

ノ ー ト ~~~~~

収穫時期の違いがブロッコリーの重量減少 および黄化発生に及ぼす影響

杉野 直輝*、渡邊 高志*、大石 麻南登**、
佐藤 文生**、北澤 裕明*,***

Effect of Harvest Season Variation on Mass Loss and Yellowing of Broccoli (*Brassica oleracea* L. *italica*) during Storage

Naoki SUGINO*, Takashi WATANABE*, Manato OHISHI**,
Fumio SATO** and Hiroaki KITAZAWA*,***

収穫時期および収穫後の温度履歴の違いがブロッコリー貯蔵中の重量および色彩変化に及ぼす影響を調査した。2020年の6月(初夏)および11月(秋)に収穫したブロッコリーを、輸送を想定した2日間、0°C、5°C、10°Cおよび20°Cで貯蔵した後、5°Cで貯蔵した。その間、重量変化を定量的に解析するために重量減少速度 k を算出するとともに、目視により花蕾の黄化程度を評価した。試験の結果、11月収穫の試料については、6月収穫のそれと比較して20°C貯蔵での重量減少や黄化が遅いことが確認できた。従って、秋季に収穫したブロッコリーでは、現状のコールドチェーン(5~10°C)よりも高い温度帯での輸送実現の可能性はある。

We investigated the effect of the differences in harvest seasons and temperature history on the mass loss and color change of broccoli (*Brassica oleracea* L. *italica*) during storage. Broccoli harvested in June 2020 (early summer) and November 2020 (autumn) were stored at 0, 5, 10, and 20 °C for 2 days for simulating transport. They were then stored at 5 °C for 5 days. During the storage, we calculated the mass loss rate, k , to quantitate the weight loss and inspected the flower bud visually to evaluate the degree of its yellowing at 20 °C. Our results showed that the rate of mass loss and the yellowing of broccoli harvested in November was slower than that in June. Thus, there is a possibility that the broccoli harvested in autumn season can be transported at higher temperature zones than those of the conventional cold chain (5–10 °C) in Japan.

キーワード : 外観評価、季節間差、コールドチェーン、速度論解析、流通

Keywords: cold chain, distribution, kinetics analysis, seasonal difference, visual evaluation

* 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, Institute of Food Research, NARO.

** 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門, Institute of Vegetable and Floriculture Science, NARO

*** 連絡者 (Corresponding author), 農研機構食品研究部門 (〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12)

Institute of Food Research, NARO, 2-1-12 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan

TEL: 029-838-7191, FAX: 029-838-7996, Email: ktz@affrc.go.jp

1. 緒言

ブロッコリーは栄養成分に優れており、国内流通量も多い作物である¹⁾。一般に、収穫されたブロッコリーは物流業者により流通され、各食品加工会社や小売店で短期間貯蔵されることもある。貯蔵温度変動の多い流通環境においてブロッコリーの品質劣化は顕著であることから、これまで温度を主体とした最適貯蔵条件の探索が行われてきた²⁾。一方、従来のコールドチェーンにおける温度帯(5~10°C)よりも高い温度帯での輸送が実現できれば、エネルギーやトラック等輸送機関の効率的な利用が果たせることから、今後、これらの観点に則した貯蔵条件の探索が求められるものと予想される。

ブロッコリーは、収穫時期の違いにより、貯蔵特性が大きく変化することが報告されている³⁾。このことから、収穫時期が異なれば、貯蔵温度の違いがブロッコリーの品質変動に与える影響の程度も変化する可能性が考えられる。しかし、栽培・調製履歴が明確なサンプルを用い、かつ収穫時期および貯蔵温度の二つを変数として、ブロッコリーの貯蔵特性を解析した例はほとんどない。

本研究では、ブロッコリーの代表的な品質項目として重量変化および外観変化を評価し、収穫時期および貯蔵温度の変更が、ブロッコリーの貯蔵特性に与える影響について考察した。

2. 実験

2.1 実験試料

農研機構野菜花き研究部門(茨城県つくば市観音台)の圃場で栽培した(*Brassica oleracea* L. *italica*、品種名‘おはよう’) (株式会社サカタのタネ)を用いた。春作では2020年2月12日に、秋作では2020年8月3日に培養土(ナプラタイプS、ヤンマー、N:P₂O₅:K₂O = 50:500:100 (mg × L⁻¹))で満たしたセルトレイ(25 ml × 128 穴)に播種、温室で育苗した。温室は最低気温が10°C以下にならないように管理した。播種2週後にセルトレイごとに液体肥料(OK-F-9、OAT アグリオ株式会社、N:P₂O₅:K₂O = 300:300:300 (mg))を与えた。圃場には、春作、秋作の場合もN:P:K = 35:35:35 (kg × 10 a⁻¹) および炭酸苦土石灰を100 kg × 10 a⁻¹を施肥した。春作では2020年3月23日、秋作では2020年9月1日に株間0.35 m、条間0.6 m (栽植密度4762本 × 10 a⁻¹)で定植し、栽培した。

2020年6月17日および2020年11月24日に花蕾部の直径が、13~15cm以上のものを収穫し、農研機構食品研究部門へ搬入し、余分な葉を切り落とすなどの調製を行った。Fig. 1に調製後のブロッコリーの例を示す。

6月および11月に収穫されたブロッコリーの調製後重量は、それぞれ412.4 ± 33.7 g および463.6 ± 10.9 gであり、春作より秋作の株が有意に大きかったが(*p* < 0.01)、茎部と花蕾部のバランスが変わるような明確な形状の違いはなかった。



Fig. 1. Typical sample harvested in June.

2.2 実験条件

2.2.1 貯蔵試験

実流通を想定し、2日間の輸送工程を想定した期間および保蔵期間を設定した。輸送を想定した期間の温度は 0°C、5°C、10°Cおよび 20°Cとした。

ブロッコリーは内寸 0.33 m × 0.33 m × 0.30 m のチャンバー内に 3 株ずつ静置した。チャンバーには、直径 1 cm 程度の通気孔を 3 つ備えているほか、蓋を完全に閉めず 1 cm 程度の間隙を確保した。これらによって貯蔵期間中はチャンバー内の通気が確保された。各温度で 2 日間貯蔵し、以降に示す重量測定および外観評価を行った後、すべてのチャンバーを 5°C の恒温恒湿庫に移し、5 日間貯蔵した。全ての温度条件において、チャンバー内の湿度は 90%以上とした。

2.2.2 重量測定

貯蔵試験中における 0 (開始時)、2、3、5、6 および 7 日目に重量を測定した。貯

蔵前後の重量変化を下記の式により算出した。

$$\text{Mass loss}(-) = \frac{(M_0 - M)}{M_0}$$

M は貯蔵中のブロッコリーの重量、 M_0 は 0 日目のブロッコリーの重量である。

2.2.3 速度論解析

2.2.2 の試験から得た重量変化のデータを定量的に解析するため、下記の式により、重量減少速度 k を算出した。

$$\text{Mass loss}(-) = kt$$

ここで t は貯蔵期間である。

2.2.4 外観評価

貯蔵開始後、0、2、3、5、6 および 7 日目に、花蕾を真上から観察し、緑の退色とともに黄色が全体的に確認された場合、黄化発生と判断した。

2.2.5 統計処理

各調査日において解析対象とした株数は 6~9 であった。各貯蔵温度試験区における重量減少速度への収穫時期の影響を解析するために、表計算ソフトウェア (Microsoft Excel 2019、マイクロソフト・ジャパン) により、Welch の t 検定を行った ($p < 0.05$)。

3. 実験結果および考察

3.1 収穫時期および貯蔵温度が重量変化速度に及ぼす影響

Fig. 2 に、各収穫時期におけるブロッコ

リーの重量変化速度の温度依存性を示す。この結果から、10°C以下での貯蔵においては、重量減少速度に対して、収穫時期および温度変化の影響は小さいことが分かる。しかしながら、20°Cでの貯蔵試験においては、急激に重量減少速度が増大し、また、収穫時期による違いが顕著となった。貯蔵温度増大による重量減少の加速については、Paulsen ら⁴⁾が調査しており、要因は貯蔵温度の上昇による呼吸量の増大であると推察されている。

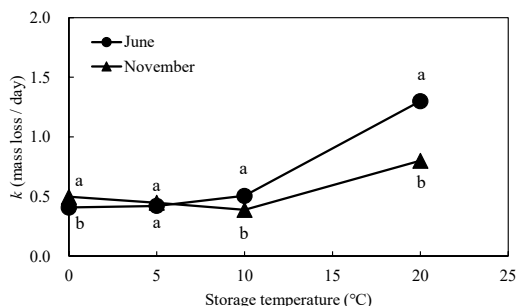


Fig. 2. Harvest season and temperature dependences of the mass loss kinetics of broccoli during 0-day to 2-day. Lower case letter indicates significant differences as analyzed by Welch's *t*-test ($p < 0.05$).

また、11月に収穫したブロッコリーでは、6月に収穫したものと比較して、貯蔵温度の増大による重量減少速度の変化が小さいことが明らかとなった。収穫時期の違いによる重量減少の促進については、Conversa ら⁵⁾が調査しており、栽培時の最高気温の違いが呼吸量の増大に寄与するためであると推察している。収穫時の

気温は、春作では24.8°C、秋作では10.3°Cであったことから、本調査においてもこれらの違いが、重量減少速度に影響をおよぼした可能性が考えられる。また、圃場近辺の気象データ⁶⁾より算出した、栽培期間中の気温の積算値(°C × h)は、6月に収穫したものでは約33400、11月に収穫したものでは約36500であり、それらの差は小さい。しかし、前者の場合では定植から収穫に向かって平均気温が上昇した一方で、後者の場合では下降した(データ略)。従って、上述の報告⁵⁾における推察を支持するとすれば、生育後半、特に収穫直前の平均温度の違いが重量減少程度に影響を及ぼした可能性もある。

3.2 収穫時期および貯蔵温度が黄化発生に及ぼす影響

Fig. 3に貯蔵試験中におけるブロッコリーの外観変化を示す。6月に収穫されたブロッコリーでは、20°Cおよび10°Cの貯蔵試験区で、それぞれ2日目および7日目に花蕾の黄化が確認された。一方、11月に収穫されたブロッコリーでは、20°Cの貯蔵試験区で、5日目に花蕾の黄化が確認されたが、10°C以下の貯蔵区では、7日目までに黄化は見られなかった。

Toivonen らの報告⁷⁾によると、ブロッコリーの貯蔵温度の上昇に伴う外観や色彩の変化は、重量減少の増大と同様に呼吸量の増大に起因すると考えられる。また、Conversa ら⁵⁾は、栽培時の気温だけでなく光条件が、収穫後の色彩変化に影響

響を及ぼす可能性を示唆している。圃場近辺の気象データ⁶⁾より、栽培期間中の積算日射量 ($\text{MJ} \times \text{m}^{-2} \times \text{h}$) の違いを比較すると、6月に収穫したものでは約1500、11月に収穫したものでは約900であった。従って、3.1で述べたような収穫直前の平均温度の違いに加え、栽培中の光条件の違いが収穫後の黄化のしやすさに影響を及ぼした可能性もある。

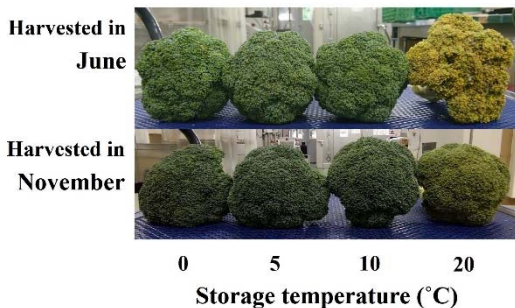


Fig. 3. Examples of harvest season and temperature effects on the visual changes in broccoli (on the 6th day). This figure was flipped horizontally to sort in ascending order.

以上より、重量減少速度および黄化の進行の双方について、差異をもたらす要因として、収穫時の気温や光条件などの影響が示唆された。しかし、収穫時点における重量の違いやその他の要因がどの程度寄与するのかといったことや、各要因が複合した場合の影響に関しては未解明であり、引き続き検証を要する。

4. 結論

収穫時期の違いによりブロッコリーの貯蔵特性が変化することが明らかとなった。また、重量減少速度および黄化の2つの観点から、秋季に収穫されるブロッコリーは、初夏に収穫されるものと比較して、従来よりも高い温度帯で輸送できる可能性が見出された。本結果は、収穫時期や輸送温度を考慮したMA包装設計など、ブロッコリー貯蔵条件の最適化に貢献できる。

謝辞

本研究は、旭化成株式会社との資金提供型共同研究「スマートフードチェーンシステムの構築」の一部として、同社から資金提供を受けて実施したものである。ここに記して御礼申し上げる。

<参考文献>

- 1) 農林水産省、野菜生産出荷統計、令和2年度、
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_yasai/ (2022年3月8日確認)
- 2) 山下市二、永田雅靖、高麗朴、黒木利美、ブロッコリーのMA包装における温度条件が品質に及ぼす影響、日本食品工業学会誌、**40**(11), p.764 (1993)
- 3) 池田浩暢、藤瀬朋子、宮城一菜、茨城俊行、太田英明、収穫時期がブロッコリーの呼吸速度、成分含量および品質

- に及ぼす影響、日本食品保蔵科学会誌、**34**(1), p.3 (2008)
- 4) E. Paulsen, S. Barrios, N. Baenas, D.A. Moreno, H. Heinzen, P. Lema, Effect of temperature on glycosylate content and shelf life of ready-to-eat broccoli florets packaged in passive modified atmosphere, *Postharvest Biol. Technol.*, **138**, p.125 (2018)
- 5) G. Conversa, C. Lazziera, A. Bonasia, A. Elia, Harvest season and genotype affect head quality and shelf-life of ready-to-use broccoli, *Agronomy*, **10**(4), p.527 (2020)
- 6) 農研機構農業環境研究部門総合気象観測データ
<https://www.naro.affrc.go.jp/org/niaes/aw/> (2022年3月8日確認)
- 7) P.M.A. Toivonen, The effects of storage temperature, storage duration, hydro-cooling, and micro-perforated wrap on shelf life of broccoli (*Brassica oleracea* L., *italica* Group), *Postharvest Biol. Technol.*, **10**, p.59 (1997)
- (原稿受付 2022年3月15日)
(原稿受理 2022年6月8日)