

青果物の特性からみた包装の重要性

(国研) 農研機構 食品研究部門 食品加工流通研究領域
食品流通システムユニット 永田 雅靖

1. はじめに

一般に、収穫された野菜のうち、直接家庭で消費される量が減る一方で、加工業務用に仕向けられる量は、5割を越えている¹⁾。加工業務用野菜は、サラダ、漬け物、惣菜など様々な形態に加工される。それらの加工原料に求められる特性として、4定（定時、定量、定価格、定品質）というのがある²⁾。これは、加工業者や消費者として望ましいものであるが、その一方で、生育が栽培環境の影響を大きく受ける青果物（植物）の生産者の立場から考えると、リスクを含んだ過酷な要望とも言える。

本稿では、まず、野菜等青果物の特性について概観するとともに、それぞれの品目の特性に合わせた収穫後の対応が重要であるのか、包装との関連で見ていきたい。

2. 野菜等青果物と生育ステージ

野菜として利用される時期と植物の生育ステージの関係を見てみると、発芽して間もないモヤシから、幼茎、展開葉、結球葉、花蕾、未熟果実、完熟果実、肥大根、さらには次の世代の種球になるような鱗茎や地下茎まで様々な植物器官が野菜として食用に供される（図1）³⁾。このように、野菜として利用される生育ステージは、発芽直後から、次の世代につながるものまで、非常に多様で幅広いといえる。その一方で、個々の野菜の収穫適期は食文化の影響を受けるとともに、その幅が半日から数日程度と概して狭い特徴がある。

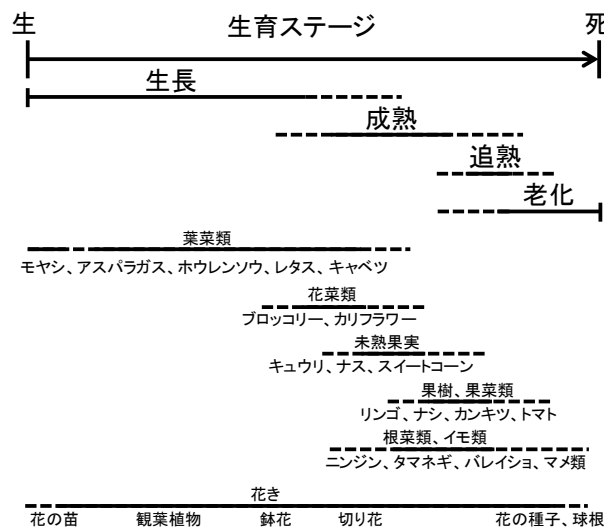


図1 青果物の収穫時期と食用として利用される生育ステージの関係
Watada(1984)³⁾をもとに作成。

野菜は、利用部位から、葉菜類、果菜類、根菜類の大きく3つに分けられる。葉菜類は一般に呼吸速度や表面積が大きいいため水分を失いやすく、日持ち性が悪い。果菜類の中には呼吸速度の大きいものもあるが、表面積が小さいため、葉菜類に比べて日持ち性がよい。根菜類は、さらに呼吸速度が小さいため、一般的に日持ち性がよい。

3. 収穫前後の青果物の変化

青果物は、人為的な収穫という操作によって、栽培から流通へと置かれる環境が大きく変化する(図2)。畑で栽培されている時には、太陽光が葉にあたり、土から根を通じて水と養分を吸収し、空気中の二酸化炭素を吸収して光合成を行っている。一方、収穫によって植物体が畑から切り離されると、個体としての生命を維持するために、その青果物に蓄積された糖などを消費して呼吸を行い、代謝に必要なエネルギーを得ようとする。また、これに伴って、青果物の様々な内容成分が変動する。例えば、ホウレンソウの場合には、貯蔵に伴って、クロロフィルが減少するとともに、ビタミンC含量も低下する。

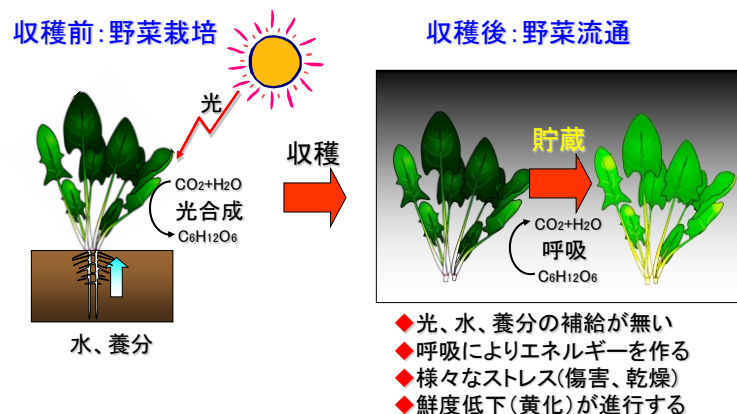


図2 収穫によって激変する野菜の環境

栽培時の、光、水、養分がある環境から、収穫という人為的な操作によって、光、水、養分のない環境へと変化する。さらに、収穫による切断傷害等のストレスによって、鮮度低下が促進される。永田原図。

4. 野菜等青果物の最適貯蔵条件

呼吸等の酵素反応は化学反応の一種であり、反応速度は温度の影響を大きく受ける。従って、貯蔵中の温度は、青果物の品質保持における最も重要な因子といえる。青果物の温度と呼吸速度の関係の概念を図3に示す⁴⁾。この中で、温度が10°C変化した場合の呼吸速度の比を Q_{10} (キューテン)と呼ぶ。図3では、30°Cにおける相対的呼吸速度(棒グラフ)は、20°Cの2倍、即ち Q_{10} は2となる。このことは、30°Cに比べて20°Cでは、呼吸速度が半分のため、品質劣化の速度も半分となる結果、相対的日持ち性は2倍になることを示している(折れ線グラフ)。他の温度間でも1.5~3倍程度の差と考えられる。これらのことから、青果物の貯蔵温度は、凍結しない範囲で、なるべく低いほうが望ましいが、一方で、

カボチャ、キュウリ、サツマイモ、ショウガ、スイカ、トマト、ナス、バレイショ、ピーマン、メロン等、熱帯、亜熱帯に起源をもつ野菜は、低温による生理障害を起こすため、冷やしすぎないことが重要である。野菜の最適貯蔵条件を末尾の別表に示す。

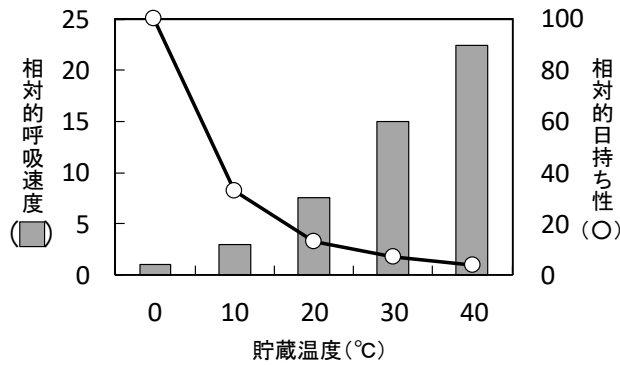


図3 青果物の貯蔵温度と相対的呼吸速度および相対的日持ち性の関係
Kader ら(2002)を改変。

5. スーパー・パーシャルシール鮮度保持包装の例

青果物を低温貯蔵する際に、酸素濃度を下げ、二酸化炭素濃度を上げることによって、呼吸を抑制し、品質変化を少なくする方法を Controlled atmosphere (CA)貯蔵という。すでにリンゴで実用化され、周年供給に役立っている。そのような条件を、包装によって擬似的に実現する方法が Modified atmosphere (MA)貯蔵である。

パーシャルシール包装は、鈴木によって発明された青果物の簡便 MA 技術である⁵⁻⁷⁾。現在では高知県産ニラの95%以上に利用され、小ネギ等にも改良され使用されている。この包装方法は、フィルム価格の安価なポリプロピレンを使いつつ、包装機のセンターシールローラーをパーシャルシール用に交換するだけで、適切なガス条件を実現できるシンプルで優れた方法である。

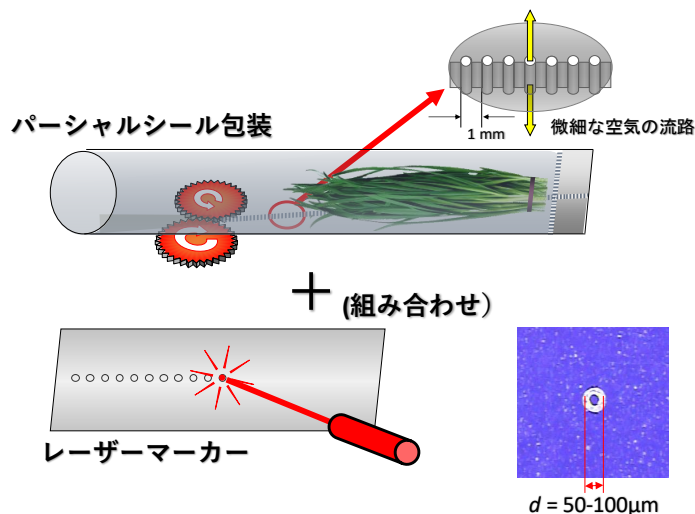


図4 スーパー・パーシャルシール鮮度包装技術

パーシャルシール包装とレーザーマーカによるせん孔でガス透過性を調整する。永田原図。

その一方で、シールローラーのパターンによってガス透過性が決まるため、より大きなガス透過性を必要とする品目には、パターンを変える必要があり、透過性を上げるために接着面積を小さくすると、強度が下がるという理論的限界があった。そこで、パーシャルシール部からのガス交換とともに、フィルム面に設けたレーザー孔からのガス交換を組み合わせるのが、スーパー・パーシャルシール鮮度保持技術である（図4）⁸⁾。

レーザー孔の数を増やすことによって、パーシャルシール単独よりもガス透過性を10倍以上増大させることができた（図5）。この包装により、ニラよりも呼吸量の多いトマト、メロンなどの品目を、現行の航空便と同様の品質で、台湾、香港、マレーシアなどにコストが約10分の1の船便で輸出可能であることを、プロジェクト研究により確認した。

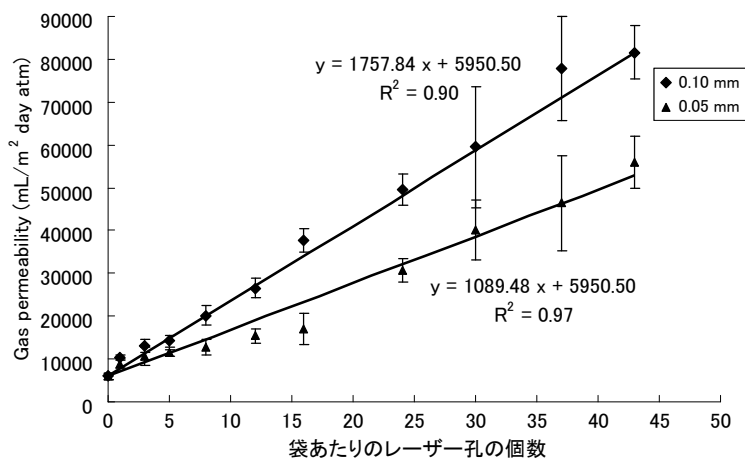


図5 スーパー・パーシャルシール鮮度包装によるガス透過性制御範囲の拡大
 パーシャルシール包装にレーザー孔を付加すると、ガス透過性を10倍以上にできる。
 石川豊原図。

6. ダイコン青変症の包装による抑制

ダイコン青変症は、収穫時には品質に問題がなかったものが、流通中の数日で先端に近い内部が青く変色する現象である（図6）⁹⁾。切断してはじめて変色がわかるため、そのインパクトは大きく、青色は食品には希な色のため、保健所等にも問い合わせが寄せられる。また、野菜のカット工場で見つかると、購入したロットの廃棄や返品により、当日の加工処理計画が狂ってしまうために、原因の解明と、対応技術の開発が強く求められていた。



図6 青変症になったダイコンの切断面
 出荷後数日で、先端部に近い中心部が青く変色する。

当初、生成する青色色素はアントシアニンであると考えられていたが、著者らの予備的試験により、溶媒への溶解性や pH への応答性の違いによって、アントシアニン説は否定された¹⁰⁾。さらに、青色色素が還元剤であるアスコルビン酸によって退色することをヒントに、ダイコンの切断面に酸化剤（1%程度の過酸化水素水）を塗布すると、5~10分程度で、青変症になりやすい品種では切断面が青く変色するのに対し、青変症になりにくい品種では青く変色しないことがわかった。また、種子でも、表皮を取り除いた後に過酸化水素で2時間処理すると、同様に区別できることがわかり、併せて特許化した¹¹⁾。

さらに、同じ原理を応用して、ダイコンの成分を抽出して分画した成分の中から、青色のもとになる物質を単離精製し、機器分析を行った結果、青色色素の原因物質が、4-hydroxyglucobrassicin であることがわかった（図7）¹²⁾。これにより、青色色素がアントシアニンではないことが確定した。

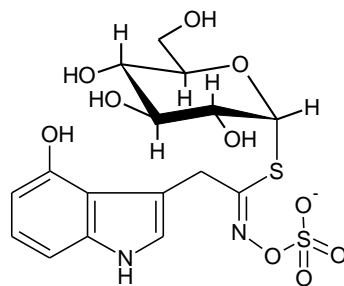


図7 ダイコン青変症の原因物質 4-hydroxyglucobrassicin の化学構造（永田原図）

ダイコン青変症の発生には、品種によるちがいや、貯蔵温度による違いが知られていたが⁹⁾、包装によって酸素濃度を低下させると、青変症の発生が遅延することがわかった（図8）¹³⁾。これにより、ダイコン青変症の発生は、収穫後の酸化的ストレスによるものと考えられた。今後は、生合成関連遺伝子の解明や、品種による違いが、どのような機構で起きているのか明らかにして、青変症になりにくい品種の育成や、収穫後の取り扱いに役立つ必要がある。

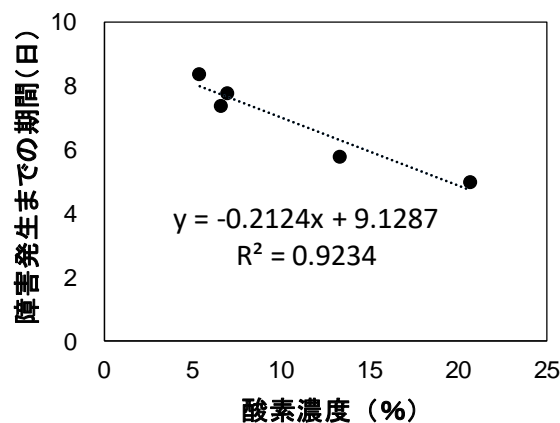


図8 貯蔵5日の包装袋内酸素濃度と青変症等内部障害発生までの日数の関係（永田原図）



7. おわりに

現在の日本においては、ほぼ全量 of 食物が流通を経て消費者に届く中、食品流通が通常どおり機能することがあたりまえになり、私たちが流通のことを意識する機会がほとんどないのが現状である。しかし、食品の流通は、本来の意味でのライフラインであり、それを支える研究開発は重要である。

そもそも論で考えると、農産物の生産と消費に、時間的・空間的に隔たりがある場合、流通は必然的に発生する仕組みであると考えている。即ち、生産と消費に時間的な隔たりがあれば貯蔵が必要であり、空間的な隔たりがあれば輸送が必要となる。農産物（食品）を生産者から消費者に、より良い状態で届けるために、これまで、食品流通の研究開発が果たしてきた役割は大きく、今後ますます重要性が増していくものと考えている。

日本では、通称「コールドチェーン勧告」¹⁴⁾が出された 1965 年以降、青果物の流通に関する本格的な研究が始まり、現在では国内流通、さらに海外輸出、極限的には地球の軌道上にある国際宇宙ステーションまでが食品流通の範囲となった。

このような状況下で、食品包装の果たす役割は、非常に大きいものと考えている。我々がスーパーで購入する青果物の多くは、段ボール等の容器に詰めて出荷されている。また、店頭で包装されていない青果物でも、購入時にはポリエチレン袋に入れたり、購入後に買い物袋に入れて持ち帰るため、生産から消費まで包装と関係なく流通させることは、ほぼ不可能であろう。これらのことから、我々は、「No package, no food.」という座右の銘を掲げ、これまでに開発された包装技術に感謝しつつ、新しい研究に日々取り組んでいる。

参考文献

- 1) 佐藤和憲 (2011) : 業務用需要に対応した野菜産地の販売戦略と組織体制. フードシステム研究, **18**(1), 41-45.
- 2) 永田雅靖 (2002) : キャベツ. 長谷川美典編著, カット野菜実務ハンドブック (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 81-89.
- 3) Watada, A. E., R. C. Herner, A.A. Kader, R. J. Roman and G. L. Staby (1984): Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops. *HortSci.*, **19**(1), 20-21.
- 4) Kader, A. A. (2002): Postharvest biology and technology: An overview. *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (University of California, Agriculture and Natural Resources), pp. 39-47.
- 5) 鈴木芳孝・岡林秀典 (2002) : 青果物の鮮度保持方法, 青果物包装品, 包装方法および包装資材, 特許第 3259166 号.
- 6) 鈴木芳孝・岡林秀典・石川豊・今堀義洋・上田悦範 (2003) : 新簡易包装(パーシャルシール包装)によるニラの鮮度保持技術の開発. 日食保蔵誌, **29**(3), 141-146.
- 7) 石川豊 (2011) : パーシャルシール包装. 食品と容器, **52**(2), 102-107.
- 8) 永田雅靖 (2007) : 青果物のスーパー・パーシャルシール鮮度保持包装技術の開発. 農産物流通技術研究会編, 2007 年版農産物流通技術年報 (流通システム研究センター, 東京),



70-72.

- 9) 池下洋一・石端一男・金森友里 (2011) : 収穫後の貯蔵方法がダイコン青変症の発生に及ぼす影響, 園学研, **10**(別 1), 514.
- 10) 永田雅靖・増田大祐・池下洋一・寺西克倫 (2012) : 青変症ダイコンに含まれる青色色素はアントシアニンではない. 平成 24 年度園芸学会東海支部大会研究発表要旨, 4.
- 11) 寺西克倫・永田雅靖 : ダイコン青変症の発症リスク評価剤及び評価キット、並びに評価方法. 特許第 6172604 号 (2017.7.14)
- 12) Teranishi, K. and M. Nagata (2016): Structure of a Precursor to the Blue Components Produced in the Blue Discoloration in Japanese Radish (*Raphanus sativus*) Roots. *J. Natural Products*, **79** (5), 1381-1387.
- 13) 永田雅靖・竹下栄伸・太田和宏・北澤裕明・中村宣貴・寺西克倫 (2017) : ダイコンの貯蔵に伴う青変症の発生と酸素濃度の関係. 日食保蔵誌, **43**(6), 印刷中.
- 14) 科学技術庁資源調査会 (1965) : 食生活の体系的改善に資する食料流通体系の近代化に関する勧告.



別表 主な野菜の最適貯蔵条件 (永田とりまとめ)

品目名(五十音順)	貯蔵最適 温度(°C)	貯蔵最適 湿度(%)	貯蔵限界 (目安)	エチレン 生成量	エチレン 感受性	低温貯蔵とフィル ム包装の組合せ
アスパラガス	2.5	95~100	2~3週	極少	中	有効
イチゴ	0	90~95	7~10日	少	低	有効
エダマメ	1	データ無し	20日	データ無し	データ無し	有効
オオバ(青シソ)	8	100	2週	データ無し	中	有効
オクラ	7~10	90~95	7~10日	少	中	有効
カブ	0	98~100	4月	極少	低	有効
カボチャ	12~15	50~70	2~3月	少	中	不要
カリフラワー	0	95~98	3~4週	極少	高	データ無し
キャベツ(早生)	0	98~100	3~6週	極少	高	有効
キャベツ(秋冬)	0	98~100	3~4月	極少	高	有効
キュウリ	10~12	85~90	10~14日	少	高	有効
ゴボウ	0~2	データ無し	3~4月	データ無し	データ無し	有効
サツマイモ	13~15	85~95	4~7月	極少	低	有効
サトイモ	7~10	85~90	4月	データ無し	データ無し	穴あき袋
サヤインゲン	4~7	95	7~10日	少	中	有効
サヤエンドウ	0	90~98	1~2週	極少	中	データ無し
シュンギク	0	95~100	14日	少	高	有効
ショウガ	13	65	6月	極少	低	有効
スイカ	10~15	90	2~3週	極少	高	不要
スイートコーン	0	95~98	5~8日	極少	低	有効
セルリー	0	98~100	1~2月	極少	中	有効
ソラマメ	0	90~95	1~2週	データ無し	データ無し	データ無し
ダイコン	0~1	95~100	2~3月	極少	低	データ無し
タケノコ	0	データ無し	30日	データ無し	データ無し	データ無し
タマネギ	0	65~70	1~8月	極少	低	不要
トマト(完熟)	8~10	85~90	1~3週	多	低	データ無し
トマト(緑熟)	10~13	90~95	2~5週	極少	高	データ無し
ナス	10~12	90~95	1~2週	少	中	有効
ニラ	0	95~100	1週	少	中	有効
ニンジン	0	98~100	3~6月	極少	高	有効
ニンニク	-1~0	65~70	6~7月	極少	低	不要
ネギ	0~2	95~100	10日	少	高	有効
ハクサイ	0	95~100	2~3月	極少	中~高	有効
パレिशヨ(未熟)	10~15	90~95	10~14日	極少	中	穴あき袋
パレिशヨ(完熟)	4~8	95~98	5~10月	極少	中	穴あき袋
パセリ	0	95~100	1~2月	極少	高	有効
ピーマン	7~10	95~98	2~3週	少	低	有効
ブロッコリー	0	95~100	10~14日	極少	高	有効
ホウレンソウ	0	95~100	10~14日	極少	高	有効
メロン(ネットメロン)	2~5	95	2~3週	多	中	データ無し
メロン(その他)	7~10	85~95	3~4週	中	高	データ無し
ヤマイモ(ナガイモ)	2~5	70~80	2~7月	極少	低	有効
ヤマイモ(ダイジョ)	15~16	データ無し	6月	データ無し	データ無し	データ無し
レタス	0	98~100	2~3週	極少	高	有効
レンコン	0	98~100	1.5月	データ無し	データ無し	有効

参考 (<http://postharvest.ucdavis.edu/>) 等

注) 実験データ等を参考としているため、随時追加、修正されます。