MAP条件が15℃貯蔵中のブロッコリー (*Brassica oleracea* var. *italica*) の品質に及ぼす影響

池田 浩暢^{*1,*2}・石井 利直^{*3}

茨木 俊行^{*1}・太田 英明^{*3}

Influence of modified atmosphere packaging on quality stability
of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) during storage at 15℃

IKEDA Hironobu^{*1,*2}, ISHII Toshinao^{*3}, IBARAKI Toshiyuki^{*1} and OHTA Hideaki^{*3}

* 1 Fukuoka Agricultural Research Center

587, Yoshiki, Chikushino, Fukuoka 818-8549

* 2 Produce Distribution Division, Agricultural Administration Department, Fukuoka Prefectural Government

7-7, Higashi-koen, Hakata-ku, Fukuoka 812-8577

* 3 Faculty of Nutritional Sciences, Nakamura Gakuen University

5-7-1, Befu, Johnan-ku, Fukuoka 814-0198

Changes in respiration rates, chemical components, and quality stability of broccoli were determined during storage at 15℃ in several atmosphere compositions what a total of oxygen concentration and carbon dioxide concentration was 21%. The respiration rates of broccoli was reduced with decreasing oxygen levels and increasing high carbon dioxide levels. Ascorbic acid, total sugar and chlorophyll components decreased by high concentrations of oxygen during storage but not by 8.7% to 4.1% oxygen levels. Yellowing of broccoli florets was also decreased under lower oxygen and higher carbon dioxide levels. These results suggest that the quality of broccoli was kept successfully in the atmosphere compositions of 8.7% oxygen and 12.8% carbon dioxide to 4.1% oxygen and 17.5% carbon dioxide.

(Received Apr. 3, 2003 ; Accepted Apr. 26, 2004)

ブロッコリーのMAP (Modified Atmosphere Packaging) 貯蔵に関する報告は多くなされており、低温下では鮮度保持に効果的であることが知られている^{1)~5)}。しかし、実際の流通段階は低温ではないため、報告に基づいた包装形態では袋内の酸素濃度が設定した濃度以下になり、無気呼吸をする場合もある^{6),7)}。このため、ガス透過性を高めるために、現在でもブロッコリーは密封包装ではなく、ポリエチレンフィルム袋を内装した段ボールに入れ、上部を折り込み包装して出荷している^{8),9)}。

一方、ガス透過性を高める方法として微細な孔を開けてガス透過性を自由に制御できるフィルムが開発され、葉ネギなど数種の青果物でMA包装に利用されている。このフィルムはガスの種類にかかわらずガス透過性はほ

ぼ同じであるため、貯蔵期間が長くなっても酸素濃度と二酸化炭素濃度の合計は約21%で推移する^{10),11)}。筆者らはすでに葉ネギについて、酸素濃度と二酸化炭素濃度の合計を約21%とした既知の数種のガス条件をつくり、これらの条件下における呼吸速度、成分含量および品質変化を検討し、適したMA条件を明らかにした¹²⁾。

そこで、本研究ではブロッコリーについて通常の流通温度を模倣した15℃条件で、微細孔フィルムで流通させることを想定して酸素濃度と二酸化炭素濃度の合計を約21%と設定し、適したMA条件を検討する。

実験方法

1. 供試材料

3月～4月(春期)に福岡県二丈町で収穫されたプロ

* 1 福岡県農業総合試験場 (〒818-8549 福岡県筑紫野市大字吉木587)

E-mail: 茨木俊行: ibaraki-t8741@pref.fukuoka.lg.jp

* 2 (現) 福岡県農政部生産流通課 (〒812-8577 福岡県福岡市博多区東公園7-7)

E-mail: ikeda-h1630@pref.fukuoka.lg.jp

* 3 中村学園大学栄養科学部 (〒814-0198 福岡県福岡市城南区別府5-7-1)

E-mail: 石井利直: ishii@nakamura-u.ac.jp, 太田英明: hohta@nakamura-u.ac.jp

ッコリー (*Brassica oleracea* var. *italica*, ‘グリーンビュ
ーティー’) を供試した。調製後、直ちに福岡県農業総
合試験場に搬入した。

2. 雰囲気ガス条件とブロッコリーの呼吸速度

ブロッコリー12個を内容積14.1ℓの亚克力樹脂製チ
ャンバーに入れ、恒温庫内に貯蔵した。貯蔵温度は、前
報¹³⁾で測定した輸送中の温度変化および小売店での販売
温度を想定して15℃とした。チャンバー出口のガス濃度
がTable 1に示す条件になるようにボンベからガスを通

Table 1 Atmosphere compositions used in this
experiment

Chamber	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)
A	21.0	0.04	78.9
B	16.3	4.9	78.8
C	12.3	8.5	79.2
D	8.7	12.8	78.5
E	4.1	17.5	78.4

気し、ブロッコリーの雰囲気ガス条件と品温を安定させ
るためにこの状態で一夜放置した。その後ガスの通気を
一時中断してチャンバーを密閉し、エアーポンプ（流量
8ℓ/min）を用いてチャンバー内の空気を密閉式で循環
させた。1時間ごとにチャンバー内のガスを採取し、
ガスクロマトグラフ（島津製作所製：GC-8A、検出
器：TCD、カラム：ポラパックN+モレキュラーシーブ、
カラム温度：80℃、キャリアガス：ヘリウム）を用いて、
二酸化炭素および酸素濃度を測定した。単位時間あたり
に変化するこれらのガス濃度から呼吸速度（二酸化炭素
排出速度）および呼吸商を算出した。

3. 雰囲気ガス条件とブロッコリーの品質変化

ブロッコリー12個をTable 1に示す条件に設定した各
チャンバーに入れ、15℃の恒温庫内で貯蔵した。2, 4, 6, 8日後にチャンバーよりブロッコリーを取り出し、前報^{8), 13)}に準じて還元型アスコルビン酸含量（以下、アスコルビン酸含量と略す）、全糖含量、総クロロフィル含量を測定し、花蕾の黄化程度を調査した。花蕾の黄化程度の評価は、当試験場流通加工関係の研究員6名で行った。成分の測定、調査は各6反復行った。調査後は直ちにチャンバーを密閉し、再びガスを通気した。

実験結果および考察

1. 雰囲気ガス条件とブロッコリーの呼吸速度

雰囲気ガス条件下におけるブロッコリーの呼吸速度お
よび呼吸商の変化をTable 2に示した。大気条件（A
区）では呼吸速度は貯蔵8日後まで徐々に低下した。B
～E区では4日後までは低下したが、それ以降はほぼ一
定で推移した。4日後におけるブロッコリーの呼吸速度
は、A区では175mg・kg⁻¹・hr⁻¹であったが、酸素濃度が
低くなるほど呼吸速度は低下し、最も酸素濃度が低いE

Table 2 Effects of various atmosphere compositions on
respiration rates and respiration quotient (RQ) of
broccoli during storage at 15℃

Storage days	A ^{a)} CO ₂ ^{b)} RQ	B CO ₂ RQ	C CO ₂ RQ	D CO ₂ RQ	E CO ₂ RQ
2	178 0.71	130 0.80	119 0.83	107 0.83	65 0.93
4	175 0.76	111 0.79	99 0.76	80 0.81	51 0.91
6	173 0.77	113 0.75	103 0.77	82 0.80	43 0.93
8	153 0.82	109 0.73	100 0.77	76 0.86	46 0.98

a) See Table 1 for abbreviation

b) mg・kg⁻¹・hr⁻¹

区では51mg・kg⁻¹・hr⁻¹となった。呼吸商はいずれの試
験区でも8日後まで1以下であったが、酸素濃度が低い
D,E区ではA～C区に比べてやや高い値を示した。チャ
ンバー開放時の異臭は、いずれの試験区でも試験終了時
までほとんど認められなかった。

今回設定した雰囲気ガス条件下では、呼吸速度は酸素
濃度が低く二酸化炭素濃度が高い条件ほど抑制された。
貯蔵4日後におけるブロッコリーの呼吸速度は、B～E
区では大気条件であるA区のそれぞれ約63, 57, 46, 29%
となった。これまで適正なMA条件下では、ブロッコリー
の二酸化炭素排出速度は大気条件下の約30～55%に抑
制されることが報告されている⁵⁾。このことから、C～E
区では十分な呼吸抑制効果が発揮されていたと考えられ
る。また、最も酸素濃度を低く設定したE区でも、貯蔵
8日後まで呼吸商が1以下であり、チャンバー開放時の
異臭もほとんど認められなかったことから、今回設定し
た雰囲気ガス条件下ではブロッコリーは無気呼吸しなかつ
たと考えられる。

2. 雰囲気ガス条件とブロッコリーの品質変化

雰囲気ガス条件がアスコルビン酸含量に及ぼす影響を
Fig. 1に示した。アスコルビン酸含量は、大気条件であ
るA区では貯蔵2日後にはすでに試験開始時の50%以下
まで減少し、8日後には約5%となった。B, C区では
2日後まではほぼ試験開始時の含量を保持していたが、そ
れ以降急激に減少し、8日後には試験開始時のそれぞれ
約9, 16%となった。一方、D, E区ではそれぞれ
4, 6日後からアスコルビン酸含量は減少したが、その
減少割合は緩やかで、8日後においても試験開始時のそ
れぞれ約34, 50%を保持していた。

雰囲気ガス条件がブロッコリーの全糖含量に及ぼす影
響をFig. 2に示した。全糖含量は、A区では貯蔵2日後
以降に急激に減少し、8日後には試験開始時の約24%と
なった。B,C区では6日後までは緩やかに減少したがそ
れ以降急激に減少し、8日後には試験開始時のそれぞれ
約27, 43%となった。一方、D, E区では全糖含量は減
少したが、その減少割合は緩やかで、8日後においても
試験開始時のそれぞれ約62, 70%を保持していた。

雰囲気ガス条件が総クロロフィル含量に及ぼす影響を

Fig. 1 Effects of various atmosphere compositions on L-ascorbic acid content of broccoli during storage at 15°C

Atmosphere compositions ($O_2:CO_2:N_2$)

□: A (21.0%:0.04%:78.9%),
 ■: B (16.3%:4.9%:78.8%), ◆: C (12.3%:8.5%:79.2%),
 ▲: D (8.7%:12.8%:78.5%), ●: E (4.1%:17.5%:78.4%).

Vertical bars in graph show standard deviation ($n = 6$).

Fig. 2 Effects of various atmosphere compositions on total sugar content of broccoli during storage at 15°C

Symbols are the same as shown in Fig. 1.

Vertical bars in graph show standard deviation ($n = 6$).

Fig. 3 Effects of various atmosphere compositions on total chlorophyll content of broccoli during storage at 15°C

Symbols are the same as shown in Fig. 1.

Vertical bars in graph show standard deviation ($n = 6$).

Fig. 4 Effects of various atmosphere compositions on score of yellowing of broccoli during storage at 15°C

Symbols are the same as shown in Fig. 1.

Vertical bars in graph show standard deviation ($n = 6$).

Fig. 3に示した。総クロロフィル含量は、A区では貯蔵2日後から、B区では4日後から、C区では6日後から減少し、8日後には試験開始時のそれぞれ約14, 26, 64%となった。一方、D、E区では8日後まで総クロロフィル含量の減少はほとんど認められなかった。

雰囲気ガス条件が花蕾の黄化程度に及ぼす影響をFig. 4に示した。花蕾の黄化は、A区では試験開始直後から進行し、貯蔵6日後には花蕾全体が黄化した。B区では2日後から認められ、以後急速に進行した。C区では2日後から8日後まで緩やかに進行した。一方、D、E区では8日後まで花蕾の黄化は認められなかった。花蕾の黄化程度の経時変化は、総クロロフィル含量の減少

割合とよく一致していた。

これまで、ブロッコリーでは花蕾の黄化など外観品質の変化とアスコルビン酸含量や全糖含量などの成分含量の変化は比較的一致すると報告されている⁹⁾。しかし本研究では、総クロロフィル含量および花蕾の黄化程度など外観品質は、酸素濃度が低く二酸化炭素濃度が高いもののほど保持され、特にD、E区では8日後まで試験開始時の状態を保持していた。一方、アスコルビン酸含量および全糖含量など成分含量は、試験期間を通じて酸素濃度が低く二酸化炭素濃度が高いもののほど高く推移したが、D区では4日後から、最も酸素濃度を低く設定したE区でも6日後から減少が認められた。このことから、プロ

ッコリーでは外観品質が保持されていても、成分含量の減少が進行している可能性があることが示唆された。

外観品質および成分含量の保持と異臭の抑制は、いずれも雰囲気ガス条件によって制御され、その適正ガス条件の範囲は異なると考えられる。D、E区では8日後まで外観品質はほぼ試験開始時の状態を保持しており、成分含量の低下は抑制され、しかも異臭の発生は認められなかった。ただし、E区ではA～D区に比べ呼吸商がわずかに高くなったことから、酸素と二酸化炭素の組成比が4.1%：17.5%より酸素濃度が低く二酸化炭素濃度が高い条件では、呼吸商がさらに高くなり、無気呼吸をすることが予測される。このため、ブロッコリーを15℃に貯蔵する場合、酸素濃度と二酸化炭素濃度の合計が約21%となるMAP条件では、このガス条件が有気呼吸の限界であると推測される。これまでブロッコリーの適正なMA条件は、酸素濃度2～3%、二酸化炭素濃度5～6%とした報告が多く、これらと比較すると今回の条件はやや好气的となった³⁾。これは、貯蔵温度がこれまでの報告の多くが10℃以下であったのに対し、今回は小売店での販売温度を想定して15℃に設定している。これに伴って、呼吸作用がより活発となり、これまでの適正条件では異臭の発生が懸念されるため、適正酸素濃度の下限値がこれまでの報告よりやや高くなったと考えられる。

以上のことから、春期に収穫したブロッコリー「グリーンビューティー」を15℃で貯蔵する場合に適したMA条件は、酸素と二酸化炭素の組成比で4.1%：17.5%～8.7%：12.8%であると考えられる。ただし、MA条件を制御する重要な要因である呼吸速度については、葉ネギやハウレンソウでは収穫時期によって大きく異なることが示されている^{14), 15)}。このことから、ブロッコリーについても収穫時期別の呼吸速度の変化を把握する必要があると思われる。

要 約

ブロッコリーを酸素濃度と二酸化炭素濃度の合計が約21%となるMAP条件を想定し、通常の流通温度を模倣した15℃で貯蔵した場合に適したMA条件を明らかにするために、いくつかの雰囲気ガス組成がブロッコリーの呼吸速度、内容成分および品質に及ぼす影響を検討した。ブロッコリーの呼吸速度は、酸素濃度が低く二酸化炭素が高くなるほど抑制された。アスコルビン酸含量および全糖含量は、酸素濃度が高いものでは経時的に低下した。しかし、酸素濃度を8.7%～4.1%に設定すると、これらの成分の低下は抑制された。また、この条件では貯蔵8日後まで総クロロフィル含量の低下および花蕾の黄化は認められなかった。したがって、ブロッコリーを15℃で貯蔵する場合、酸素と二酸化炭素の組成比で4.1%：17.5%～8.7%：12.8%に保つことで、効果的に品質を保持することができた。

文 献

- 1) FORNEY, C. F., RIJ, R. E. and ROSE, S. R.: Measurement of broccoli respiration rate in filmwrapped packages, *Hortscience*, **24**, 111～113 (1989)
- 2) LIPTON, W. J. and HARRIS, C.M.: Controlled atmosphere effects on the market quality of stored Broccoli, *J. Amer. Soc. Hort. sci.*, **99**, 200～205 (1974)
- 3) MAKHLLOUF, J. F., CASTAIGNE, J., ARUL, C. WILLEMOT and GOSSELIN, A.: Long-term Storage of Broccoli under Controlled Atmosphere, *Hortscience*, **24**, 637～639 (1989)
- 4) WANG, C. Y.: Effect of short-term high CO₂ treatment on the market quality of stored broccoli, *J. Food Sci.*, **44**, 1478～1482 (1979)
- 5) 山下市二・小林恭一：ブロッコリーの修整空気システムCA貯蔵, 日食低温誌, **19**, 8～13 (1993)
- 6) DAN, K., TODORIKI, S., NAGATA, M. and YAMASHITA, I.: Formation of volatile sulfur compounds following the action of cysteine sulfoxide lyases, *J. Japan Soc. Hort. sci.*, **65**, 867～875 (1997)
- 7) DAN, K., NAGATA, M. and YAMASHITA, I.: Methanethiol formation in disrupted tissue solution of fresh broccoli, *J. Japan Soc. Hort. sci.*, **66**, 621～627 (1997)
- 8) 池田浩暢・茨木俊行・太田英明：段ボール容器の改良によるブロッコリー (*Brassica oleracea* var. *italica*) の鮮度保持, 日食保蔵誌, **28**, 81～86 (2002)
- 9) 興座宏一・太田英明・野方洋一・石谷孝佑：常温貯蔵中におけるブロッコリーの品質に及ぼす包装資材の影響, 日食工誌, **39**, 800～805 (1992)
- 10) 田中 敦・斉藤隆英・多々良泉・竹内知代・太田英明：ナバナの α -トコフェロール, β -カロテンの定量とその微孔性フィルムによる鮮度保持, 日食保蔵要旨, **44**, 6 (1996)
- 11) 鈴木芳孝・岡林秀典：微細孔フィルムを利用した小ネギの鮮度保持, 高知農技セ研報, **5**, 90～97 (1996)
- 12) 茨木俊行・池田浩暢・太田英明：いくつかの雰囲気ガス濃度組成が葉ネギの鮮度保持に及ぼす影響, 日食保蔵誌, **23**, 3～7 (1997)
- 13) 池田浩暢・茨木俊行・太田英明：輸送振動がブロッコリー (*Brassica oleracea* var. *italica*) の呼吸速度および内容成分に及ぼす影響, 日食保蔵誌, **27**, 263～268 (2001)
- 14) 茨木俊行・池田浩暢・太田英明：収穫時期が葉ネギの呼吸速度, 化学成分および鮮度保持に及ぼす影響, 日食保蔵誌, **23**, 77～82 (1997)
- 15) 日坂弘行：葉菜類の貯蔵温度と品質に関する研究, 千葉農試特別報告, **20**, 3～30 (1992)