

1. 生鮮青果物のコールドチェーンにおける 温湿度管理の留意点

相良 泰行* Yasuyuki SAGARA

最新食品工学講座の企画にあたって

この講座は1年間を掲載期間として、食品工学分野で最近話題となっている、1) 新技術に関する研究開発や実用化の動向、2) 既に実用化された技術体系の中で再確認されるべき留意点、および3) 食品冷凍に関連する物性値などの基礎的で新しいデータなどについて、毎号異なるトピックスとして掲載する。したがって、本稿座で取り上げるテーマや記事の内容の中には、既に刊行されている書籍などに将来追記されることが想定される新しい情報、現時点で正確さには欠けるものの今後技術的にも社会経済的にも重要と考えられているテーマのパラダイム、さらには「食」にまつわる最新の研究開発動向などが含まれる。

この講座の企画に当たり、その内容と必要な知識については、主に若手の食品冷凍技士や冷凍空調技士の皆様のレベルにおいて、読者の興味を喚起する内容としている。具体的には本誌特集記事よりも詳細に、また、学術論文よりも数段平易でわかりやすい記述となるよう配慮した。現在、計画している講座のテーマは下記のとおりであり、本講座が技士の皆様のみならず本誌の広範囲な読者にも有益なニュースソースとなることを期待している。

最新食品工学シリーズ

1. 生鮮青果物流通過程における温湿度管理の留意点
 2. 青果物選別システムの最新技術
 3. インターネットを利用した農産物流通における認証システムの開発
 4. 低温食品・生物学における物性値計測法
 5. 食感性工学のパラダイムと技術的展開
 6. 感性バイオセンサーの発達と利用
 7. 匂いセンサーの開発動向
 8. 食嗜好の計測と評価モデル
 9. 食感性評価技術に基づく商品開発
 10. 食品の凍結乾燥プロセスにおける移動現象の解明
 11. 凍結濃縮技術の進歩
 12. 食の安全と安心を届ける総合技術対策
- (企画担当: 東京大学大学院農学生命科学研究科相良泰行)

1. 低温の鮮度維持効果

食品の品質はその流過程において、様々な原因により劣化する。そのため、低温流過程における「温湿度管理技術」には、対象とする食品の劣化の要因を探って、その進行を抑制するための最適な温湿度条件を把握し、予冷から冷蔵・輸送・販売に至る流通の全過程にわたってこの条件を維持するための多面的技術が含まれる。具体的には、食品の劣化の原因を生理学・微生物学・化学的・理工学的見地から総合的に検討して、品質維持のためにもっとも合理的な温湿度条件を設定し、この設定条件を満足する低温流通方式の選択と機械設備の設計・操作、ハンドリングおよび品質と温湿度のモニタリ

ングを実現する技術体系といえよう。

食品劣化の原因の中でも、微生物による劣化は食品を食用不可能にしてしまうとともに、食中毒発生の主要因ともなるために、これの低温管理による抑制効果は食品衛生面からの要請に応える不可欠な技術として認知されている。微生物の殺滅または増殖抑制のための方法には、たとえば、塩蔵・乾燥などの貯蔵法に見られるように、古くから低温以外に多様な方法が用いられてきた。しかし、低温は青果物の呼吸作用、酵素による鮮度低下、油脂の酸敗、色素の変化などの内的要因と微生物の増

*東京大学
The University of Tokyo
原稿受理 2002年10月21日

殖・作用およびハンドリングによる損傷などの外的要因による劣化抑制にも有効である。さらに、CA (Controlled Atmosphere) 貯蔵, MA (Modified Atmosphere) 包装・貯蔵, 減圧貯蔵などの鮮度保持法の実施に当たっても、低温との併用が大前提となっている。コールドチェーンの整備はこのような低温の鮮度保持に関する複合効果を体系的に実現するものであり、この効果は生鮮青果物の低温流通において有効利用されているものと考えられている。しかし、実際の流通現場では、これらの効果に関する原理・原則を反古にする操作やハンドリングがなされている場合が散見され、そこではコールドチェーンの改善や再構築のための基礎的知識を再確認しておく必要があると考えられる。

本稿では主に生鮮青果物のコールドチェーン構築の基礎となる低温の効果, 温湿度管理およびその周辺技術などの留意点について概説する。したがって、青果物の一般的生理現象, コールドチェーンの構築および温湿度モニタリングなどに必要な機器類とその利用法などについては他書を参照されたい。

2. 温度と呼吸作用

(1) 温度と呼吸熱

青果物は収穫後も生活作用を営み、その中の有気および無気呼吸作用によって熱エネルギーを放出する。すなわち、有気呼吸では青果物内の呼吸基質に含まれる炭素は空気中から取り入れた酸素と結合して糖を主体とする分解生成物を生じ、最終的には炭酸ガスと水になる。無気呼吸による呼吸熱は有気呼吸のそれに比べて小さい値となるが、いずれにせよこれらの反応は生体が自己の保有するエネルギー源を消費するプロセスであり、鮮度・品質の低下を招くプロセスでもある。また、その反応速度は生体の温度低下により抑制され、この過程で生ずる反応熱は呼吸熱として放出される。このためコールドチェーン設備や機器の冷却負荷積算に当たって、呼吸熱は知っておかなければならない熱量となる。表1に青果物の呼吸熱を青果物の温度(以下、品温と称す)別に示す。呼吸熱の値は青果物の種類、品種、栽培地および発育環境などによって異なり、また、青果物の品温が高いほど大きい値を示す。さらに、この発熱により青果物の品温も上昇し、このために呼吸作用が促進されて品質の劣化が早くなる。このことは、発熱量の多いものほど劣化速度が早くなることを意味しており、ブロッコリ、レタス、ハウレンソウ、スイートコーンのような呼吸熱の大きい青果物の寿命はタマネギ、馬鈴薯のような低発熱のものより短い。特に、グリーンピースはその品温が16℃以上になると、トマトのほぼ10倍に相当する呼吸熱を発生する。このように、青果物の呼吸熱はその鮮度を保持

するために必要な冷凍機器・設備の能力を算定するために不可欠なデータとして重要である。

(2) 温度と呼吸速度

青果物の呼吸速度($\text{CO}_2 \text{ mg/kg} \cdot \text{hr}$)は品温と密接な関係がある。通常、青果物の呼吸速度に及ぼす温度の影響は呼吸作用の温度係数 Q_{10} で表わす。この係数は品温が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。表2に青果物の品温別温度係数を示す。この表に示されるように、品温10~20℃の範囲では Q_{10} の値は2~3になることが知られている。また、いずれの青果物でも Q_{10} は品温0~10℃の範囲で比較的高い値を示し、品温を10℃以下に保つことにより呼吸速度を効果的に抑制できることがわかる。また、逆に青果物の品温が上昇する場合にも、この品温範囲において呼吸速度がもっとも増加することを示している。このように、表1および表2に示したデータは、低温流通における品温上昇の防止がきわめて大切なことを示している。一方、青果物が凍結しない0℃近傍の品温は、呼吸作用および微生物の増殖と活動を同時に抑制するのに有効であることから、大部分の青果物の低温流通・貯蔵はこの温度帯で行われている。

(3) 湿度と呼吸作用

呼吸作用と湿度との相関は温度との関係ほど明確ではないが、ある種の青果物では湿度が呼吸作用に影響を及ぼすことが経験的に知られている。低湿度でも湿潤な環境下で長期に貯蔵された青果物、または高水分の青果物の中に、呼吸作用の促進が観察されるものがある。たとえば、高湿度条件下に置かれた柑橘類では、果皮部分の生活作用が活発となり、果汁の消失や浮き皮が発生する。これを防止するために、果実を貯蔵庫に搬入する前に表皮部分を風乾して、表皮組織を若干固くしておく操作が行われている。この操作を「予措」と称し、その目的は、呼吸量を抑制し、表皮の強靱化により機械的外力に対する抵抗力を強化し、さらに表皮に生じた傷口を塞ぐことにより病菌の進入を防止することなどにある。

一般に、予措はバレイシヨ、サツマイモ、ダイコン、ニンジン、ゴボウなどの根菜類や柑橘類の長期貯蔵前に行われ、その呼吸作用抑制効果が確認されている。

3. 温度による追熟制御

果実の中には未熟な状態で収穫され、流通の適当な段階で成熟作用を促進させて可食状態にし、食用に供されるものがある。輸入バナナがその典型例であるが、このほかにも、トマト、イチゴ、西洋ナシ、キュウイフルーツなどが挙げられる。この成熟現象を追熟と称し、そのプロセスは主に品温管理により制御される。輸入バナナ用の室は出荷のタイミングに合わせて、温度管理により

表1 野菜と果実の温度別呼吸熱 (kJ/kg-day)¹⁾

野菜の種類	温度 (°C)				
	0	5.5	10	15.5	26.6
カブラ (葉もぎ)	2.05	2.26	—	5.86	—
サツマイモ (キュアリング前)	2.55	3.52	—	6.70	—
サツマイモ (キュアリング後)	1.26	1.80	—	4.60	—
キャベツ	1.26	1.76	—	4.60	—
キュウリ	1.80	2.68	—	10.9	—
スナップピーン	5.86~6.49	9.63~12.1	—	33.5~46.0	52.3
ライマピーン	2.51~3.35	4.60~6.28	—	23.0~28.5	—
トウモロコシ (スイートコーン)	6.91、	10.0	—	40.2	64.9
マッシュルーム	6.49	—	23.0	—	—
セロリ	1.72	2.55	—	8.79	—
レタス	1.21	1.67	—	48.1	—
タマネギ	0.71~1.26	—	1.84~2.09	—	—
トマト (緑熟)	0.63	1.13	—	6.70	—
トマト (完熟)	1.09	1.34	—	5.86	—
ニンジン (葉もぎ)	2.26	3.64	—	8.37	—
バイレショ (ジャガイモ)	0.46~0.92	1.17~1.84	—	—	—
カエン菜	2.80	4.60	—	7.74	—
ピース	0.84~0.88	13.8~16.7	—	41.9~46.0	75.3~87.9
ブロッコリ	7.95	10.9	—	35.6	—
ハウレン草	4.60~5.02	8.37~11.7	18.8~20.9	38.9~39.8	—
果実の種類	温度 (°C)				
	0	5.5	10	15.5	26.6
イチゴ	2.85~3.98	5.40~6.91	—	16.4~20.1	38.9~48.6
オレンジ	0.75~0.96	1.05	—	5.23	8.37
メロン, カンタローブ	1.38	0.92~1.00	—	—	—
クランベリー	0.63~0.75	1.13	1.76~1.88	—	—
グレープフルーツ	0.48	—	—	2.93	4.40
桜桃	1.38~1.84	—	—	11.7~13.8	—
洋ナシ	0.71~0.92	—	—	9.21~13.8	—
バナナ (緑色)	—	—	3.47	8.79	—
〃 (催色中)	—	—	—	9.67	—
〃 (完熟)	—	—	—	8.79	—
ブドウ	0.63	1.26	—	3.68	8.79
モモ	0.92~1.47	1.51~2.09	—	7.53~9.75	18.8~23.4
ラズベリー	4.60~7.12	—	—	16.7~18.8	—
リンゴ	0.33~1.67	0.63~2.80	—	2.39~8.37	—
レモン	0.63	0.88	—	3.14	6.70

表2 青果物呼吸量の温度係数¹⁾

(1) 果実の呼吸量の温度係数 Q_{10}

種類	品 種	0~10 °C	11~21 °C	16.6~26.6 °C	22.2~32.2 °C	33.3~43.3 °C
イチゴ	ハーワード17	3.45	2.10	2.20		
モモ	{ カールマン	3.05	2.95	2.10		
	{ エルバーター	4.10	3.15	2.25		
レモン	カリフォルニアユーレーカー	3.95	1.70	1.95	2.00	
オレンジ	{ カリフォルニアネーブル	3.30	1.80	1.55	1.60	
	{ フロリダシードリング	3.95	2.15	1.60	1.50	1.95
グレープフルーツ	フロリダシードリング	3.35	2.00	1.45	1.65	2.50

(2) 蔬菜の呼吸量の係数 Q_{10}

種類	0~10 °C	10~24 °C	種類	0~10 °C	10~24 °C
アスパラガス	3.5	2.5	ニンジン	3.3	1.9
エンドウ	3.9	2.0	チシャ	1.6	2.0
サヤエンゲン	5.1	2.5	トマト	2.0	2.3
ハウレンソウ	3.2	2.6	キュウリ	4.2	1.9
トウガラシ	2.8	3.2	ジャガイモ	2.1	2.2

追熟の進行を制御する機能を有している。追熟のプロセスには品温のほかにエチレンが深く関与しており、気体で働く唯一の植物ホルモンとして、また、追熟のトリガ・ホルモンとして知られている。エチレンは植物組織より様々な環境変化によって生成誘導され、特に、組織の老化、損傷、病気や物理的・化学的ストレスにより顕著に発生することが知られている。現在では、その生合成経路もほぼ明らかにされており²⁾ また、いったん追熟が開始されるとそれを止めることは困難であることも知られている。

西洋ナシの低温貯蔵および追熟中における温度制御プログラムとこれに対応して発生した累積炭酸ガス量の変化を図1に示す³⁾。累積炭酸ガス量曲線の傾斜は品温に対応した呼吸作用の程度を示す。この例にも示されるように西洋ナシは品温を1℃に保つことにより長期貯蔵が可能であり、追熟の開始前に品温を約1週間5℃に保つと追熟のスタートとして十分な濃度のエチレンが果実内に生成されるため、その後品温を15℃程度まで上昇させることにより、追熟を促進させ果実を可食状態にすることができる³⁾。これは果実のわずかな品温上昇に伴って果実組織よりエチレンが生成・誘導され、追熟が開始されることを示している。バナナの追熟加工では、室内に貯蔵されたバナナの均一な追熟を促進させるために、品温の上昇とともに、追熟トリガとしてエチレンガスを投入している。

このように低温流通における温度管理は追熟のトリガであるエチレンの発生を抑制し、追熟の進行による品質劣化を防止する上で重要である。また、低温下でもエチレンを発生している青果物をほかのものと同じの場所に置くと、その青果物の追熟も促進することになるため、注意が必要である。この弊害を除くために冷蔵庫内にエチレン除去装置を設置する場合が増えている。

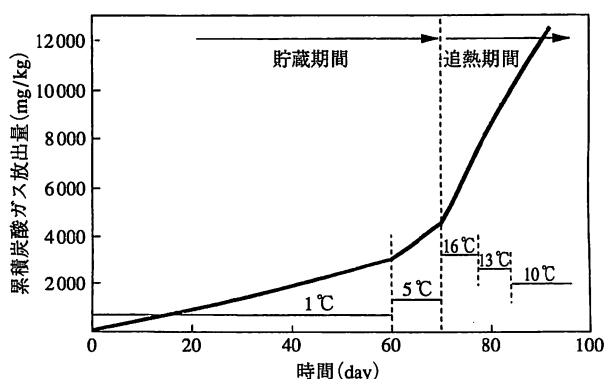


図1 西洋ナシの貯蔵・追熟温度と累積炭酸ガス量³⁾

4. 温度と蒸散作用

低温下に置かれた青果物の生理作用として蒸散作用は呼吸作用とともに重要視されている。蒸散作用は青果物の目減りや萎凋の主要因であり、また、ビタミンC・芳香の消失やテクスチャの劣化を招き、商品価値低下の原因となる。蒸散作用の主な誘因は青果物周囲の空気の流動状態および青果物と空気間の水蒸気圧差にあり、空気の流動速度が速く、水蒸気圧差が大きければ大きいほど蒸散は促進される。青果物に含まれる水分の水蒸気圧は品温が高いほど大きくなり、この青果物を低温環境下に置くと、その値が低温空気に含まれる水分の水蒸気圧よりも高くなることがあり、この水蒸気圧差によって青果物の水分は低温空気の方へ移動する。

たとえば、品温が10℃である高水分の青果物の飽和水蒸気圧は1.23 kPa (9.21 mmHg)であり、これを直接温度0℃、相対湿度100%の冷蔵庫に搬入したとすると、庫内空気の水蒸気圧は0.61 kPa (4.58 mmHg)であるため、両者の水蒸気圧差は0.62 kPa (4.63 mmHg)となり、この差を駆動力として青果物の水分は庫内空気側に移動することになる。この移動は庫内空気が静止状態にあっても生ずるが、青果物に接する庫内空気の流動速度が速くなると水蒸気圧差による水分移動速度はさらに加速される。したがって、庫内空気温度を低く保ち、その相対湿度を100%に保ったとしても、必ずしも青果物からの蒸散を完全に抑制することにはならないことに留意する必要がある。

5. 低温障害

低温障害は青果物が凍結しなくても、ある限界温度以下の温度に遭遇した時に生ずる生理障害の一種で、表面や内部の褐変・陥没・変質や正常な追熟の妨げなどを引き起こす。一般に、バナナ、アボカド、マンゴ、パパイヤなどの熱帯性果実は低温耐性が弱いことが知られているが、ピーマン、キュウリ、ナス、トマト、カボチャなどやマメ類も低温障害を受けやすい。表3は低温障害を受けやすい青果物の最低貯蔵適温と低温障害の典型的症状を示す。低温障害を招く限界温度は、青果物の種類、品種、栽培条件などによっても異なるが、障害の程度はこの限界温度以下に置かれる前の品温が高いほど、また、限界温度以下に置かれる時間が長くなるほど大きくなる傾向を示す。したがって、予冷装置の設計に当たって、青果物の急速冷却を目的として、初期品温と空気などの冷却媒体温度との差を大きく採るような場合には、対象青果物の低温障害に関する情報をあらかじめ知っておく必要がある。また、厄介なことに、障害の兆候は品温が低温から常温に戻った場合に発現・観察される場合

表3 青果物貯蔵の最低適温と低温傷害¹⁾

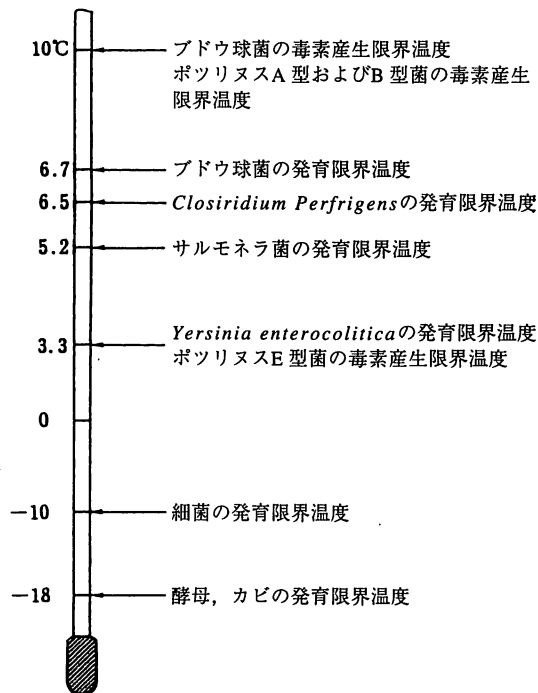
種類	最低適温	左の温度と凍結温度との間に起こる障害
バナナ	14~16.0℃	完熟後の色沢不良
いんげん(さや)	8.3~10.0	出庫後のわれとさび
キュウリ	8.3	われ, 水浸状斑点腐敗
ナス	8.3	出庫後, われと変色
レモン	12.8~14.5	内部脱色, われ
メロン	4.5~10.0	われ, 表皮腐敗
スイカ	2.2	われ, 異臭
オクラ	4.5	脱色, 水浸斑点, われ, 腐敗
オレンジ(米国)	1.7~2.8	表皮異常
とうがらし(甘)	8.3	われ, 脱色
ジャガイモ	8.3	変色
甘藷	12.8	腐敗, われ, 内部変色
トマト(熟)	10.0	腐敗
トマト(未熟)	12.8	着色不良, 腐敗促進

が多いため、日本の低温流通の過程ではこの症状が市場や販売の段階で現れることになる。このため、商品価値や取引上の信頼性を著しく損なうことになるので、流通過程の温度管理の重要な留意点となっている。

6. 温度と微生物

微生物は増殖温度により、高温・中温・低温の3グループに大別される。高温および中温微生物の増殖最適温度は、それぞれ約55℃および37℃であり、両者ともに5~7℃で死滅するかまたはその増殖が抑制されることが知られている。低温微生物の最適増殖温度は12~30℃、最低温度はおおまかに-10~0℃の範囲にある。したがって、食品の低温流通の過程で問題となる大部分の微生物は中温微生物の一部と低温微生物となるが、一般に10℃以下の温度帯では、食品の変敗に関する微生物の増殖が低温になるほど抑制されることが知られている。

この中でも低温流通の過程で黄色ブドウ球菌、サルモネラ菌、ポツリヌス菌などに代表される主要な食中毒菌の発育や増殖は極力防止する必要があることは言を待たない。図2に主な食中毒菌の毒素産生および発育の限界温度を示す⁴⁾。微生物の中でも酵母やカビは低温耐性をもっとも強く、その発育をほぼ完全に抑制するためには-18℃以下の低温下に置く必要がある。また、細菌の中でも低温耐性の強いものは-10℃までも生育可能である。しかし、中温および低温微生物の増殖速度は、環境温度が10℃以下になり、さらに0℃に近づくにつれて、細胞分裂に要する時間が数時間から数日に及ぶようになり、減速する。大部分の食中毒菌は中温菌であり、これらの中でももっとも致死率の高いポツリヌスE型菌の毒素産生限界温度は3.3℃である。このような微生物の増殖と温度の関係から、大部分の細菌の増殖を抑制し、また、食中毒を防止するための最適低温輸送温度

図2 食中毒の毒素産生・育成限界温度⁴⁾

は0~3.3℃の範囲であるといえる。

しかし、この温度帯でも微生物を死滅させることは困難であり、品温の上昇によりその増殖は再び活性化する。また、酵母やカビの増殖は青果物の低温流通温度帯でも抑制することが困難であり、コールドチェーン機器の定期的消毒が必要となる。特に、高湿度に保たれた冷蔵庫などの密閉空間ではこれらの微生物の繁殖が旺盛であり、これらの内部空間は青果物が収納されていない時期に清掃・消毒する必要がある。この場合、消毒液には塩素酸ソーダやリン酸三ナトリウムなどを用い、これらの薬液で洗浄した後、水で水洗し、さらに乾いた風を導入して壁面を乾燥させる。

7. 鮮度保持の最適温度

野菜と果実の最適貯蔵温度、相対湿度および貯蔵期間をそれぞれ表4と表5に示す。ここに示された条件は、今まで述べた温湿度と青果物の品質劣化の要因を総合的に考慮した貯蔵実験から得られたデータである。しかし、同一の青果物であっても、種々の要因によって貯蔵条件・期間は異なってくるので、これらの表のデータは一応のガイドラインを示すものと考えべきである。また、貯蔵適温は青果物の予冷における最終目標品温の目安であり、この意味において、低温流通のための最適基準温度と考えられる。

この表に示されるように貯蔵適温は青果物すべてに共通した確定不変のものではない。また、同じ青果物でも必要とされる流通・貯蔵期間が、表に示された期間より

表 4 野菜の最適貯蔵温度と貯蔵期間

野菜の種類	温度 (%)	相対湿度 (%)	貯蔵期間	摘要	野菜の種類	温度 (%)	相対湿度 (%)	貯蔵期間	摘要
アスパラガス	0~0.5	85~95	2~4週	アメリカ	レタス	0~1	90~95	1~3週	
アボカド	7~13	90~95	3~4週	アメリカ	レタス (アイスバーグ種)	0	90~95	3~4週	包装
グリーンピース	10~13	85~90	4週		マッシュルーム	0~1	90~95	4~6週	
	0	85~90	2~4週	オーストラリア	オクラ	0~2	85~90	3~7日	アメリカ
	7	90~95	1~3週	アメリカ	オリーブ	10	85~90	3~5日	アメリカ
ブロッコリ	2~7	85~90	8~10日		タマネギ	7~10	85~90	7~10日	
メキヤベツ	0	85~90	10~15日	強制空気循環		-3~0	70~75	4~6週	
	-1~1	90~95	10~21日	アメリカ		-2~0	75~85	6月	
キャベツ	0	90~95	2~6週	ヨーロッパ種		0~1.5	85~90	7~9月	
キャベツ (晩生)	0	85~95	3~4月	アメリカ		0	70~75	26週	アメリカ
ニンジン (束)	0~1.5	85~90	3月	インド	パセリ	0~1	85~90	6~8月	
ニンジン (葉切)	-1~1	90	2週以内		エンドウマメ	-0.5~0	85~90	1~2月	
カリフラワー	0~1	85~90	4~6月		コショウ (スイート)	7~10	85~90	1~3週	予冷
	0	85~90	3~6週	アメリカ	ピーマン	0	85~90	8~10日	
セロリー	0~1.5	85~90	2~3週	インド	ジャガイモ (早生)	7.2~10	85~90	4~5週	
	0~1	85~90	7週		〃 (晩生, 食用)	3~4	85~90	8~10日	
	0	85~90	2~5月	カナダ	〃 (晩生, 種子用)	4.5~10	88~93	2~3週	暗所
	-0.6~0	90~95	8~10月	アメリカ	カボチャ (冬)	5	85~90	4~8週	暗所
	0~1	90~95	2~4月	15~30分アイシング予冷	〃 (夏)	2~7	85~90	8月	
スイートコーン (トウモロコシ)	0~1	90~95	0.5~2月		ダイコン	10~13	70~75	5~8月	
キユウリ	-0.5~0	85~90	4~8日		ハツカダイコン (春)	0~4.4	85~95	2~6月	アメリカ
	7~10	90~95	2週以内	アメリカ・ドイツ	〃 (冬)	0	90~95	10~14日	アメリカ
	11.5	85~95	1~2週	アメリカ・ドイツ	ホウレンソウ (晩生)	0	90~95	3~4週	アメリカ
	12	85~95	1~2週	オランダ	サツマイモ	-0.5~0	90~95	10~14日	アメリカ
ナス	7~10	85~90	10日		トマト (完熟)	0	85~90	13週	インド
ニガチシャ	0~1	90~95	2~3週		〃 (緑熟)	7	85~90	2週	スイス・南ア
ニンニク	-1.5~0	70~75	6~8月		〃	0	85~90	7日	アメリカ
シヨウガ	1.5~3.5	85~90	15週	インド	〃	1.5~3	85~90	6週	インド・オランダ
ホップ	-1.5~0	50~60	2~3月	アメリカ	〃	11.5~12	85~90	1~2週	
ワサビ	-1~0	90~95	10~12月	アメリカ	〃	11.5~13	85~90	3~5週	
羽衣キャベツ	0	90~95	3~4週	アメリカ	カブラ	13~22	85~90	2~5週	アメリカ
球茎キャベツ	0	90~95	2~4週		種子	0	90~95	4~5月	
洋ネギ	0	90~95	1~3月			0~10	50~65	—	
ニラ	0~1	90~95	1~3月						

表5 果実の最適貯蔵温湿度と貯蔵期間

果実の種類	温度 (%)	相対湿度 (%)	貯蔵期間	摘 要
リンゴ	-1.1~0	85~90	2~6 月	
アンズ	-1~0	90	2~4 週	
アボカド	-0.6~0	85~90	1~2 週	アメリカ
	5~10	90	2~4 週	
	7~13	85~90	4 週	アメリカ
バナナ (黄熟)	13~16	85~90	5~10 日	
(緑熟)	12~15	90~95	10~20 日	
ブルーベリー	-1~0	85~90	2~3 週	
	-0.6~0	85~90	3~6 週	アメリカ
ブラックベリー	-1~0	90	5~7 日	南ア
	-0.6~0	85~90	7 日	アメリカ
チェリー	-1~0	85~90	1~4 週	
クラウンベリー	2.2~4.4	85~90	1~3 月	アメリカ
スグリ	0	80~85	10~14 日	アメリカ
デュベリー	-0.6~0	85~90	7~10 日	アメリカ
イチジク	-2.2~0	85~90	5~7 日	アメリカ
	-1~0	90	7~14 日	
ゲースベリー	0	90	2~3 週	インド
	-0.6~0	85~90	3~4 週	アメリカ
(インディアン種)	0~0.5	85~90	8 週	
ブドウ (コンコード種)	-1~0	85~90	3~4 週	短期貯蔵
(マスカット, サルタニア, チャスラ種)	-1~0	85~90	2 月	中期貯蔵
(エムペラ・バーリンカ種)	-1~0	85~90	3~5 月	長期貯蔵
(マスカット, ハンブルグ, グロスバード, アルフォ				
ンズ・ラバレー, オリベッ	-1	—	4 週	
ト, サーバン, アドミラ				
ブル, チャスラ)				
(米国系)	-0.6~0	85~90	3~8 週	} アメリカ
(欧州系)	-1.1~0.6	85~90	3~6 月	
レモン (緑熟)	12.8~14.4	85~90	1~4 月	アメリカ
(完熟)	4~7	85~90	3~6 週	スイス
	4.5~10	85~90	3~6 週	イギリス
	5.5~7	85~90	6 週以内	インド
ライム	8.9~10	85~90	6~8 週	アメリカ
	8~10	85~90	8 週以内	インド
ローガンブラックベリー	-0.6~0	85~90	7 日	アメリカ
グアバ	7~10	90	約3 週	} インド
	8~10	85~90	4 週	
マンゴ (バンガローラ種, クー				
ダス, ネーラム, ペダ, ラ	7~9	85~90	4~7 週	インド
スプリ, サフェダ)				
(アルフォンソ種)	8~10	85~90	4 週以内	インド
	10	85~90	2~3 週	アメリカ
マンゴスチン	4~5.5	85~90	7 週	インド
メロン	0~1	85~90	7 週	イスラエル
	2	85~90	1 週	オランダ
	4.5~10	85~90	1~4 週	} アメリカ
(カンタローブ)	7.2~10	85~90	1~2 週	
(ペルシャ)	7.2~10	85~90	1~2 週	
(ハネデユ)	7.2~10	85~90	2~4 週	
(ハネボール)	7.2~10	85~90	2~4 週	
(カサバ)	7.2~10	85~90	4~6 週	
ハネデュー	15~21	70	3 月	南ア
	16~18	80	2~6 月	スペイン
スイカ	2~4	85~90	2~3 週	
オリーブ	7.2~10	85~90	4~6 週	
オレンジ	-1~1	85~90	2~3 月	フロリダ
	2~7	85~90	1~4 月	アメリカ
	0~1.1	85~90	8~12 週	
	4~6	85	6 月以内	イスラエル
	5.5~7	85~90	18 週以内	インド
	0~4	85~90	1~4 月	スペイン

表 5 (Continued.)

果実の種類	温度 (%)	相対湿度 (%)	貯蔵期間	摘 要
ネクタリン	-1~0	85~90	3~7 週	
パッションフルーツ	5.5~7	80~85	4~5 週	インド
パパイヤ	4~5.5	85~90	5 週	インド
	7.2	85~90	2~3 週	アメリカ
	10	90	2~3 週	
モモ	-1~1	85~90	1~4 週	
	-0.5~0	85~90	2~3 週	} アメリカ
	-0.6~0	85~90	2~4 週	
(晩生種:ヘール, エルバータ)	-1~1	85~90	4~8 週	ユーゴスラビア
洋ナシ	-1.7~0.6	85~90	2~3 月	
カキ	-1.1	85~90	2 月	アメリカ
	-0.5~0	85~90	約3 週	東洋
パイナップル (緑塾)	10	90	2~4 週	
	10~15.6	85~90	3~4 週	アメリカ
(完熟)	4.5~7	90	2~4 週	
	8~10	85~90	6 週	インド
	4.4~7.2	85~90	2~4 週	アメリカ
スモモ	-0.5~1	85~90	2~8 週	
	-0.6~0	80~85	3~4 週	アメリカ
ブルン	-0.6~0	80~85	3~4 週	アメリカ
ザクロ	1~2	90	2~4 月	
	1.1~1.7	85~90	2~4 月	アメリカ
マルメロ	0~4	90	2~3 月	
	-0.6~0	85~90	2~3 月	アメリカ
ラズベリー	0	85~90	3~5 日	
(黄)	-0.6~0	85~90	7 日	} アメリカ
(赤)	-0.6~0	85~90	7 日	
ルバーブ	0	90	2~3 週	
イチゴ	4.5	85~90	1~2 日	
	0	85~90	1~5 日	
	-0.6~0	85~90	7~10 日	アメリカ
タンゼリン	-0.6~0	90~95	3~4 週	アメリカ
グレープフルーツ	0	85~90	—	フロリダ
	4~8	85	10 週	イスラエル
	7	85~90	—	西インド諸島
	7~9	85~90	3 月	インド
	10~16	85~90	3~12 週	アメリカ
マンダリン	4~7	85~90	3~6 週	
	5.5~7	85~90	10~12 週	インド

も短ければ、経済的見地から貯蔵適温より高い温度が採用される。逆に、低温障害を受けやすい青果物でも、鮮度保持に効果的であれば、貯蔵適温より低い温度で短期間流通させる場合がある。ただし、キュウリ、ナス、オクラ、カボチャ、トマト、サツマイモなどは環境の温度変化に敏感な品目として知られており、貯蔵適温下での流通が推奨されている。

8. 予冷・冷蔵の温度管理

一般に青果物は収穫後できるだけ早期に、かつ高速度で冷却すること、すなわち予冷を行うことが流過程における鮮度を保つ上で重要である。このため、予冷装置には貯蔵や輸送に先立って、青果物の圃場熱 (field heat) を高速度で除去し、流通適温まで冷却するための機能

と、これを達成するための比較的大容量の冷凍能力が要求される。我が国で現在行われている予冷の方法を表6に示すが、次に、これらの予冷操作に共通する留意点を温度管理の観点から述べる。

(1) 予冷開始時期

予冷の効果を説明するために、リンゴの品質劣化速度を表わす指標を燃料タンクの油消費速度に例えて説明した例がある。これによれば適熟したリンゴを摘果後放置した場合の油消費速度を10単位と想定すると、予冷中にその速度は3単位低下し、さらに貯蔵適温まで冷却したものをその品温で冷蔵すると1単位に減少する。このように、品質の劣化速度を抑制するためには収穫後できるだけ早期の予冷が望ましい。また、予冷開始時期の遅れは青果物の鮮度保持または貯蔵可能な期間に影響を及

表6 予冷の方式と特徴

予冷方式	原理	冷却時間	保冷库	設備費	対象物	操作の難易	その他
強制通風予冷	冷凍庫で冷やした空気を庫内に送って冷却する。	長い 12~20時	不要	安	何でも可	易	小施設向き 冷えむら大 多品目利用可
差圧通風予冷	同上・風路以外に冷気が通らぬようにし、青果物中に冷気を強制的に通す。	中 2~6時	おおむね 不要	中	何でも可	積み方に工夫を要する	中小施設向き
真空予冷	青果物を密閉庫に入れて減圧し、自らの水分の蒸発潜熱で冷却する。	短い 20~40分	要	大	比表面積の 大なるもの に限る。	易	根・果菜には 不向き
ハイドロ クーリング	冷凍機で冷やした水をふりかけ、または水中に青果物を漬けて冷却する。	短い 20~60分	*	**	水ぬれを嫌うものを除き何でも可	易	洗浄をかねる 外国では普及 している
アイシング	フレーク状にした氷を水とともに青果物容器に注入、水漬けにする。	短い 瞬時	*	**	水ぬれを嫌うものを除き何でも可	易	外国では普及 している水は ただちに流出 する

* 外国においてはただちに出荷し保冷库は設けていないが、わが国のような利用方法では要と思われる。また両者ともわが国では普及していない。
 ** わが国におけるデータはない。外国においては機械設備として扱い、冷蔵庫とは考えていないので安価。

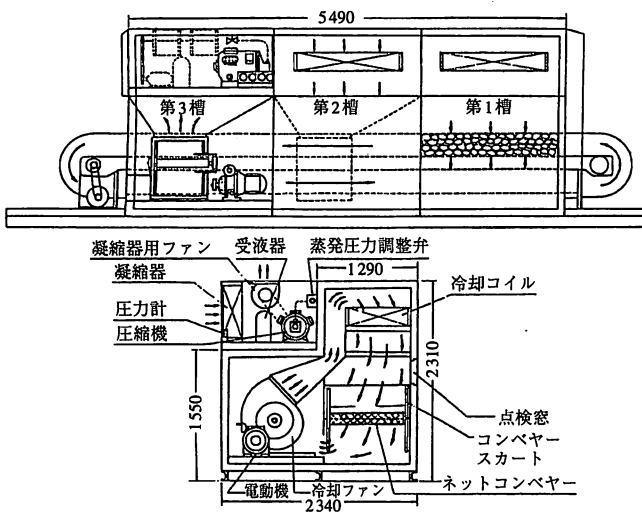


図3 ステージ型空気冷却装置⁵⁾
側面図(上)および横断図(下)

ほすことが知られており、その影響の度合いは収穫から予冷に至る時間よりはるかに長い寿命期間の短縮となって顕れる。

(2) 冷却速度

予冷の速度は用いる装置の冷却方式や能力などのほか、青果物の種類、初期および最終品温、数量、包装形態により変化するが、上述のリングの例でもわかるように冷却所用時間をできるだけ短縮することが重要である。さらに青果物固体間、または固体内の温度分布が存在する場合には、この分布が輸送中に均一化されるため、最終的な品温が流通・貯蔵適温より高い温度になってしまう場合がある。これを避けるためには、予冷方式の特徴を知った上での慎重な選択に加えて、品温のモニタが不可決である。これらの諸点を考慮すると、予冷の原則

は「早期・迅速・均一な冷却」の達成にある。

しかし、前にも述べたように高速度の冷却速度を得るために、冷却媒体の温度を極端に低く設定するとコールドショックと呼ばれる呼吸作用の停止を含む低温障害を引き起こす危険性が高くなる。このため、図3に示すような予冷専用のステージ型強制通風冷却装置などでは品温との温度差拡大を防ぐために、青果物温度の低下に伴って冷却空気温度を段階的に低く設定する方法が採られている⁵⁾。すなわち、図中の第1槽から第3槽に至る冷却空気温度の設定を可変とし、青果物のコールドショックを防止する配慮がなされている。

(3) 結露現象の防止

外気の露点温度が冷却した青果物や包装容器の表面温度より高い場合にはこれらの表面に結露を生じ、これを「発汗」と呼んでいる。発汗の状態は予冷直後の冷蔵により解消できるが、この状態が長引けば、この凝縮水が微生物の発育を刺激し、青果物の腐敗を引き起こす原因となる。このため、予冷後のハンドリングを迅速に行い、また、予冷库の出荷ヤードに低温前室を設けるなどして、出荷荷役時間中の結露発生を極力避ける必要がある。

(4) 冷蔵庫の利用法

冷蔵庫本来の機能は収納品の品温を一定に維持することであり、庫内で冷却や凍結を行うためのものではない。したがって、品温の高い青果物は予冷によりあらかじめ冷蔵庫内温度まで冷却しておかねばならない。これが予冷・冷蔵法の基本的考え方であって、通常、冷蔵庫の能力はこの考え方に基づいて設計される。このような冷蔵庫を用いて冷却や凍結を行おうとすれば、冷凍能力に無理を生じ、収納品の品質に重大な劣化を招くことに

なる。このことはきわめて大切な原則であるが、冷蔵の実際面では案外守られていない場合が多く、保管の依頼主と冷蔵業者との間のトラブルの原因ともなっている。

日本では予冷専用装置として、唯一真空冷却装置が普及し、空気式予冷装置の大部分は冷蔵庫を兼ねた強制通風および差圧通風方式となっている。今後、冷水冷却の利用も含め、予冷装置と冷蔵庫の機能分担を早急に再考する必要があると考えられる。

青果物の目減りや萎凋を防止するためには、冷蔵庫内を高湿度に保つ必要があるが、逆に高湿度は微生物の増殖を促進させる恐れがある。このために、表4と5に示した最適貯蔵湿度条件は、青果物の目減りは幾分犠牲にしても、微生物については安全である湿度として採用された値である。冷蔵庫内に発生する微生物の中でも、青カビ、クモノスカビ、ケカビおよびモニリア菌は低温に強く、これらが増殖すると青果物腐敗の原因となる。冷蔵庫内の壁にカビの発生がみられる場合には、先に述べた方法を用いて庫内の清掃・殺菌を行うとともに、常に衛生的管理に心がけねばならない。

青果物の冷蔵には庫内空気の換気、すなわち新鮮空気の導入が必要となる。特に、柑橘類、洋ナシ、タマネギ、ナッツ類などはエチレングスや揮発性成分を放出して、ほかの保管物の生理障害・腐敗・品質劣化を促進させることがあるので、これらの青果物をほかのものといっしょに保管することは危険である。

低温流通の中で冷蔵庫の機能・役割を考えると、青果物の入出庫・移送・積付けなどの作業が効率的に行われることが大切である。冷蔵庫内の積付け方法は、①床面積と空間の最大利用、②青果物周囲の空気循環、③荷姿などを考慮して行われる。通常、保管物と壁ならびに冷却器との間には30～50 cmの間隔を設け、床にはスノコ板を敷くなどして冷気の循環を良好にし、空気の停滞による品温ムラや微生物の増殖をおこさないよう配慮する必要がある。さらに、多くの青果物用冷蔵庫では、天井近くの空気温度がリターンダクトや冷却器に入る直前の空気より高くなっている。この温度差は冷気吸入・排出孔の位置や保管物の積付けパターンによってはさらに拡大する恐れがある。このように庫内の温湿度分布は空間的に変化するが、さらに扉の開閉頻度や季節的な外気温度の変動により時間的にも変化する。これらの変化を防止するためには、冷蔵庫の出入口に低温前室やエヤーカーテンを設け、パレットや電動フォークリフトなどの利用により荷役の迅速化をはかり、庫内空気と外気との接触を避けることが肝要である。

9. 輸送中の温度管理

低温流通機構の特徴は、同一の流通品目を取り扱うのに、立場の異なる多くの人々が関与することにある。流通過程における温度管理上の問題点は、多くの場合これらの人々の立場の違いによる温度管理意識の高低差に由来することが多い。すなわち、低温流通に限らず物流には多くの管理者が次々に関与するため、これらの管理者の品質維持に関する意識・技術レベルの統一と管理システムの確立が重要である。

低温流通における品温管理の第一歩は、コールドチェーンの結節点、すなわち、出荷時、消費地の物流拠点到着時、再配送時、小売店・量販店到着時、販売のための陳列時などにおいて、品温のモニタを確実に行うことに始まる。このモニタには荷物を「渡す側」と「引取る側」の双方の管理者が立会い、結節点での品温変化が双方で確認される必要がある。数量の確認と同時に品温変化の確認も同一の作業レベルで行うことが望ましい。品温のモニタを日常的に行えないような場合には、予備試験によって品温変化の定量的データを取得しておき、これに基づいて安全な温度管理システムを確立しておくことが肝要である。

輸送や配送を輸送業者に委託する場合には、「温度保証」を約束させ、温度管理を確実に行うことを要求するとともに、品温の測定法と定期的な検証方法を双方で確認しておく必要がある。また、協同輸送によって、荷物の配送などを委託する場合には、ほかの積荷の種類や品温を調べ、委託する品目の品質劣化を招くような積荷との混載を避ける契約にしておくべきである。これらの事項は航空機や船舶による長距離低温流通の進展に伴い、特に重要となってきており、船舶輸送により海外との青果物取引を行う際に考慮しなければならない要件となっている。

文 献

- 1) 石橋貞人：食品工業，14 (16)，45 (1971)。
- 2) 山木昭平：「果実の科学」(伊藤三郎編)，p. 23，朝倉書店，東京 (1991)。
- 3) Sutrisno：“A Fundamental Study on Storage and Ripening of the ‘La France’ Pear”：東京大学博士論文，p.153，(1994)。
- 4) 島川順二：「新版・第5版冷凍空調便覧V巻食品・生物・医学編」(日本冷凍協会編)，p.161，(1993)。
- 5) 石橋貞人・小島孝之・兼子健男：農業機械学会誌，31 (2)，121 (1969)。