

野菜の鮮度保持

農林水産省野菜・茶業試験場 野菜育種研究官 山下市二

1. はじめに

産地の移動と作型の組合せによって多くの野菜で周年供給態勢が整ったが、収穫・集荷、流通、市場、加工現場あるいは家庭における鮮度管理が不要になったわけではない。野菜の鮮度に対する消費者の志向には根強いものがあるだけに、品質の良い野菜を安定的に供給するために、また、産地間競争あるいは輸入野菜との競争に勝ち抜くためにも、野菜の鮮度低下要因を把握して、鮮度保持技術を適正に利用することは今後とも重要であろう。

2. 野菜の鮮度低下要因

1) 呼吸作用

野菜は収穫後も生命活動を続けているが、栄養の補給が断たれているため、糖類や有機酸などの体内成分を消耗しながら必要なエネルギーを生産している。これを呼吸作用と呼ぶ。呼吸

作用が活発であると、呼吸の基質である糖類や酸類の消耗が激しく、これらが風味成分であるところから風味が損なわれるなど鮮度や品質の低下要因になる。

温度が10℃変化した時の反応速度の変化を Q_{10} （温度係数）という。多くの化学反応の Q_{10} は2～3である。即ち、温度が10℃高くなると反応速度は2～3倍高くなる。野菜の呼吸作用も例外ではなく、温度が10℃上がれば呼吸量は2～3倍高くなり、そのぶん鮮度低下が促進される。逆に10℃温度を下げると呼吸量は1/2～1/3になり、日持ちが2～3倍延びる。冷蔵が鮮度保持の基本になるのはこのためである。

収穫した野菜の呼吸量は品目によって大きく異なる(表-1)¹⁾。ニンニクやタマネギのように日持ちの良い野菜は呼吸量の低いグループに属し、アスパラガス、ブロッコリー、ホウレンソウなど貯蔵の困難な軟弱野菜は呼吸量が高い

表-1 呼吸量による野菜の分類 (20℃)

mgCO ₂ /kg/hr				
25	50	100	200	
ハクサイ ニンニク タマネギ バレイショ スイカ	キャベツ キュウリ メロン ピーマン トマト カブ	カリフラワー セロリ ニンジン レタス	エンダイブ スナップ エンドウ ネギ	アーティチョーク アスパラガス エンドウ オクラ スイートコーン ホウレンソウ ブロッコリー マッシュルーム

ことがわかる。呼吸量の高い野菜は発熱量（呼吸熱）も多いので温度が上がり、ますます呼吸と発熱が激しくなる。したがって、収穫後直ちに冷却して呼吸作用を抑制することが鮮度保持の秘訣である。

2) エチレンの作用

エチレン (C_2H_4) は気体状の物質で、1 ppm程度の微量で野菜の成熟促進、呼吸量上昇、クロロフィル分解、軟化などの生理作用を示すほか、ニンジンでは苦味の生成、レタスでは黒点形成、キャベツでは葉柄離脱、アスパラガスでは木質化などを引き起こす。エチレンの作用を受けた野菜は老化が促進し、日持ちが悪くなる。

エチレンは野菜自身が成熟期に生成するだけでなく、傷害や微生物汚染によっても誘導されるから、成熟個体と未成熟個体の分別、傷や微生物被害のみられる個体の除去などの選別が必要となる。しかし、外観からでは熟度を判定し難い野菜もあるので分別は容易ではない。このような場合、エチレン除去装置や除去剤を用いて、エチレン生成の如何に関わらずエチレン除去態勢を整えておくことも選択肢のひとつである。

3) 蒸散作用

収穫野菜の蒸散作用は重量減少や萎凋、色つやの低下の原因となり、歯切れも悪くなる。葉野菜は果菜類や根菜類に比べて表面積が大きいので蒸散による萎凋が生じやすい。蒸散の盛んな野菜の鮮度保持には温度管理に加えて、高湿度条件あるいはプラスチックフィルムによる包装が必要である。

4) 生長作用

野菜の一生を発芽、着蕾、開花、結実、完熟、老化、腐敗とすると、キュウリは結実と完熟の間、ブロッコリーは着蕾まで、アスパラガス

は発芽と着蕾の間、モヤシ類は発芽後まもなくといった時期が収穫適期である。このように多くの野菜の収穫適期が生長の旺盛な時期に当たっているため、長期保存が難しい。また、ネギやアスパラガスを横にして保存すると、立ち上がろうとして屈曲し、商品価値が著しく低下する。この際余分なエネルギーを消費するので、成分の損耗を招き鮮度低下が速まる。

5) 低温障害

野菜の鮮度保持は冷蔵が基本であるが、一部の野菜は低温に保持するとかえって品質が悪くなることがある。このような現象を低温障害と

表-2 低温障害の発生温度と病徴

品 目	発生温度(℃)	病 徴
インゲンマメ	8-10	小陥没
オクラ	7	水浸状、腐敗
カボチャ	7-10	内部褐変、腐敗
キュウリ	7	小陥没、水浸状
スイカ	4	小陥没、異臭
トマト	7-10	水浸状、腐敗
ナス	7	ヤケ、種子黒変
ピーマン	7	小陥没、種子黒変
メロン	3-4	小陥没

呼ぶ。バナナを冷蔵庫に入れておくと黒変するのはこの典型的な例である。低温障害が発生する野菜の多くは、熱帯や亜熱帯原産で、ナス、トマト、メロン、サトイモなどにみられる。低温障害が発生する温度と症状(表-2)²⁾は品目によってさまざまであるから、野菜の貯蔵や流通においては対象品目の低温感受性について留意する必要がある。

6) 物理的障害

野菜は収穫時に切断傷害を受け、その後も、調製、選果、包装、輸送、荷役、加工などの各段階で振動や衝撃などによる傷害を被る機会は多い。傷害は呼吸量を増大し、エチレン生成を誘導する。また、ビタミンCの減少、褐変など

酸化に伴う品質低下、微生物被害の拡大の原因になる。

7) 微生物被害

野菜は収穫してしばらくは微生物に対する抵抗性を示し、圃場から健全な状態で収穫されたものなら、すぐに微生物被害が表れることはない。しかし、時間の経過とともに徐々に体内成分を消耗して細胞の活性が低下してくると、例えば低温貯蔵していても灰色かびなどの被害が広がる。また、病害の発生がエチレンの生成を助長する。予防のためには、圃場における防除、肥料・農薬の付着防止、雨中あるいは直後の収穫の禁止、丁寧な取扱が必要である。

3. 野菜の鮮度保持技術

1) 低温流通（コールドチェーン）

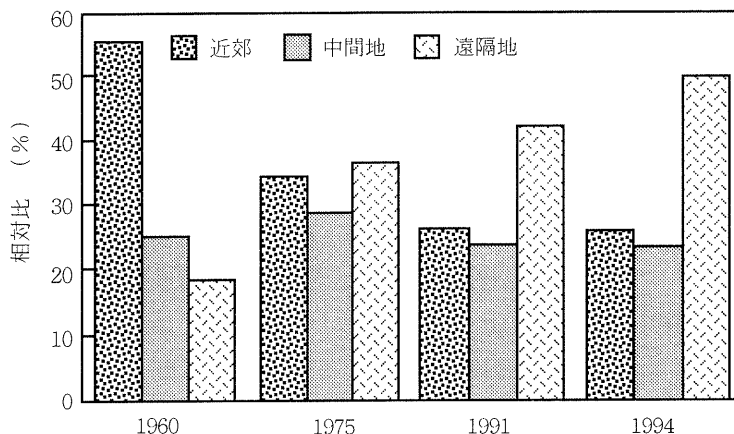
都市周辺の開発が進み、大都市卸売市場では

多くの野菜を遠隔地から集荷するようになってきている（図－1）。その結果、輸送に長時間を要するようになり、呼吸量が大きく鮮度低下が速い野菜は、市場に着くまでかなり鮮度低下が進んでしまう。そこで、低温流通体系（コールドチェーン）による鮮度保持が図られている。昭和40年（1965）に科学技術庁から勧告（いわゆるコールドチェーン勧告）が出されて以来、わが国は低温流通体系を整備してきた。今日、世界トップクラスの高鮮度野菜が供給されているのはその成果である。

2) 予冷

野菜を収穫後速やかに冷却して代謝活性を抑制することが鮮度保持の決め手になる。冷却処理を出荷に先だって行うところから予冷という。予冷はコールドチェーンの出発点として重要な位置を占めており、野菜の予冷出荷量は年々増加している。

予冷は、その冷却方式によって、①冷風、②真空、③冷水の3種類に区分されている（表－3）。通常の冷蔵庫よりも冷却力の大きな冷凍機とファンを用いて、冷風を吹きかける強制通風方式は、設備投資が比較的少なく済み、冷却対象となる品目に制限がないこと、



図－1 東京中央卸売市場入荷野菜の産地の推移

表－3 予冷の方式と特徴

冷却方式	品目 適応性	冷却 速度	冷却 均一性	冷却 コスト
強制通風	◎	△	△	◎
差圧通風	◎	○	◎	◎
真空	○	◎	◎	△
冷水	○	◎	◎	◎

◎優れている ○普通 △劣る

貯蔵庫としても利用できることからもっとも普及が進んでおり、イチゴ農家では、小型のものを個人で設置している例も多い。段ボール箱に詰めてからの使用が一般的であるが、段ボール箱は熱遮断性が高いため、冷却に時間がかかるのが欠点である。差圧通風冷却方式は、強制通風冷却のこうした欠点を改善するために考案さ

れたもので、段ボール箱の両側面に通気孔を開け、差圧ファンを用いて強制的に冷気を段ボール箱内に吸引し、冷気が生産物に直接触れるように設計されている。比較的安価な投資で、冷却速度が飛躍的に改善される。品目に関わりなく利用できる等のメリットがあるが、段ボール箱を積む方向に制限がある。真空冷却は、真空下における水の蒸発潜熱（気化熱）によって冷却する方法で、冷却速度はきわめて速く自動化も進んでいる。この方式は、表面積が大きく水分が蒸発し易い葉野菜の冷却に適しており、キャベツやレタスの予冷に多用されているが、トマトには適さないなど対象品目が限定されることと、設備・運転経費が高くなるなどの欠点がある。そこで、夜間電力の利用による低コスト化や青果物に冷水を吹き付ける（プレウェッティング）ことによって水分の蒸発しにくい根菜類にも適用できるハイドロバキューム方式が考えられている。一方、冷水冷却は設備が簡単で、冷却速度もきわめて速い。木箱や耐水性段ボール箱が普及している米国では、冷水シャワーや砕氷と水（リキッドアイス）による冷却が広く行われている。これらの容器が普及していないわが国では、冷水浸漬によるエダマメの予冷以外にはほとんど実用例がない。

3) 保冷

予冷された青果物は低温に保ったまま市場へ輸送されなければ、予冷した意味はない。保冷車や冷凍車の利用が不可欠であるが、氷や蓄冷剤と発泡スチロール箱等の断熱性容器を用いて通常のトラックで輸送することもある。また、輸送中の冷却を目的とする場合には多めの氷が必要となる。コールドチェーンが市場で切れることが問題とされるが、断熱容器を利用すると消費地まで一貫低温流通が出来る利点がある。

米国産ブロッコリーは、ワックス処理された耐水性段ボール箱に詰められ、多量の砕氷（トップアイス）とともに冷蔵船で輸送されるが、到着時に十分な氷が残っており鮮度がよい。湿度も高いから、保冷輸送の理想に近い形態といえる。

しかし、ワックスを含浸したりプラスチックフィルムを貼り付けて耐水性を持たせた段ボール箱はリサイクルが困難である。また、発泡スチロール箱は、大規模卸売市場では溶融してブロック状にして輸出し、輸出先で玩具、自動車部品、カセット等々にリサイクルされるが、回収、リサイクルに要するコスト等、廃棄物処理問題が解決したわけではない。

そこで、リサイクルできる耐水性段ボール箱や発泡スチロール容器に代わる熱遮断性段ボール箱のような機能性段ボール箱が開発されている。また、段ボール箱より大きくコンテナよりは小さな単位で日配品等を保冷輸送するのに適したコールドロールボックスは、キャスター付きで移動性に富んでいる。断熱シートで覆った簡単なものから、蓄冷剤を搭載するタイプ、バッテリーで送風機を回して蓄冷剤に風を当てて冷却効率を高めるタイプなどがある。配送先でトラックのドアを開けてもボックス単位では閉ざされているから、低温が持続する。ユニットロードシステム用機器といえる。

蓄冷剤は、一般に水、融解温度調節剤、保形性を付与する水溶性高分子物質からなり、袋あるいはスティック状に成型されている。野菜の鮮度保持のためには、目的地に到着後も蓄冷剤の冷却力が残っていることが必要である。

4) MA包装

野菜を低酸素雰囲気におくと、酸素濃度が10%を切るあたりから呼吸抑制効果が認められる

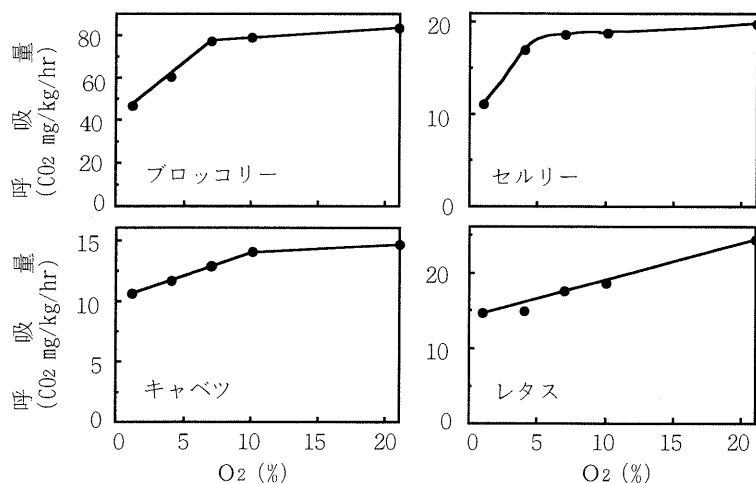


図-2 野菜の呼吸に及ぼす低酸素の影響(10°C)

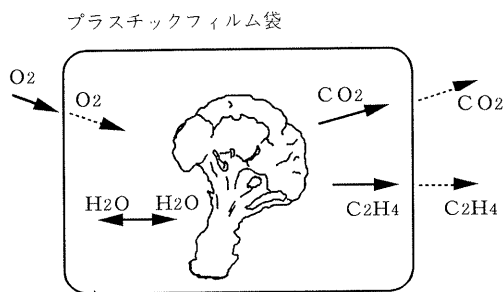


図-3 MA包装概念図

ようになり、酸素濃度の低下とともに一層呼吸量は小さくなる(図-2)^{3,4)}。これに二酸化炭素が加わるとさらに呼吸は抑制されて、鮮度保持効果が顕著になる。

野菜をポリエチレンやポリプロピレン袋で密封包装すると、呼吸作用によって袋内の酸素濃度が低下し、二酸化炭素濃度が上昇する(図-3)から、鮮度保持効果を得ることができる。これをMA (Modified Atmosphere)包装、あるいはMAP (Modified Atmosphere Packaging)と呼び、比較的短期間の流通における段ボール箱単位の鮮度保持包装あるいは小口の消費者包装として行われている。

野菜のMA包装には、ポリエチレンのようなガス透過性の高いフィルムが使用されるが、温

度が上昇したり振動により呼吸量が増加すると、包装容器内が極端な低酸素・高二酸化炭素状態となり、ガス障害が起きる危険性がある。そこで、フィルムに針孔や微細孔を設けてガス透過性を高めたり、複数のフィルムを積層したり、フィルム化時に架橋度を変えてガス透過に選択性を持たせ

た機能性フィルムが開発されている。また、フィルム表面が水分で曇ったり結露するのを防止する防曇フィルム、基材のプラスチックに鉱物等を混入してエチレン除去や殺菌効果を付与したと称されるもの、廃棄後土壤中で分解する生分解性フィルムなどの開発も進んでいる⁵⁾。

5) 鮮度保持剤(材)

鮮度保持資材には、すでに述べた機能性フィルムや蓄冷材、機能性段ボールの他に鮮度保持剤と呼ばれる物がある。エチレン除去剤、脱酸素剤、ガス吸着剤、二酸化炭素発生剤、アルコール発生剤などである。このうち、野菜の鮮度保持に使用されているのは主としてエチレン除去剤である。また、コンテナ、冷蔵庫などにエチレン除去装置の設置が増加している。

i) エチレン除去剤

野菜のMA包装袋内にエチレンが生成すると、逃げ場がないため袋内に蓄積して鮮度低下を速める。MA包装時にエチレン除去剤を同梱しておくことこのような害を回避できる。小袋詰めやシート状の各種エチレン除去剤が市販されており、ゼオライトに過マンガン酸カリウムを吸着させたもの、活性炭で吸着除去するもの、パラ

表-4 各種資材のエチレン除去特性

除去剤	除去速度			除去率			吸水による 吸着エチレンの放出	資材の種類
	無処理	乾燥	高温	無処理	乾燥	高温		
A	◎	◎	◎	◎	◎	◎	なし	活性炭+?
B	◎	◎	◎	△	◎	△	あり	活性炭+除湿剤
C	◎	◎	◎	○	◎	△	あり	活性炭+除湿剤
D	◎	◎	○	△	△	X	あり	合成ゼオライト
E	◎	◎	○	△	△	X	あり	合成ゼオライト
F	X	X	X	X	X	X	—	天然ゼオライト
G	◎	◎	◎	◎	◎	◎	なし	PdCl ₂ /活性炭
H	◎	◎	◎	◎	◎	◎	なし	PdCl ₂ /活性炭
I	◎	◎	◎	△	◎	△	あり	PdCl ₂ /活性炭
J	X	—	X	X	—	X	—	除去フィルム
K	X	—	X	X	—	X	—	除去フィルム
L	X	X	X	X	X	X	—	除去シート
M	◎	◎	◎	◎	◎	◎	なし	臭素処理剤

初期エチレン濃度：50ppm(300ml) A～M：市販除去資材
 除去速度：◎極めて速い，○：速い，△：遅い，X：除去効果なし
 除去率（残存エチレン濃度）：◎極めて高い(1ppm以下)，
 ○高い(1～5ppm)，△低い(5～25ppm)，X除去効果なし(25ppm以上)

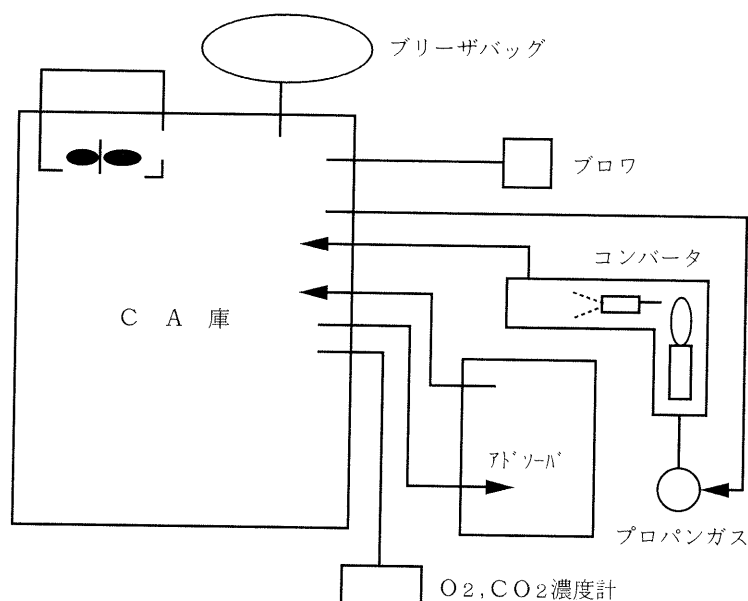


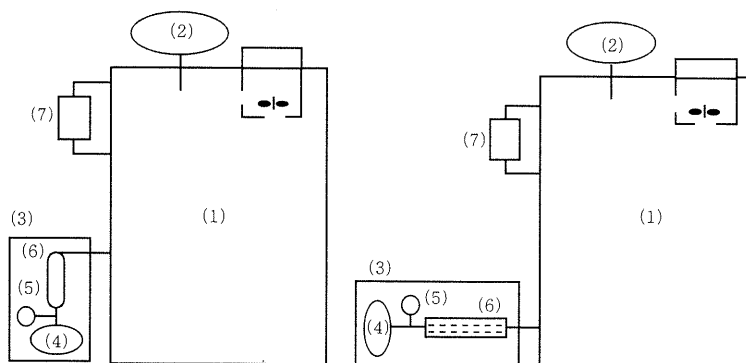
図-4 再循環方式CA貯蔵装置

ジウムの触媒作用で分解するものなどがある。しかし、吸着タイプの除去剤は吸着量に限界があったり、高温下で性能が低下したり、吸水すると吸着除去したエチレンを放出するなどの問題がある。過マンガン酸カリウム剤は、廃棄の問題や誤食による危険性があるなど、さまざまな問題を抱えている。表-4に市販エチレン

除去剤のエチレン除去特性を示した^{6,7)}。

ii) エチレン除去装置

エチレン除去機能を備えた冷蔵庫やトラックに積載できるタイプの小型エチレン除去装置が市販されている。除去原理は、紫外線を照射して発生するオゾンと発生期酸素でエチレンを酸化して不活性化する、パラジウム触媒でエチレ



(1)プレハブ冷蔵庫、(2)ブリーザバッグ (3)修整空気発生装置、(4)空気圧縮機、
(5)調圧ユニット、(6)分子篩(左)、ガス分離膜(右)、(7)酸素、二酸化炭素センサ

図-5 MASCA貯蔵装置の構成(左:分子フルイ型、右:ガス分離膜型)

ンをアセトアルデヒドに変化させる、活性炭フィルターでエチレンを吸着する、酸化チタンに光を照射する光触媒で二酸化炭素と水に分解するなどである。導入に当たっては、除去速度、除去容量、温度・湿度の影響、安全性、持続性、メンテナンスなどを考慮する必要がある。

6) CA貯蔵

MA包装の項で述べたように、低酸素・高二酸化炭素雰囲気は野菜の鮮度保持に有効である。装置を使って低酸素・高二酸化炭素雰囲気を精度良く作って貯蔵する技術をCA(Controlled Atmosphere)貯蔵という。リンゴの長期貯蔵に広く利用されており、野菜ではニンニクの貯蔵が行われている。

表-5 野菜のCA条件

品 目	温 度 ℃	酸 素 %	二酸化炭素 %	貯蔵期間 日
アスパラガス	2	空気	10-14	7
イチゴ	0	0	5-10	28
オクラ	10	空気	4-10	-
カリフラワー	0	2-3	3-4	28-35
キャベツ	0	2-3	3-6	120-150
キュウリ	12	1-4	0	-
サヤエンドウ	0	10	3	28
スイートコーン	0	2-4	5-10	-
セルリ	0-0.6	0.5-1	0	16
タマネギ	0	0-1	0	-
トマト	6-8	3-10	5-9	35
ナガイモ	3-5	4-7	2-4	240-300
ニンニク	0	2-4	5-8	300-360
ハクサイ	0	1-2	0	-
バレイショ	3	3-5	3-5	210-240
パセリ	0	8-10	8-10	-
ブロッコリー	0	1-2	5-10	-
ホウレンソウ	0	7-10	5-10	21
マッシュルーム	0	空気	10-15	-
メキャベツ	0	1-2	5-7	-
メロン	4.4	1	0-5	30
リーフレタス	0	1-3	0	-
レタス	0	1	0	28-42

雰囲気低酸素・高二酸化炭素にするには、貯蔵庫内の空気をコンバータと呼ばれる燃焼装置に導き、プロパンガスを燃焼させて酸素を二酸化炭素に変換して酸素濃度を低下させる。触媒バーナーを利用して、庫内の酸素濃度がかなり低くなくても燃焼するように設計されている。過剰に生成する二酸化炭素はアドソーバと呼ばれる装置で活性炭に吸着して除去する(図-4)⁸⁾。装置が大型で複雑になるため、貯蔵経費が高くなるので、安価な野菜へ適用することは経済的に難しい。CA貯蔵の低コスト化方法として、空气中に多量に存在する窒素と野菜や果実の呼吸作用による二酸化炭素を利用するMASCA方式(図-5)^{9,10)}が提案されている。空気からの窒素の分離には、分子ふるいを使用したPSA(Pressure Swing Adsorption)あるいは気体分離膜を使用している。野菜のCA貯蔵に適した条件を表-5¹¹⁾に示した。

4. おわりに

近年の経済状況、輸入生鮮野菜の増加などの影響を受けて、野菜の流通段階においても低コスト化が望まれており、鮮度保持資材の利用が手控えられるようになってきている。しかし、

野菜の商品性において鮮度は依然として重要な要素である。野菜の収穫後生理を理解して、鮮度保持技術を適正に利用していただきたい。本文がその一助になることを期待している。

引用文献

- 1) 西條了康：青果物流通入門。安井秀夫編著，p.98，(技報堂，東京)，(1990)
- 2) 邨田卓夫：日食工誌. 27, 411(1980)
- 3) 壇 和弘・永田雅靖・山下市二：日食低温誌. 21, 3(1995)
- 4) 壇 和弘・永田雅靖・山下市二：日食低温誌. 21, 127(1995)
- 5) 山下市二：食科工. 45, 711(1998)
- 6) 山下市二・川嶋浩樹・近藤康人・壇 和弘・永田雅靖：日食低温誌. 22, 191(1996)
- 7) 山下市二・壇 和弘・永田雅靖：日食低温誌. 23, 119(1997)
- 8) 工藤亜義：日食工誌. 29, 435(1982)
- 9) Yamashita, I. : JARQ, 28, 185(1994)
- 10) 山下市二：日食工誌. 43, 339(1996)
- 11) 山下市二：園芸農産物の鮮度保持。青果物予冷貯蔵施設協議会編，p.197，(農林統計協会，東京)，(1991)

— 防除指導手帳 —

企画・編集／JA全農肥料農薬部
B6判(ポケット判) 350頁 3,500円(税込)

主要作物(稲、麦、豆類、芋類、野菜、果樹)の病気・害虫・雑草をカラー写真で掲載し、病徴と診断。害虫の形態・生態と被害、雑草の形態及び防除のポイントと適用薬剤を解説。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665