

◇◇◇◇ 解説記事 ◇◇◇◇

青果物向け包装に関する最近の研究事例

北 澤 裕 明

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門

1. はじめに

わが国における野菜および果物（以下、青果物）の流通中のロス（減耗率）は、それぞれ11%および17%程度と見積もられる [1]。輸送中のロスは大方、生理的劣化および物理的損傷ならびにそれらに付随する腐敗に起因しており、それらを防止するために包装はなくてはならないものである。本稿では、青果物の包装に求められる基本的な事柄について述べるとともに、包装設計に関する最近の研究事例を紹介する。

2. 青果物の包装に求められる要件

明確な定義があるわけではないが、便宜上、生理的な変化による劣化を防止するための包装を品質保持包装、物理的なストレスによる損傷を防止するための包装を損傷防止包装と分けて考えることが多い。以降、それぞれの機能に関して説明する。なお、それらは包装の3つの機能である一次機能（保護性）、二次機能（利便性もしくは便利性）、三次機能（快適性もしくは情報伝達）のうち一次機能に該当するものである。二次機能および三次機能については詳しく触れないが、わが国では生産者が直接、梱包・包装作業に従事していることが多く、二次機能に関しては実需者・消費者とともに生産者における利便性が強く求められる点が特徴的である。

2.1 品質保持包装に求められる要件

品質保持包装では、温度保持機能（品温変化に対す

る緩衝機能）、水分保持（調湿）機能、ガス調節機能などが求められる。青果物は、収穫後も呼吸や蒸散といった代謝活動を維持しているが、それらは周囲の温度を下げることによって大幅に抑制することができる。大半の青果物の場合、呼吸量（例：二酸化炭素生成速度）は、品温が10℃下がれば半分程度となる。コールドチェーンによる輸送であっても積荷の中継時などに避けられない温度上昇に遭遇する場合も多々あり、この点を踏まえると温度保持機能は重要である。また、青果物のしおれと深く関係する蒸（発）散は、高湿度に保つことにより抑制できることから、水分に対するバリア性能も不可欠である。なお、青果物の呼吸は大気中と比較し低酸素（+高二酸化炭素）環境に置くことによって抑制することができる。そこで、包装に「ある程度の」ガスバリア性能を付与し、青果物周囲のガス環境を低酸素（+高二酸化炭素）となるように設計することも品質保持において求められることがある。

これら全ての性能を満たす包装資材として、一般的にプラスチックフィルム（PP, PE, PETなど）が用いられる。水分保持機能に関しては、過湿（結露）が腐敗を助長したり外部からの視認性が悪化したりすることを防止するために、フィルム表面が親水性となるように各種の処理を施したり、水蒸気が逃げやすくなるように通気孔を付与したりする処理が行われることもある。また特にガス環境の調節機能に特化したものは、MA (Modified Atmosphere) 包装とよばれる。これについても呼吸量の多い品目などを対象とし、フィルム表面からのガス透過速度のみでは酸素および二酸化炭素濃度の調節が追い付かない場合には、フィルムに微細孔を付与したり、フィルム内の結晶構造に取って代わり（ガス透過量の高いスポットや領域）を作出したりする処理が行われることもある。

なお、エチレンと包装との関わりについては本稿では割愛するが、エチレンに対する感受性は品目や品目ごとの成熟ステージによって様々であり、このことが包装単独での対策を難しくしているという事実がある。

2.2 損傷防止包装に求められる要件

青果物の損傷要因となる物理的ストレスとしては、トラックなどの輸送機関や人的な荷扱いに起因する振

著者略歴

北澤裕明 (Hiroaki KITAZAWA)

2007年 鳥取大学大学院連合農学研究科生物生産学専攻博士課程修了博士(農学)

同年 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所 特別研究員

2015年 神戸大学大学院海事科学研究科海事科学専攻博士課程後期課程修了博士(工学)

現在 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構食品研究部門 上級研究員

動、衝撃、圧縮などがあり、輸送を想定する経路において、それらのストレスがどこでどの程度発生しているのかを把握することが包装設計の効率化につながる。その理由としては、それぞれのストレス要因が青果物に与える影響が異なること、およびそのことによって対策の方向性が異なってくる事が挙げられる。

振動が青果物に加わる場合、小さな力（加速度）が継続して作用することとなるため、その影響は擦れ傷として現れることが多く、また、損傷の発生においては周波数依存性（共振）が大きい。そこで、振動対策においては実輸送で想定される振動の詳細について把握しておくとともに、共振時の振動加速度伝達率の増大や対象物の動きを抑えることに主眼を置いた設計が求められる。加速度伝達率を増大させず、対象物の動きを抑制するための包装資材（緩衝材を含む）や形状が選択される。

衝撃では、振動と比較して大きな力が瞬間的に作用し、また圧縮では一定もしくは低い周期の応力が比較的長い時間作用することから、これらの影響は圧迫傷あるいは潰れといった変形として現れることが多い。衝撃対策では、実輸送中に想定される衝撃の加速度、作用時間および繰り返し回数の3要因を考慮した上で、緩衝材の選択や配置が適切に行われる必要があり、一般に素材としては発泡プラスチック系の素材のほか、パルプモールドなどの紙系資材が利用される。また、応力対策においては外箱などの包装容器自体の強度を向上させることが重要となる。

3. 最近の包装事例

ここでは最近、筆者が所属する農研機構食品研究部門が提案もしくは性能を実証した品質保持包装および損傷防止包装の事例を紹介する。コストや作業効率などを勘案すると、実用化までに時間を要すると考えられるものも含まれているが、各検証においては、どういった点を抑えておくべきかを明確にしているのので、これらの事例が実用的な包装設計のヒントとなることを期待している。

3.1 品質保持包装

キャベツやレタスなどの葉菜類では、流通中の水分減少を抑制することが品質保持の要となる。この点を踏まえ、防湿加工された段ボール箱を利用したキャベツおよびレタスの水分保持方法を提案している。この方法では、防湿段ボール箱による包装が葉色や主要な内容成分指標である可溶性固形物含量およびアスコルビン酸含量の変化にネガティブな影響を及ぼさないことが確認できている [1,2]。

なお、防湿段ボール箱はそれ自身の吸湿が少ない、

あるいは遅い傾向にあり、これを外箱に用いた場合、多段積み時などにおける胴膨れや座屈の発生を減らすことが可能となる。この点に着目すれば、圧縮から内容物を保護する、損傷防止包装の一種として活用することも可能である。

さらにキャベツを対象として、ポリエチレンフィルム内にこれを梱包し、さらにそれを外箱に収納するバッグ・イン・ボックス型包装を提案している (図1)。この方法では、収穫後に予冷などの冷却プロセスを伴う場合、その遅れが生じる可能性があるが、防湿段ボール箱を用いた包装方法と同様に、その他の品質項目にネガティブな影響を及ぼさないことが確認できている [3]。防湿性能が高まる一方でバッグ内が過湿状態になることが懸念されることから、現在、腐敗の発生を含めた衛生に関する検証を進めている。

3.2 損傷防止包装

リンゴ果実を、果実よりもあえて一回り小さなパルプモールド製のトレーに収納して宙に浮かせ、落下時などの衝撃が果実に直接伝わりにくくする包装方法を提案している (図2) [4]。1枚のパルプモールドトレーだけでは強度が確保できない場合には、2枚重ねる (トレーの中に一回り小さなトレーを配置する) ことによりやはり果実を宙に浮かせることが可能となる [5]。こ



図1 通常の段ボール箱 (上) およびバッグ・イン・ボックス型包装 (下) によるキャベツの梱包
Wambrauw *et al.* [3] の図を改変。
この例では、バッグの開口部を折り返しプラスチックテープで止めている (○内)



図2 パルプモールドトレーを利用したリンゴ用の損傷防止設計
右側の図 [4] は、トレーの断面を示している。果実が宙づりとなっていることがわかる。

の方法は、一般的なリンゴ箱など、果実を2段重ねにして梱包する包装方法では利用できないものの、少数の果実を梱包する携行容器などへの実装が見込まれる。また、リンゴと形状が類似したナシ向けの包装への応用も期待できる。

さらに、ブドウを対象とした損傷防止包装も提案している。ブドウでは、輸送中の振動や衝撃によって果粒が果柄から離れる、いわゆる‘脱粒’が発生することがある。脱粒を防止するためには、段ボール箱などの包装容器内の隙間を極力減らすことが重要である。しかし、ブドウにおいて果房の形状や大きさは様々であり、既定の寸法や形状の緩衝材を用いて包装容器内の隙間を解消することは難しい。この点を踏まえ、口径が異なる貫通穴をあけたシート状の緩衝材を複数枚積層し、それらの組み合わせによって形成される空間内に果房を収納する方法を提案した (図3) [ii,6]。この方法を用いれば、緩衝材の積層に際し、口径の組み合わせを変えることによって、果房の形状や大きさの違いに柔軟に対応しつつ、包装容器内の隙間を大幅に減

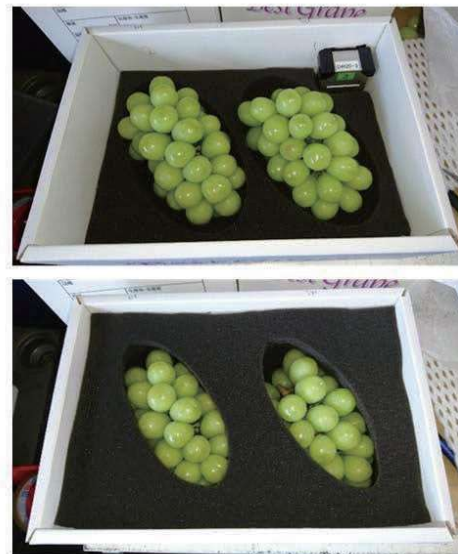
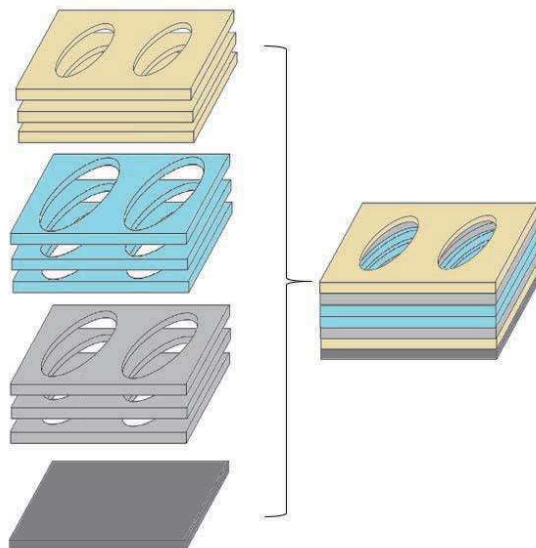


図3 緩衝材の積層方法 (左) および果実を梱包する方法 (右) [ii]
あらかじめ緩衝材を数枚積層し、果房を置いた後 (右上)、さらに緩衝材を積層し包装容器内の隙間を埋める (右下)

らすことが可能である。汎用の2 kg 箱を用いた落下試験を通して、1回であれば60 cm 程度の高さから落下させても、脱粒がほとんど発生しないことを実証済である [6]。現在、緩衝材の素材としては、いわゆるスポンジシートを想定しているが、どのような材質が適切であるか、あるいは一枚あたりの厚さをどのように設定すべきかなど、今後さらに検討しなければならない。

4. お わ り に

以上、包装に求められる要件および包装設計に関する最近の研究事例について、品質保持包装と損傷防止包装とに分けて解説した。そのような分別はさておき、今後、青果物の包装には国際競争力の強化 (輸出と国内安定供給の両輪)、包装資材およびその廃棄物の削減 (環境配慮と低コスト化)、HACCP 義務化 (衛生管理的確化) などに貢献あるいは対応できることが求められる。さらに、市場外流通の拡大や農業の担い手不足・IT化なども見据えたうえで、現在、生産者主体で行われている梱包・包装作業がどのように変わるのか、変わるとすれば包装は今後どのようにあるべきか、といったことも念頭に入れておかなければならない。本稿では、品質保持に関する基本的な事項と最近の研究事例についてのみ取り扱ったが、それらが何らかの形で将来の包装設計の在り方を模索するための一助となればさいわいである。

謝 辞

3.1 で紹介した事例は、内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP2)」によって得られた成果であ

る。また、3.2で紹介した事例は、農林水産省「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」によって得られた成果である。ここに記して御礼申し上げる。

引用文献

- 1) D. Z. K. Wambrauw, Y. Sato, N. Sugino, S. Matsumoto, L. Li, H. Kitazawa; Effect of moisture-proof corrugated boxes on water loss from cabbage during storage, *J Appl. Bot. Food Qual.* **93**, 54-58 (2020).
- 2) D. Z. K. Wambrauw, Y. Sato, N. Sugino, S. Matsumoto, H. Kitazawa; Moisture-proof corrugated fibreboard box effectively reduces water loss in lettuce during storage, *J. Packag. Sci. Technol., Jpn.* **29**, 137-143 (2020).
- 3) D. Z. K. Wambrauw, Y. Sato, N. Sugino, S. Matsumoto, Y. Li, L. Li, T. Watanabe, H. Kitazawa; Impact of bag-in-box packaging on the quality attributes of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), *Packag. Technol. Sci. Online* (doi: 10.1002/pts.2504) (2020).
- 4) 石川豊, 永田雅靖, 北澤裕明; 持ちやすく損傷せず品質保持ができるリング携行容器, 平成 27 年度食品試験研究成果情報, 農研機構食品総合研究所, **28**, 88-89 (2016).
- 5) H. Kitazawa, L. Li, N. Hasegawa, J. Rattanakaran, R. Saengrayap; Evaluation of shock-proof performance of new cushioning system for portable packaging of apples, *Environ. Cont. Biol.* **56**, 167-172 (2018).
- 6) H. Kitazawa, S. Akashi, N. Hasegawa, M. Nagata; Proposal for an efficient packaging system for preventing shock-induced berry drop in grapes during transportation and handling, *Food Preser. Sci.* **43**, 23-28 (2017).

引用 URL

- i) 農林水産省: 食糧需給表 (平成 30 年度概算値)
<http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/> (2020 年 5 月 12 日)
- ii) 北澤裕明, 永田雅靖, 明石秀也; ブドウの脱粒を防止可能な包装方法の開発, 平成 29 年度成果情報, 農研機構食品研究部門, http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/nfri/2017/nfri17_s13.html (2018). (2020 年 5 月 12 日)

本稿は日本食品工学会 食品新技術研究会第 24 回例会 (2019 年 11 月 15 日) における講演を解説記事としてまとめた。