

野菜の品質保持技術について

千葉大学 大学院園芸学研究科 教授 椎名 武夫

【要約】

青果物は、収穫後も生命活動を維持しているというユニークな性質をもつため、畜肉、魚介類などの生鮮食品と比べても、その品質保持技術は複雑である。はじめに、温度、湿度、ガス組成の主要な3つの環境因子を取り上げ、青果物の代謝や品質変化に及ぼす影響を解説した。

また、この3環境因子の最適条件、重要な品質保持技術である予冷、プラスチックフィルム包装および緩衝包装を取り上げ、技術的背景を含めて解説した。さらに、輸送モードごとの特徴を整理するとともに、輸出促進への貢献も視野に入れた新しい技術開発の事例を紹介する。

1 はじめに

農産物は、収穫後農作物の総称であるが、その中で野菜と果実は、青果物と呼ばれる。この青果物は、畜肉、魚介類などの生鮮食品、牛乳、乳製品を含むいわゆる日配品、冷凍食品（正確には凍結食品）とは異なり、収穫後も生命活動を維持している。そのため、基本的に低温により化学反応を抑えることで品質保持が達成されるこれら食品とは異なり、青果物の品質保持においては、生命活動を維持しているという特徴により、温度以外の環境因子にも配慮した品質保持技術の適用が求められる。また、青果物は、品質変化の速度が極めて大きいことに加えて、品目ごとに品質特性や品質変化特性の違いが大きいという特徴があり、その品質保持においては、品目ごとに最適化された品質保持対策が不可欠である。そのため、青果物の品質保持は、単純ではなく、極めて複雑な技術体系に立脚している。

本稿では、青果物の品質保持に関する基本的な事項、輸送モードと呼ばれる輸送に利用される機関の種類（トラック、鉄道、船舶）を踏まえた品質保持技術の現状、および輸出対応を含む品質保持技術の開発動向などについて解説する。

2 環境要因と青果物の品質変化^(※1)

食品の変質は、その原因により①生物学的変質、②化学的変質、③物理的変質に分類される。青果物は、組織が柔らかい、水分含量が高い、収穫後も呼吸・蒸散などの生活生理を営んでいる、などの特徴を持っている。従って、他の食品に比べ流通環境要因の影響を強く受けると同時に、1つの要因がもとで自触媒的に他の要因の悪化をもたらし品質低下が進行する。

以下に、品質低下に関わる環境要因として、温度、湿度、ガス組成を取り上げ、青果物の品質変化に及ぼす影響と適正条件について述べる。

(1) 温度

青果物は、収穫後も光合成によって獲得・蓄積した有機化合物を基質^(注1)として呼吸を行い、個体を維持するためのエネルギーを獲得している。青果物の呼吸基質として最も一般的な糖のうち、ブドウ糖（グルコース）が基質となり酸素が十分にある条件下で完全分解される場合、その反応は以下のように示される。



ここで、Eは、生成するエネルギーを示す。

すなわち、1モル^(注2)のグルコースが6モルの酸素と反応し、6モルの二酸化炭素、6モルの水、686キロカロリーのエネルギーを生じる。実際には、アデノシン二リン酸（ADP）、アデノシン三リン酸（ATP）、リン（Pi）が関与し、左辺に38ADP + 38Pi、右辺に38H₂O + 38ATPが追加された反応であり、約40%のエネルギーがATPとして獲得される。

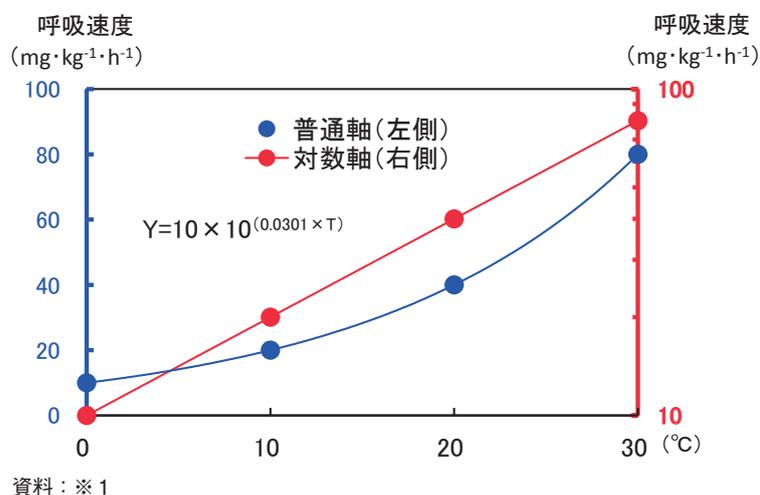
式（ア）から、呼吸は、二酸化炭素の排出量、酸素吸収量、発熱量などによって検出できることが分かるが、測定の容易さなどから二酸化炭素の排出量として測定されることが多い。この場合、呼吸に利用され

ている基質の種類などに関する情報は得られないものの、青果物の代謝活性の総体を知ることができる。すなわち呼吸速度は、①青果物における生化学反応の総体を示す、②その大小が青果物の品質劣化の遅速と密接に関連する、③ガス環境を制御する品質保持においては不可欠な物性値である、などの理由から非常に重要である。

多くの場合、化学反応の速度は、ある温度範囲では温度が高いほど大きい。絶対温度の逆数を横軸（普通軸）にとり、反応速度を縦軸（対数軸）にとると右下がりの直線関係が得られ、その関係はArrhenius式として知られる。一方、摂氏温度（℃）と青果物の呼吸速度の関係を片対数グラフにプロットすると両者の間には直線関係が得られる。この直線関係については、Goreが1911年に提唱している。なお、青果物流通のように限定された温度範囲（絶対温度で270~310K）では、温度あるいは絶対温度の逆数と呼吸速度との間には指数関係が成立するため、Arrhenius式とGore式とは、ほとんど同じ意味を持つ。

図1に、温度と青果物の呼吸速度の関係を模式的に示した。図1から呼吸速度は、

図1 温度と青果物の呼吸速度（Q₁₀が2.0の場合）



0℃で10、10℃で20、20℃で40、30℃では80となっており、10℃の温度上昇で呼吸速度が2倍になっていることが分かる。温度が10℃上昇することによって呼吸速度が何倍になるかを示すのが呼吸の温度係数(Q₁₀)である。

従ってこの場合、Q₁₀は、2.0ということになる。図1の右側縦軸は対数軸で示してあるが、呼吸速度を対数軸で示すと温度Tと呼吸速度Qとの間には直線関係があり、これがGore式で、 $Q = a \times 10^{b \cdot T}$ で示される。定数a、bは、青果物の種類によって異なる。Q₁₀は、呼吸速度がGore式に従う場合、式から $10^{b \cdot 10}$ として自動的に求められ、式に従わない場合であっても10℃の温度差における呼吸速度の比として求めることができる。

呼吸速度に限らず化学反応の速度の温度係数Q₁₀は、およそ2～4の範囲にあり、温度を10℃低くすることによって、その速度を2分の1から4分の1に抑えることが可能である。一般に、呼吸活性が高いほど品質劣化は急激であり、低温にすることにより品質変化が抑えられる。

すなわち、青果物の品質保持においては品温を下げるのが非常に重要である。表1に青果物の呼吸速度に及ぼす温度の影響、Gore式の定数a、b、ならびにQ₁₀を示す。

ところで、青果物は凍結すると細胞が破壊され、融解後急激に品質が低下する。また、きゅうり、なす、ピーマンなどの野菜や、バナナ、マンゴー、アボカドなどの果実では、凍結温度以上の温度でも代謝異常による障害、いわゆる低温障害が発生する。従って、凍結や低温障害の発生温度より高い温度で、できるだけ低温に保つ必要

がある。

注1：生化学で、酵素が特異的に作用し反応をおこす物質の総称。

注2：モルは国際単位系(SI)における物質量の単位で、SI基本単位の一つ。モルは、0.012キログラム(12グラム)の炭素12の中に存在する原子の数と等しい要素粒子の物質量である。

(2) 湿度

青果物は、水分含量が80～95%程度と高く、環境湿度が低い場合、水分蒸散が起こる。青果物の水分蒸散は、質量減少による直接的な損失のみでなく、新鮮さを表す張りや光沢の消失、しわの出現など外観上の品質低下を引き起こす。一般に、水分蒸散により5%の質量減少が生じると商品性の限界に達するといわれている。従って、青果物の品質保持においては水分の蒸散をできるだけ抑えることが重要である。

加藤ら^(※2)は、各種の野菜について蒸気圧差と質量減少率との関係を調べている。それによると、図2に示すように、ほとんどの野菜で蒸気圧差と質量減少率が直線関係にある。この図を利用して、ある温湿度条件下(蒸気圧差)に置かれた野菜が、商品限界とされる5%の質量減少を生じるまでの時間を調べることで、その野菜の品質保持期限の推定が可能である。

(3) ガス組成

青果物の保存環境ガス組成を空気中に比べ低酸素、高二酸化炭素条件にすることにより、呼吸や有用成分の分解が抑制され、品質変化を抑制することができる。保存ガス環境を青果物の品質保持に適した条件に制御する貯蔵方法がCA貯蔵(Controlled Atmosphere Storage)である。一方、

表1 野菜の呼吸速度定数とQ₁₀

品目	温度 (°C)						呼吸速度定数 ^(注)		Q ₁₀
	0	4.5	10	15.5	20.5	26	a	b	
アーティチョーク	30	43	77	111	184	223	31.4	0.0349	2.23
アスパラガス	54	96	197	244	388	550	63.5	0.0379	2.39
いんげん	20	35	58	93	130	193	22.7	0.0372	2.35
もやし	23	42	96	—	—	—	22.7	0.0622	4.19
ビーツ (葉なし)	6	10	13	20	—	—	6.3	0.0327	2.12
ビーツ (葉付き)	11	14	22	25	40	—	11.0	0.0264	1.83
いちご	15	20	72	82	149	190	16.2	0.0448	2.80
ブロッコリー	20	35	81	174	299	—	19.9	0.0587	3.87
メキャベツ	20	35	74	100	138	—	22.7	0.0410	2.57
キャベツ	5	11	18	26	39	56	6.3	0.0385	2.43
ニンジン (結束)	15	20	31	40	71	—	14.5	0.0318	2.08
にんじん (結束)	27	38	47	81	104	—	14.5	0.0318	2.08
カリフラワー	18	21	34	46	81	112	16.0	0.0324	2.11
セルリー	6	10	24	34	64	—	6.3	0.0496	3.13
セルリアック	7	15	25	39	50	—	8.5	0.0406	2.55
きゅうり	—	—	26	29	31	37	20.6	0.0094	1.24
エンダイブ	45	52	73	100	133	200	41.9	0.0251	1.78
にんにく	9	21	20	22	19	—	11.2	0.0124	1.33
ケール	22	41	78	138	226	—	23.2	0.0494	3.12
コールラビ	10	16	31	49	—	—	10.2	0.0453	2.84
リーキ	15	25	60	96	110	113	19.2	0.0356	2.27
結球レタス	12	17	31	39	56	82	12.3	0.0324	2.11
リーフレタス	23	30	39	63	101	147	21.2	0.0317	2.08
カンタロープメロン	6	10	15	37	55	67	6.0	0.0440	2.76
ハネデューメロン	—	4	8	14	24	31	2.9	0.0417	2.61
すいか	—	4	8	—	21	—	2.3	0.0478	3.01
マッシュルーム	36	71	100	—	290	—	39.4	0.0425	2.66
たまねぎ	3	4	8	11	17	28	2.8	0.0383	2.42
葉たまねぎ	21	28	49	91	129	154	21.3	0.0359	2.28
オクラ	—	56	91	146	261	345	38.2	0.0381	2.40
パセリー	35	65	125	164	211	308	43.4	0.0347	2.22
絹さや	39	66	93	191	303	360	41.4	0.0390	2.45
グリーンピース	61	88	—	—	453	—	58.9	0.0430	2.69
ピーマン	—	10	14	23	44	55	6.5	0.0369	2.34
ばれいしょ (未熟)	—	12	18	23	32	—	9.4	0.0255	1.80
ばれいしょ (成熟)	—	6	9	9	12	—	5.2	0.0173	1.49
二十日だいこん (葉付)	16	20	34	74	130	176	14.0	0.0440	2.75
二十日だいこん	6	10	16	32	51	75	6.1	0.0435	2.72
ルバーブ	11	15	25	40	49	—	11.0	0.0332	2.15
タチチシャ	—	21	36	45	69	108	15.2	0.0323	2.10
ルタバガ	4	8	15	20	41	—	4.4	0.0467	2.93
ほうれんそう	21	47	110	179	230	—	25.5	0.0514	3.27
バターナッツ (かぼちゃ)	—	—	—	—	—	94	—	—	—
ペポかぼちゃ	13	17	35	83	91	—	11.9	0.0468	2.94
スイートコーン	41	63	112	163	290	359	43.3	0.0375	2.37
かんしょ (予措前)	—	—	—	29	—	64	9.1	0.0324	2.11
かんしょ (予措後)	—	—	14	22	—	—	6.2	0.0357	2.28
トマト (緑熟)	—	7	15	22	35	43	5.3	0.0375	2.37
トマト (成熟)	—	—	15	27	34	41	8.6	0.0276	1.89
かぶ	8	10	16	23	25	—	7.9	0.0266	1.84
クレソン	21	47	106	171	325	393	26.5	0.0497	3.14

資料：※1

注：Gore式： $Q=a \times 10^{b \cdot T}$ の定数 a, b

ppm、日本なし、かきで0.5～1 ppmの濃度で、処理時間12～24時間の処理条件が必要とされ、国内では2012年産のりんごにおいて本格的に利用が開始されており、長期貯蔵による有利販売に役立っている^(※3)。

1-MCPは、国内の青果物流通にも大きな変化をもたらす可能性を持っており、今後の利用動向が注目される。

3 青果物の品質保持技術

(1) 温湿度・ガス組成制御による品質保持

2で示したように、青果物の品質保持には、低温、高湿度、CAガス条件（低酸素、高二酸化炭素）、低エチレンが適している。しかし、青果物の保存性には、青果物自身の品質変化以外に、微生物の増殖などが影響する。従って、青果物の適正保存条件は保存試験によって求められる。これまでに実験的に求められている野菜のCA貯蔵条件と貯蔵可能期間を表2^(※4)に示す。

表2 野菜のCA貯蔵条件と貯蔵可能期間

種類（品種・系統）	温度（℃）	湿度（％）	環境気体組成		貯蔵可能期間
			O ₂ (%)	CO ₂ (%)	
いちご（ダナー）	0	95～100	10	5～10	4週
トマト	6～8	—	3～10	5～9	5週
露地メロン（札幌キング）	0	—	3	10	30日
ほうれんそう	0	—	10	10	3週
さやえんどう	0	95～100	10	3	4週
レタス	0	95～100	10	4	2～3カ月
はくさい	0	90	3	4	4～5カ月
にんじん	0	95	10	6～9	5～6カ月
にんにく	0	85～90	2～4	5～8	10～12カ月
ながいも	3～5	90～95	4～7	2～4	8～10カ月
ばれいしょ（男爵）	3	85～90	3～5	2～3	8～10カ月
〃（メークイン）	3	85～90	3～5	3～5	7～8カ月

注：※4

(2) その他の重要な品質保持技術

ア 予冷

予冷（Precooling）は、「輸送あるいは冷蔵する前にある所定の温度まで冷却すること」であり、低温流通（コールドチェーン）のためには不可欠な処理である。予冷には、通風式予冷、真空式予冷、冷水式予冷があり、青果物に適した方式が選ばれる。予冷の所定温度は、適正保存温度、予冷所要時間、輸送方式および距離などにより決定することになる。

通風冷却（Air cooling）は、冷たい空気を産物に直接にあるいは間接に接触させて、両者間の熱伝達によって冷却する方法で、通風式と自然対流式があるが、予冷には、通常、通風式が利用される。表3に予冷の種類と特徴を示した。通風式予冷は、強制通風予冷、差圧通風予冷に大別できる。差圧通風予冷は、青果物の配置方法、通風形式などにより、中央吸込式、壁面吸込式、トンネル式、チムニー式などに分類される。差圧通風予冷は、冷却速度が大きいという長所の反面、積み付

けが煩雑になり労力を要するといったことが原因して、一時期急激に施設数が増加したが、その後は減少している。

真空冷却は、産物の周囲の気圧を下げ、産物自体の持つ水分の蒸発を活発にして、水が蒸発する際に必要とする気化熱（蒸発潜熱）を産物から奪うことにより冷却する方法である（写真1）。真空冷却は、迅速な予冷が可能、均一な予冷が可能、清浄な予冷が可能（冷水冷却で懸念される微生物による汚染などの心配がない）などの長所がある。

一方で、冷却原理上、対象品目が水分蒸発のしやすいものに限定される、水分蒸発が避けられない（初期品温と冷却目標温度の差にほぼ比例）、といった短所もある。このような理由から、真空冷却は、質量に対して相対的に表面積が大きく、産物表面

（蒸発面）からの水分蒸発が比較的容易に起こるレタスなどの葉菜類の予冷に主に用いられる。なお、最近では、こかぶ、だいこんなどの根菜類でも実施されている例があるが、その冷却効果は限定的である。



写真1 真空冷却装置の例
（左側の台車ごと青果物が右側の真空チャンバに収納され冷却が開始される）

表3 予冷の種類と特徴

予冷の種類	通風式予冷		真空式予冷	冷水式予冷
	強制通風予冷	差圧通風予冷		
冷却方法の特徴	冷気を予冷庫内に吹き出し、段ボール箱などの容器の周囲に冷気を循環させて冷却する方法。	空気の圧力（負圧）差を利用し容器内に強制的に冷気を通し、産物と冷気を直接接触させ冷却する方法。	産物の周囲の気圧を下げ、産物自体の持つ水分の蒸発を活発にして、水が蒸発する際に必要とする気化熱（蒸発潜熱）を産物から奪うことにより冷却する方法。	冷凍機で作った低温水などを産物に散水するか、産物を低温水に浸漬して冷却する方法。
要する時間、長所	冷却に半日～1日あるいはそれ以上を要する。	冷却速度が大きく、冷却に要する時間は強制通風予冷の約4分の1の3～6時間程度に短縮される。	きわめて迅速な予冷が可能（冷却に要する時間が30分程度）、均一な予冷が可能（品温むらが生じにくい）、清浄な予冷が可能。	通風式より冷却時間が短縮されるが、その程度は産物の熱特性と伝熱寸法に依存する。
短所	庫内に冷却死角が出やすい。	積み付けが煩雑になり労力を要する。	冷却原理上、対象品目が水分蒸発のしやすいものに限定される。	浸漬水の汚染とその蔓延、濡れによる微生物増殖の懸念、段ボール箱の強度低下など。
用いられる野菜	野菜全品目	野菜全品目	レタスなどの葉菜類	根菜類（洗浄における副次的効果）

資料：筆者作成

イ プラスチックフィルム包装

従来、青果物の鮮度保持包装は水分蒸散の抑制を目的としたものがほとんどであっ

た。この場合、透湿度（水蒸気の透過性）の低いフィルムが使用され、その結果、包装内が過湿状態となり包装フィルム内面に

結露が生じるという問題があった。昭和56年にフィルム内面への結露防止を目的とした防曇フィルムが開発され、中身がよく見えるため商品性向上につながることから、ほうれんそうをはじめとする各種野菜に普及していった。

MA包装 (Modified Atmosphere Packaging, MAP) は、青果物の呼吸による酸素の消費および二酸化炭素の生成と、包材を通してのガスの移動をうまくバランスさせることによって、包装内を品質保持に適したガス条件に維持する包装手法である。ところで、通常MA包装に使用されるプラスチックフィルムの水蒸気透過性は、加工食品の防湿包装に使用されるフィルムのそれに比べてかなり大きい。しかしながら、青果物からの蒸散あるいは呼吸によって発生する水蒸気により、MA包装内は高湿度条件となる。すなわちMA包装は、包装内の適正ガス組成の創出と高湿度維持を特徴とする品質保持包装である。

MA包装においても、包装内の湿度が高くなり過ぎる過湿や、結露の発生が問題となる事例がでてきたため、最近、結露が生じにくいMA包装フィルムが開発された。このフィルムの出現により、従来、過湿によるデメリットが大きく利用されなかった青果物へのMA包装の適用が進んでいる。

ウ 緩衝包装

緩衝包装は、衝撃に対する対策と、振動に対する対策に大別される。

まず、衝撃に対する対策であるが、一般的には、一回の衝撃で損傷を生じないように緩衝材の種類や厚さが決められる。「包装及び製品設計のための製品衝撃強さ試験方法」(JIS Z 0119) においては、衝撃

試験機を用いて得られる、「速度変化」と「最大整形加速度」の2パラメータによるダメージバウンダリーカーブに基づいて、緩衝材の設計が行われる。

一方、小さな振動加速度であっても、内容物には打撲、折れ、擦れといった物理的な破損が生ずる。これら物理的損傷が、物品に反復して作用する力により疲労破損によって生ずるといった概念を導入すれば、蓄積疲労に関する線形則によって、各種包装食品の耐振動性や緩衝包装の性能を定量的に評価することが可能となる。

いま、一定の大きさの外力 p が物品に反復して作用する時、破損に至るまで許容しうる振動の総サイクル数 N との関係は、

$$N \cdot p^\alpha = \beta \dots\dots\dots (イ)$$

で与えられる。(イ)式は、応力(S)と損傷までの回数(N)の関係を示すことから、 $S-N$ 曲線と呼ばれる。外力 p は作用する振動加速度 G に比例するから、 G と N との関係も新しい β を用いて同様に次式で表される。

$$N \cdot G^\alpha = \beta \dots\dots\dots (ウ)$$

ただし、 α 、 β は物品に固有の定数であって、 α が大きいほど物品の破損は振動加速度の大きさに影響されやすく、かつ β が大きいほど同一の加速度下で振動に対する耐性が大きいと判断できる。

ところで、輸送中に物品に加速度 G の振動が n 回作用したとき、損傷の程度を示す損傷度 D を次式で定義する。

$$D = n/N \dots\dots\dots (エ)$$

ここで、 $n < N$ すなわち $D < 1$ の場合、物品は破壊に至らず、 $n \geq N$ すなわち $D \geq 1$ の場合、物品は破損に至り商品価値を失ったとする。

「包装貨物－振動試験方法」(JIS Z 0232:2004年)において、ランダム振

動および正弦波掃引試験を用いた振動試験方法が規定されている。これは、自ら作成した試験条件あるいは規定の振動条件で加振を行い、損傷の有無を確認する試験方法である。

一方、個別品目や輸送条件ごとに、最適な緩衝包装設計を実施することが可能な、「輸送シミュレーション法」が開発されている。輸送シミュレーションは、対象包装品におけるS-N曲線と、実測した輸送振動条件から、振動試験機を用いて輸送中の損傷を等価に再現する手法である。実輸送を実施することなく、室内で振動処理を行った後の損傷程度から、緩衝包装の適否判定が可能であり、青果物を含む食品の緩衝包装設計に適用されている^(※5)。さらに、ランダム振動に対応した、新たな輸送シミュレーション法の開発も進められている^(※6)。

4 輸送モードと品質保持技術

(1) 青果物の出荷と輸送モード

収穫後の青果物は、調製、清浄化、選別、予冷、包装、箱詰めなどの工程を経て出荷される。出荷先は、卸売市場、量販店の物流センター（Distribution Center, DC）、直売所、青果物加工業者などである。小売販売される青果物は、卸売市場経由では卸売市場の仲卸業者や買参人により、DC経由では運営主体により、それぞれ分荷され、個別の小売店へと配送される。

青果物の産地から広義の市場へのお荷には、通常、貨物自動車（トラック）が利用されるが、幹線の輸送には、鉄道や船舶が一部で採用されている。輸送に利用される機関の種類（トラック、鉄道、船舶）を輸送モードと呼ぶ。トラック輸送偏重の状態から、鉄道や船舶による輸送に切り替える

行為がモーダルシフトであり、環境負荷のより少ない輸送への切り替えを目的としている。なお、幹線輸送に鉄道と船舶を導入しても、ドアツウドアの輸送を実現するためにはトラックの利用が不可欠である。そのため、モーダルシフトが実現した輸送は、複数の輸送モードが組み合わさった、マルチモーダルとなる。

ところで、卸売市場流通の青果物輸送のモーダルシフトにおいては、フェリーや貨車の運行時間が市場受入時間とマッチングすることが不可欠である。また、生鮮品の場合、輸送モードの変更に伴って品質に差が生じる可能性があり、その点を加味した輸送システムの評価が不可欠である。

(2) トラック輸送と品質保持

青果物の輸送には、温度管理が可能な冷凍冷蔵車の利用が望ましい。ただし、冷凍冷蔵車は、積載した大量の青果物の品温を低下させるほどの冷却能力を持たないため、青果物の予冷が必須であることに注意が必要である。併せて、一貫した低温流通（コールドチェーン）のためには、品目に合わせた適切な温度管理、積載前のバン（荷室）の冷却、ドックシェルターの利用、目的地における荷卸時刻の調整なども必要となる。

輸送中の振動衝撃による青果物の損傷防止のためには、道路や車両の改善に加えて、緩衝設計手法、緩衝包装資材の開発、高度化が必要である。

(3) 鉄道コンテナ輸送と品質保持

鉄道コンテナ輸送における品質保持対策としては、クールコンテナの利用が挙げられる。また、保冷コンテナ、ドライアイスの利用なども行われている。日本貨物鉄道

株式会社（JR貨物）の「平成28年度事業計画」の概要^(※7)によれば、鉄道貨物輸送は2014年度3031万トン、2015年度3132万トン（事業計画）と伸びを示しており、トラックドライバー不足などに伴いモーダルシフトの流れが顕在化する中、重要な社会インフラとして鉄道貨物輸送への期待は一層高まる、としている。鉄道輸送へのモーダルシフトには、環境負荷の低減とドライバー不足の解消という2つ役割が期待されている。

（4）船舶輸送と品質保持

生鮮物の海上輸送に用いられるのが冷凍コンテナ（リーファーコンテナ）で、マイナス25～プラス25℃の温度範囲を0.1℃単位で任意の温度設定が可能であり、ほとんどの青果物は冷凍コンテナによる輸送となる。冷凍コンテナでは、庫内環境の均一化のための床面吹出しが採用されている。最近、高精度温度制御が可能で消費電力を削減できる、2段圧縮・インバーター式冷凍システムが開発されている^(※8)。また、ガス環境を制御するCAコンテナなども開発されているが、特殊コンテナ利用では、帰り荷の確保によるラウンド利用を推進することがカギとなる。

5 輸出対応を含む新たな技術開発^(※9)

日本からの輸出青果物のほとんどは高級品として取り扱われているため、現在の輸出市場を想定した場合、輸出向けに生産された高品質青果物の品質を高度に維持して相手先に届けることが、極めて重要な課題である。これまで、青果物輸出における品質管理技術について十分な研究開発がなされているとは言えず、新たな技術開発が求

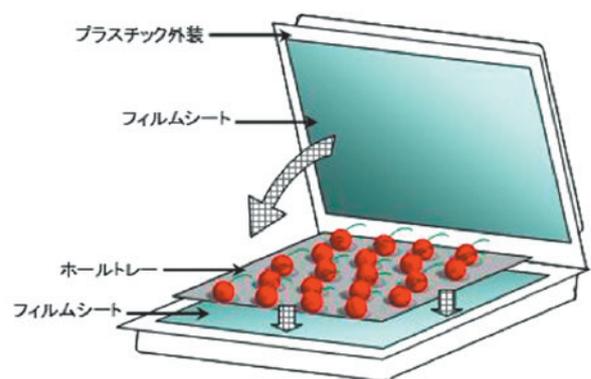
められている。以下に、最近の研究開発の事例を紹介する。

（1）振動衝撃による損傷の防止

農林水産省の公募研究事業である「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（2008～2012年）」などにより、農産物輸出に関する研究開発が実施されている。

石川ら^(※10)は、おうとうの輸出における品質低下要因について、山形県の産地から輸出先の台湾国内におけるトラック輸送までの振動衝撃データを収集・解析した結果、人および機械荷役、空港内移動などにおける衝撃が大きな問題であることを明らかにしている。また、衝撃による品質低下防止対策としては、出荷容器の大型化（1キログラム容器を10個まとめた包装）、容器底面への緩衝材（5ミリの発泡ウレタンシートを1～3枚）の挿入が効果的であることを示した。さらに、おうとう用の新たな緩衝容器を開発し（図3）、その品質保持効果を実証している。

図3 おうとう用緩衝包装容器



北澤^(※11)は、繰り返し衝撃による疲労損傷を考慮した、青果物の新たな緩衝包装设计について提案している。

打田らは、多段積載段ボールの加速度伝

達率を抑制する効果を有する新たな集合緩衝包装段ボール箱（AC段ボール^(※12)）、および多段積載段ボールの最上段に乗せることで振動を軽減する資材（ACトップ^(※13)）を開発している。いちご用のAC段ボールでは、振動試験および輸送試験を実施した結果、大幅な振動低減が可能で、いちごの損傷も軽減されたと報告されている。

株式会社MTIの田村^(※14)は、輸送機関の荷台振動を軽減する、高性能防振パレットを開発している。輸送防振専用開発した防振ゴムを使用し、垂直方向だけでなく、水平方向の振動・衝撃も緩和し^(※15)、いちごなどの易損傷性青果物の輸出への利用が期待される。

（2）防熱・保冷

田村^(※14)は、海上コンテナへの防熱シートの利用による貨物上部温度の低減効果について報告している。

株式会社荏原は、断熱材としてフェノールフォームを用いた高性能の血液輸送用保冷容器（エバック）を開発している^(※16)。発泡スチロール製に比べ定温維持時間が1.5倍で、真空断熱材製に比べ重量が約半分とのことである。航空輸送や、コールドチェーンが未整備の輸出先国における低温一貫物流などへの利用が可能な製品開発が期待される。

（3）赤外線（IR）・紫外線（UV）殺菌技術

現在、青果物輸出の多くは航空輸送に頼った物流となっているが、輸出量の大幅な増加を目指すためには、青果物の海上輸送の実現が不可欠である。これまでの日本におけるポストハーベスト技術は、ほとんどが国内物流を想定した、比較的短期の品

質保持、いわゆる鮮度保持を目的としたものであり、そのままでは海上輸送による輸出に適用できない。そのため、長期間の海上輸送に対応した、高品質維持のための物流技術開発が不可欠である。

内野らは、海上輸送による青果物の輸出技術の開発の一貫で、赤外線（IR）と紫外線（UV）を併用した殺菌技術を開発している（写真2）^(※17)。



写真2 赤外線（IR）・紫外線（UV）殺菌装置

IR、UVの照射時間を適宜調整して殺菌処理を行うことで、いちじく、いちご、もも、温州みかんの果実表面付着菌数が減少することが確認されている。特にいちじくに対する効果が高く、カビの発生や酵母の増殖に起因するいちじくのトロケ症状を著しく軽減できることが報告されている。最適な照射条件は、いちじくでIR30秒＋UV30秒、ももでIR60秒＋UV60秒、いちごでUV60秒であると報告されている。

（4）エチレン制御

エチレンによる影響は、短期貯蔵に比べて長期貯蔵において、相対的に影響度が大きくなる。すなわち、青果物の海上輸送に

においては、エチレン制御の必要性が高いといえる。とくに、コンテナに特性の異なる青果物を混載する場合には、個々の青果物のエチレン生成速度とエチレンに対する感受性について、十分な配慮が必要である。庫内のエチレンの濃度を低下させるためには、エチレンの生成を抑制するか、生成したエチレンを分解・除去する必要がある。

三菱重工空調システム株式会社から、エチレンカットと呼ばれる、エチレン分解除去装置が市販されていた。これは、紫外線を照射し、生成するオゾンにより化学的にエチレンを分解、除去するものであった。残念ながら、同製品は、2011年9月に生産を中止し、在庫のみの販売となっている。

内野らは、高電圧プラズマによるエチレン除去装置の開発研究を行っている^(※17)。これは高圧電極と接地電極間にパルス高電圧を印加し、パルス放電によりプラズマを発生させ、二次的に生ずる活性種、紫外線などによりエチレンを二酸化炭素と水に分解するものである。研究が進展し、実用化されることが期待される。

エチレン作用阻害剤については、2(3)を参照されたい。

(5) カワラヨモギ抽出物

これまで、天然物由来成分による青果物の品質保持に関して、青森ヒバ抽出物（ヒノキチオール）、アリル辛子油（アリルイソチオシアネート、AITC）、カワラヨモギ抽出物（カピリン製剤）などについて報告されている。井上^(※18)は、カワラヨモギ抽出物のカピリン製剤による中晩柑の品質保持について、呼吸抑制、エチレン生成抑制、果皮障害抑制、抗菌性（カビの増殖抑

制、腐敗抑制）、着色（カロテノイド生成）促進、などの効果を報告している。

(6) 物流環境トレースと物流品質保証

小笠原^(※19)は、超小型の温度、湿度、衝撃ロガーについて報告している。また、その後の研究開発により、「物流品質トレーサビリティプラットフォーム」が構築されており、物流環境のモニタリングとその機能を利用した、物流品質の保証への利用が期待される。

6 おわりに

青果物について、その特性と品質保持に関わる基本的な事項を解説するとともに、輸送モードとの関係で技術の現状を紹介した。

品質保持技術の進展により、私たちは、1年を通して新鮮な青果物を手に入れることができるようになった。また、高品質の日本の青果物が海外へ輸出されるようになってきたことから、輸出も視野に入れた新しい技術開発の事例を紹介したが、これらの技術開発が、農産物の輸出額を1兆円規模に拡大する目標の前倒し達成（当初目標は2020年）に寄与することを祈念している。

なお、より良い品質維持に加えて、安全・安心を実現するシステムの普及も大きな課題であることを申し添える。

(謝辞)

本原稿は、公益社団法人日本冷凍空調学会発行の「冷凍空調便覧第6版 IV巻 食品・生物編（2013）」の89-95頁に、社団法人日本施設園芸協会発行の「園芸農産物の選別・鮮度保持技術ハンドブック

(2007)」の183-212頁の一部を加筆、修正して作成した、農業食料工学会2014年度シンポジウム（フーテックフォーラム）「コールドチェーンのアンカー、家庭用冷凍冷蔵庫の先端技術」のうち「青果物のコールドチェーンと品質保持技術」の講

演要旨をベースに、農産物流通技術研究会編の農産物流通技術2013「Ⅲ. 3. 農産物輸出における物流技術」の内容を加えて作成したものである。関係各位に深謝する。

参考・引用文献

- (※1) 椎名武夫：食品の老化と鮮度の劣化、食品と劣化（光琳選書⑤、津志田藤二郎編著）、光琳、205-257（2003）
- (※2) 加藤千明ほか：青果物の収穫後の蒸散作用に関する研究、山形大学紀要、9(2)、235-248（1983）
- (※3) 中村ゆり：鮮度保持剤、農産物流通技術2013、農産物流通技術研究会、79-84（2013）
- (※4) 農産物流通技術研究会編：農産物流通技術2011、農産物流通技術研究会、118（2011）
- (※5) 椎名武夫：青果物の輸送損傷評価と輸送シミュレーション、包装技術、38(4)、401-406（2000）
- (※6) 椎名武夫：青果物の損傷性を考慮したランダム振動試験法の開発、包装技術、44(10)、753-761（2006）
- (※7) 吉田誠・家寿多正樹、第126回農産物流通技術研究会研究例会「農産物輸出の現状と農産物輸出を支える最新技術」講演録、農流技研会報、305、2-11、2016
- (※8) J R 貨物、「平成28年度事業計画」の概要（<http://www.jrfreight.co.jp/common/pdf/news/2016jigyo-01.pdf>）
- (※9) 椎名武夫：農産物輸出における物流技術、農産物流通技術2013、55-60（2013）
- (※10) 石川豊：青果物流通における振動衝撃の評価とその抑制技術、フーテックフォーラム2013、農業機械学会、23-28（2013）
- (※11) 北澤裕明：繰り返し衝撃による青果物の蓄積疲労損傷評価に関する研究、日本包装学会第25回年次大会研究発表会予稿集、94-97（2016）
- (※12) 打田宏・今野哲・清野聡美・荘司恵利子：集合緩衝包装（AC段ボール）について、日本包装学会第20回年次大会研究発表会予稿集、108-109（2011）
- (※13) 打田宏、日本包装学会第22回年次大会、展示出展（2013年7月）
- (※14) 田村健次、技術開発による国際物流への貢献、Monohakobi Techno Forum 2012
- (※15) ㈱MTI、防振パレット（http://www.monohakobi.com/ja/solutions/quality_control/shock_absorber.html）
- (※16) ㈱荏原、エバックに関する東京新聞の紹介記事（<http://www.ebac.co.jp/wp-content/uploads/2013/07/20130731095842615.pdf>）
- (※17) 内野敏剛、新技術を用いた青果物の高品質長期保存、第123回研究例会「生鮮食品品質保持の最新動向および課題—輸出促進・超長期貯蔵・信頼技術に向けて—」、農産物流通技術研究会、1-4（2012）
- (※18) 井上久雄：カワラヨモギ抽出物による中晩柑の鮮度保持、農流技研会報、304、9-12（2015）
- (※19) 小笠原温：小型温湿度・衝撃モニターによる物流環境のトレース、季刊フレッシュフードシステム、37(1)、18-22（2008）