンが出発物質となって合成される (図 2)。この経路では S-アデノシルメチオニンから 1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC) をつくる ACC 合成酵素の反応が律速段階とされている。われわれが行った実験によると³⁵⁾、10℃ に置いたカットキャベツのエチレン生成速度は 48 時間から急激に上昇し、72 時間でピークを示した (図 3)。これに対し、100 g あたり 2.5 mg あるいは 5.0 mg の AITC を与えたカットキャベツでは、エチレン生成が強く抑制された。これは、銀力や四季穫など AITC 含量の比較的多い品種 (AITC が 100 g あたりそれぞれ 3.20 mg と 4.27 mg、表 1 参照) でエチレン生成が抑制される現象²⁹⁾ を支持するものである。エチレンの前駆物質である ACC 含有量の増加や、ACC 合成酵素活性の上昇も AITC の添加によって強く抑制された。ACC 合成酵素活性に対する AITC の直接的な阻害効果を検討したところ、100 g あたり 5.0 mg の添加で、無添加の約 30% に酵素活性を抑制した。この結果から、AITC は、エチレン生成に関する酵素の活性を直接的に阻害する作用を示すが、実際にカットキャベツに含まれる濃度で、酵素活性の上昇が抑制されるのは、傷害によるエチレン関連酵素の誘導を AITC が阻害する結果によるものと考えられる³⁵⁾。

(3) 褐変

カットキャベツの褐変は、ポリフェノール類がポリ

図 2 エチレンの生合成経路 (YANG⁴⁰⁾)

図 3 カットキャベツのエチレン生成速度と AITC 処理濃度

キャベツは約 2mm 幅に切断し、AITC の最終濃度が 0 mg (○), 0.5 mg (●), 2.5 mg (▲), 5.0 mg (■) /100 g になるように AITC 水溶液を添加した。カットキャベツの試料は 10℃ に静置して経時的にサンプリングした。

フェノールオキシダーゼ (PPO) によって酵素的に酸化されて、着色する過程である。多くのポリフェノールはアミノ酸であるフェニルアラニンを出発物質として生合成される⁴¹⁾。フェニルアラニンから *trans*-桂皮酸が作られる反応はフェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL) によって触媒されるが、この過程がポリフェノール生合成の律速段階と考えられる。また、PAL 活性や PPO 活性は傷害などのストレスで急激に上昇することも知られている^{42) 43)}。図 4 に褐変に関与する酵素や基質の概略図を示す。カットキャベツの褐変は時間とともに進行したが³⁴⁾、褐変しにくい品種と同程度の AITC を添加した場合には (実験条件は上記と同様)、褐変の進行が抑制された (図 5)。PPO や PAL の活性上昇も AITC によりほぼ完全に抑制された。一方、PPO および PAL 活性に対する AITC の直接的な阻害効果を調べた結果、AITC はキャベツの PPO, PAL の活性をほとんど阻害しなかった。このことは、AITC の作用機構として、酵素活性を阻害するよりも、むしろ傷害によってこれらの酵素が誘導される段階を阻害する可能性を強く示唆している³⁴⁾。そこで、各種の阻害剤とカットキャベツの褐変、

図 4 褐変に関する酵素や基質の概略

図 5 カットキャベツの褐変と AITC 処理濃度 (実験条件は図 3 と同じ)

エチレン生成に対する効果を比較した結果、AITC はシクロヘキシミドなどのタンパク質合成阻害剤と類似した性質を示した³⁶⁾。さらに、AITC 処理したカットキャベツの PAL 酵素タンパク質の量を免疫電気拡散法により測定し、酵素活性との関係を調べた結果、PAL の活性は PAL タンパク質の量に比例していた。したがって、AITC が PAL 活性の上昇を抑制するのは、AITC が誘導による PAL 酵素の合成を阻害するためであると考え

られた³⁶⁾。

以上のエチレン生成と褐変に対する AITC の影響を検討した結果から、AITC を多く含むキャベツをカットキャベツに加工した場合に、褐変とエチレン生成の両方がほぼ完全に抑制される現象は²⁹⁾、AITC が、傷害によって引き起こされるこれらの酵素の誘導を強力に阻害するためであると考えられた^{34)~36)}。

切断直後に生成する AITC が上に述べたようなしくみで、その後のエチレン生成や褐変を抑制するのは一種の自己制御機構として興味深い。今後は、傷害によって活性化される遺伝子の発現と、AITC による発現抑制の分子生化学的機構が徐々に明らかになっていくものと思われる。

(4) アスコルビン酸の代謝

還元型ビタミン C であるアスコルビン酸の含量は、野菜や果実の栄養的品質を示すひとつの指標である⁴⁴⁾。一般的に、野菜に含まれるアスコルビン酸の量は貯蔵に伴って減少するので、アスコルビン酸含量は野菜の鮮度指標として考えられてきた。

一方、われわれは、5℃ から 25℃ の各温度におけるカットキャベツのアスコルビン酸含量の変化を調べた結果^{45) 46)}、10℃ で貯蔵したカットキャベツではアスコルビン酸の量が明らかに増加することを見いだした(図 6)。さらに、タンパク質合成阻害剤(シクロヘキシミド)を添加する実験により、切断という刺激が引き金となっ

図 6 カットキャベツのアスコルビン酸含量と AITC 処理濃度 (実験条件は図 3 と同じ)

てアスコルビン酸の合成・分解に関与する系が誘導されることを確認した。AITC はアスコルビン酸の増加に対して抑制する作用を示した。

切断傷害によりアスコルビン酸の含量が急激に増加する現象は、ジャガイモとサツマイモについて報告されている⁴⁷⁾⁴⁸⁾。アスコルビン酸は活性酸素の消去作用⁴⁹⁾など一種の生体防御物質とも考えられるので、キャベツを含め多くの植物種で、傷害によって合成が促進されていることも考えられる。今後、アスコルビン酸の合成、分解など、代謝に関連する酵素の変化を明らかにして行く必要がある。

2. おわりに

野菜や果物などの青果物は、収穫後も生命活動を続けるので、市場流通のためには、低温などにより品質の低下を抑制する必要がある。さらに、カット野菜の場合には、切断傷害によって、上に述べたような複雑な生理反応が植物組織内で起こるため、鮮度の保持は一層困難となる。しかし、食品産業では、カット野菜に対するコンスタントな需要が見込まれ、多くの先人たちの努力により、今日のように、外食産業のみならず、家庭でもカット野菜が利用されるようになってきた。

鮮度の良いカット野菜を供給するためには、製造技術や、流通技術の確立は必須のものである。そのためにも、生き物としての野菜の性質を明らかにすることは重要である。今後、キャベツ、レタス、ニンジン、タマネギ等多くの野菜で、エチレン生成や褐変、アスコルビン酸代謝あるいはその他にも品質に影響を与える酵素の活性変化が明らかにされ、生理・生化学、さらに分子生物学レベルで、青果物の複雑で巧妙な生命活動のしくみが明らかにされることであろう。その結果として、植物の生理機構に基づいた効率のよい品質保持技術が確立されるものと期待している。

本研究の実施と取りまとめに関して、果樹試験場興津支場・矢野昌充室長、香川大学教育学部・西條了康教授、野菜・茶業試験場・山田市二室長のご指導、ご助言を賜りましたことを深く感謝いたします。また、名古屋大学・川岸舜朗教授、野菜・茶業試験場・平井正志室長、農業生物資源研究所・田中喜之室長、野菜・茶業試験場・篠田徹郎主任研究員、寺見文宏主任研究員、吉川房子職員はじめ、多くの方のご支援とご協力を得ることができましたことを心から感謝いたします。

文 献

- 1) 西條了康・垣内典夫：青果物流通入門，安井秀夫編著（技報堂出版，東京），p. 149（1990）。
- 2) 青果物カット事業協議会：カット野菜の製造・流通技術，（1992）。
- 3) 流通システム研究センター：カット野菜の現状と将来展望，（1991）。
- 4) PRIEPKE, P.E., WEI, L.S. and NELSON, A.I.: *J. Food Sci.*, **41**, 379（1976）。
- 5) BOLIN, H.R., STAFFORD, A.E., KING, A.D.JR. and HUXSOLL, C.C.: *J. Food Sci.*, **42**, 1319（1977）。
- 6) 太田英明・菅原 渉：日食工誌，**34**, 432（1987）。
- 7) 菅原 渉・河野澄夫・椎名武夫・太田英明：日本食品低温保蔵学会誌，**13**, 92（1987）。
- 8) BOLIN, H.R. and HUXSOLL, C.C.: *J. Food Sci.*, **56**, 60（1991）。
- 9) BARRIGA, M.I., TRACHY, G., WILLEMOT, C. and SIMARD, R.E.: *J. Food Sci.*, **56**, 1586（1991）。
- 10) MATOS, M., KE, D., CANTWELL, M. and KADER, A.A.: *Postharvest Biol. Technol.*, **3**, 225（1993）。
- 11) 河野澄夫・小野寺武夫・早川 昭・川嶋浩二・岩元睦夫：食品総合研究所研究報告，**45**, 86（1984）。
- 12) 名和義彦・細田 浩・椎名武夫・伊藤裕朗・黒木 証吉：食品総合研究所研究報告，**50**, 56（1987）。
- 13) 名和義彦・細田 浩・椎名武夫・伊藤裕朗・黒木 証吉：食品総合研究所研究報告，**50**, 65（1987）。
- 14) 椎名武夫・河野澄夫・岩元睦夫：園学雑誌，**56**, 486（1988）。
- 15) 坂根康秀・有田 昇・下川小百合・伊東裕子・箴 島 豊：日食工誌，**37**, 281（1990）。
- 16) 徐 歩前・邨田卓夫：日本食品低温保蔵学会誌，**19**, 111（1993）。
- 17) 阿部一博・高橋 徹：日食工誌，**41**, 43（1994）。
- 18) 椎名武夫・河野澄夫・山下昭道・岩元睦夫：日食工誌，**41**, 94（1994）。
- 19) CARLIN, F., NGUYEN-THE, C. and CHAMBROY, Y.: *Int. J. Food Sci. Technol.*, **25**, 110（1990）。
- 20) CARLIN, F., NGUYEN-THE, C., HILBERT, G. and CHAMBROY, Y.: *J. Food Sci.*, **55**, 1033（1990）。
- 21) BABIC, I., AMIOT, M.J., NGUYEN-THE, C. and AUBERT, S.: *J. Food Sci.*, **58**, 351（1993）。
- 22) 阿部一博・吉村公一・岩田 隆：日食工誌，**40**, 101（1993）。
- 23) 阿部一博・吉村公一：日食工誌，**40**, 506（1993）。
- 24) IZUMI, H. and WATADA, A.E.: *J. Food Sci.*, **59**, 106（1994）。
- 25) 阿部一博・吉村公一・周 燕飛・岩田 隆：日本食品低温保蔵学会誌，**17**, 146（1991）。

- 26) 周 燕飛・阿部一博・岩田 隆：日食工誌, **39**, 161 (1992).
- 27) HOWARD, L.R., YOO, K.S., PIKE, L.M. and MILLER, G.H.JR. : *J. Food Sci.*, **59**, 110 (1994).
- 28) 河野澄夫・椎名武夫：日食工誌, **36**, 159 (1989).
- 29) 矢野昌充・西條了康・太田保夫：園学雑, **55**, 194 (1986).
- 30) 矢野昌充・小濱節雄・西條了康：野菜試験場報告 A, **14**, 103 (1986).
- 31) 矢野昌充・小濱節雄・西條了康：野菜試験場報告 A, **14**, 119 (1986).
- 32) 矢野昌充・西條了康：日本食品低温保蔵学会誌, **13**, 11 (1987).
- 33) 阿部一博：日本食品低温保蔵学会誌, **18**, 180 (1992).
- 34) 永田雅靖・矢野昌充・西條了康：日食工誌, **39**, 322 (1992).
- 35) 永田雅靖・矢野昌充・西條了康：日食工誌, **39**, 690 (1992).
- 36) 永田雅靖・田中喜之・平井正志・西條了康：日食工誌, **40**, 52 (1993).
- 37) 川岸舜朗：日食工誌, **32**, 836 (1985).
- 38) YANO, M. and ITOH, H. : *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **34**, 608 (1987).
- 39) HYODO, H. : The plant hormone ethylene, MATTO, A.K. and SUTTLE, J.C. eds. (CRC Press, Inc., Florida), p. 43 (1991).
- 40) YANG, S.F. : *Hort Sci.*, **20**, 41 (1985).
- 41) 南川隆雄・吉川精一：高等植物の二次代謝研究法 (学会出版センター, 東京), p. 171 (1981).
- 42) MINAMIKAWA, T. and URITANI, I. : *Agr. Biol. Chem.*, **29**, 1021 (1965).
- 43) HYODO, H. and URITANI, I. : *Plant Cell Physiol.*, **7**, 137 (1966).
- 44) 芦田 淳：栄養化学概論 (養賢堂, 東京), p. 307 (1982).
- 45) 永田雅靖・山下市二：園学雑, **60** 別 2, 652 (1991).
- 46) NAGATA, M. and YAMASHITA, I. : *Hort Sci.*, **27**, 651 (1992).
- 47) MONDY, N.I. and LEJA, M. : *J. Food Sci.*, **51**, 355 (1986).
- 48) 大羽和子：家政誌, **41**, 715 (1990).
- 49) 二木鋭雄：活性酸素種の化学, 日本化学会編 (学会出版センター, 東京), p. 178 (1990).

(平成 6 年 6 月 15 日受理)