実用規模修整空気システム CA (MASCA)

貯蔵装置の開発とキャベツの貯蔵

山下市二* ・永田雅靖* ・壇 和弘*
河合正毅** ・妹尾良夫** ・渡辺和幸**
田村敏行*** ・下瀬 裕*** ・水野浩治***

Development of Practical Modified Air System CA (MASCA) Storage Facilities and Storage of Cabbage

YAMASHITA Ichiji*, NAGATA Masayasu*, DAN Kazuhiro*,
KAWAI Masaki**, SENO Yoshio**, WATANABE Kazuyuki**,
TAMURA Toshiyuki***, SHIMOSE Hiroshi***, and MIZUNO Kouji***

*National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea,
Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ano-machi, Age-gun, Mie, 514-23

**TOKICO Co., Ltd., Kozono, Ayase, Kanagawa, 252

***SANYO Electric Co., Ltd., Sakata, Oizumi-machi, Ora-gun, Gunma, 370-05

The laboratory model-modified air system controlled atmosphere (MASCA) storage facility which is being developed as an economical CA was improved to develop a practical CA facility for vegetables. The practical MASCA facility consists of a modified air generator, CA room, O₂ and CO₂ analyzer and sequence program. A pressure control unit was equipped to the generator to select the desired O₂ concentration in modified air. A commercial prefabricated walk-in cooler (5.72 m³) was used as a CA room. To make the room gas-tight, a stainless steel sub-door was fixed inside the door board. The sequence program was improved from the aspect of saving energy. 600 kg of cabbage was stored for 4 weeks to evaluate MASCA to extend storage life and to estimate storage cost, etc. The practical MASCA storage facility functioned as it had been designed. The MASCA can be applied to vegetables because it has some advantages in facility investment, operation cost and maintenance, and it has a wide application for commodities and good retention of freshness.

(Received Apr. 22 1994)

CA (Controlled Atmosphere) 貯蔵の方式には、普通方式、ジェネレータ方式があり、ジェネレータ方式には、主として N₂ 発生機と CO₂ スクラバー等で構成されているエカトロン方式 (N₂ 発生方式) と、主としてコンバータとアドソーバで構成されているジェネレータ再循環方式などがある¹⁾。普通方式は、設備費は安い、

貯蔵庫内の O₂ の低減を青果物の呼吸作用に依存するため、低 O₂ の実現に時間がかかる slow CA となり、品質の低下が避けられないといわれている。一方、ジェネレータ方式は急速に O₂ の低減を達成できる rapid CA であり、鮮度保持効果の高い完成された CA 貯蔵方式である。工藤²⁾ の報告によると、1990 年におけるジェネ

* 農林水産省野菜・茶業試験場 (〒514-23 三重県安芸郡安濃町大字草生360)

** トキコ株式会社 (〒252 神奈川県綾瀬市小園1126)

*** 三洋電機(株)東京製作所 (〒370-05 群馬県邑楽郡大泉町坂田1-1-1)

レータ方式の普及率(収容能力比)は、ジェネレータ再循環方式が96.1%, テント方式が2.7%, N_2 発生方式が1.2%となっており、再循環方式が主流となっている。しかし、この方式もプロパンガス燃焼装置(コンバータ)、多量に発生する CO_2 の除去装置、高温気体の冷却装置など構造が複雑で、設備費が高くなる欠点があり、リンゴの貯蔵以外にはほとんど使用されていない。

筆者らは、野菜にも適用可能な低コストCA貯蔵方式として、修整空気システムCA(MASCA)貯蔵法を開発してきた^{3)~6)}。MASCAは、 N_2 発生方式に区分されると考えられるが、 CO_2 スクラバーを利用しない。これまでは、貯蔵庫として、容積60 lのアクリル製チャンパーを使用し、2 kg程度の無包装の青果物を10日程度貯蔵する小規模短期間貯蔵試験であった。今回は、実用規模装置として、低コスト化、汎用性の向上などのため装置の一部を改良し、貯蔵庫としてプレハブ冷蔵庫を用いて、段ボール箱入りキャベツ約600 kgを1カ月貯蔵して、装置の稼働状態、鮮度保持効果、貯蔵コストの試算等を行ったので報告する。

実験材料および方法

1. 実験材料

貯蔵試験は2回行った。試験①に用いたキャベツは、三重県産、品種「味春」で、1992年4月29日朝採り、差圧予冷品を4月30日に北勢地方卸売市場で入手した。品温は、18.9℃で、8℃で測定した呼吸量は23.4 mg CO_2 /kg/hrであった。入庫量は、47箱、618.4 kgである。試験②に用いたキャベツは、群馬県産、品種「北ひか

り」で、差圧予冷品を1992年6月10日に北勢地方卸売市場で入手した。品温は21℃、入庫量は48箱、609.8 kgである。

2. 実験方法

1) MASCA貯蔵装置 MASCA貯蔵装置の修整空気発生装置部は、前報⁶⁾において使用したのと同じである。修整空気発生量を14 l/分とした。

2) 貯蔵庫 MASCA貯蔵庫には、三洋電機製プレハブ冷蔵庫(T20S-1. OSFN, 庫内H198, W170, D170 cm=5.72 m³)を後で述べるよう、一部改良して使用した。また、対照区に使用した貯蔵庫は、三洋電機製プレハブ冷蔵庫(MT-100 HW, 庫内H172, W900, D170 cm=2.6 m³)である。

3) 貯蔵条件 環境気体の制御目標を試験①では、 O_2 2.5~3.5%, CO_2 4~5%, 試験②では、 O_2 2~3%, CO_2 2~3%とした。貯蔵温度は両試験および対照区とも2~5℃である。

4) 鮮度評価方法 中肋部を除く赤道部を試料とし、色調は色差計で、クロロフィルはMackinney法⁷⁾で、アスコルビン酸と遊離糖は高速液体クロマトグラフィーで測定した。

実験結果および考察

1. 実用規模MASCA貯蔵装置の構成

実用規模MASCA貯蔵装置の構成をFig. 1に示した。これまで⁵⁾と同様、主として修整空気発生装置、加湿器、貯蔵庫および O_2 ・ CO_2 センサで構成した。プロパンガス燃焼装置やアドソーバあるいはスクラバーを必要としないのは従前通りである。

1) 修整空気発生装置 所定の濃度の O_2 を含む N_2 富化空気(以下、修整空気と記す)を得るため、PSA(Pressure Swing Adsorption)の圧縮空気の圧力を制御する方式⁸⁾を採用し、Fig. 1のように圧力調整ユニットを設けた。ユニットに連結した修整空気 O_2 濃度選択スイッチで修整空気中の O_2 濃度を、0.5%および1%から10%まで1%刻みで選択できるようにした。

これにより、貯蔵品目に応じて最適環境気体条件を設定できるので、品目に対する高い汎用性が得られた。

2) 貯蔵庫 貯蔵庫は、パネル継目をコーキングして気密性を向上させた。ドア部は、既存パネルドアの内側にステンレススチール板を設け、これを回転ハンドルで隔壁パネルに押し付けることにより気密性を持たせる構造とした。貯蔵庫の気密性試験の結果、漏洩係数は、0.09で、CA貯蔵庫としては「良」に属する。貯蔵庫のドアは、開け閉めが容易で、頻繁なドアの開閉に対応で

Fig. 1 Structure of practical MASCA facility

1: modified air generator, 2: air compressor, 3: pressure control unit, 4: switch to select O_2 concentration in modified air, 5: sequencer, 6: molecular sieve, 7: humidifier, 8: O_2 and CO_2 analyzer, 9: CA room, 10: breather bag, 11: relief vent

きるので、CA貯蔵庫を冷蔵庫として使用する場合にもほとんど問題とならない。

貯蔵庫内の気体の膨張収縮によるパネルの変形を防止するため、簡易なブリーザーバッグを設置した。さらに、冷蔵庫のドレーンを利用した簡易な圧力保安器を設け、安全性を向上させた (Fig. 1)。

以上のように、既存プレハブ冷蔵庫を一部改造することによってCA貯蔵庫に転用できるので、すでに設置されているプレハブ冷蔵庫を利用できる経済的な利点がある。

3) 環境気体制御プログラム これまでのMASC Aでは、 O_2 あるいは CO_2 のどちらかが制御濃度の限界値に達すると O_2 と CO_2 の両方を修整するプログラムを使用してきた⁵⁾。 O_2 が下限値に達した場合に、 O_2 の補給と共に CO_2 も修整することは、修整空気発生装置全体を稼働することとなり、エネルギーの消費が大きくなる。 O_2 の補給は修整空気発生装置の空気圧縮機だけを運転すれば可能であることから、Fig. 2に示したシーケンスプログラムにより O_2 と CO_2 を独立して制御することとし、一層の省エネルギー化を図った。

2 キャベツのMASCA貯蔵

1) 環境気体制御 貯蔵試験は2回実施し、試験①は、キャベツのCA貯蔵の推奨環境気体条件⁹⁾である O_2 2.5~3.5%、 CO_2 4~5%、試験②では本装置の貯蔵品目に対する汎用性を試験するため、CA貯蔵が商業ベースで実用化されているリンゴのCA貯蔵の推奨環境気体条件¹⁰⁾ O_2 2~3%、 CO_2 2~3%を目標濃度とした。試験①のように O_2 制御の上限値が整数でない場合には、制御範囲内の整数値 (この場合3%)に修整空気 O_2 濃度選択スイッチを設定した。

Fig. 3, 4に試験①および②におけるキャベツMASCA貯蔵中の環境気体の推移を示した。試験①では、 O_2 3.5%までのプルダウンに11時間を要し、 CO_2 が4%に達したのは貯蔵5日目であった。試験②において O_2 3%までのプルダウンに要した時間は15時間、 CO_2 2%に達したのは貯蔵2日目であった。両試験とも貯蔵期間中、 O_2 、 CO_2 ともに所定の濃度域に制御されて逸脱することはなく、実用規模MASCAにおける環境気体制御の高い信頼性が確認された。

2) MASCA 運転経費 試験①のMASCA貯蔵中に環境気体制御のため、空気が補給されたのが14回、修整空気発生装置が稼働したのが、 O_2 のプルダウンに11時間と CO_2 の排気7回であった (Fig. 3)。装置の総稼働時間から求めた環境気体制御に関わる運転経費 (冷蔵庫の運転経費および原価償却は含まない) は0.05円/

Fig. 2 Flow diagram of sequence program to control O_2 and CO_2 concentration in CA room

O_2m , CO_2m : "m" means measured concentration in CA room,

The storage atmosphere was controlled between specified O_2 and CO_2 concentrations (min and max), respectively.

キャベツ 1 kg / 日と試算された (電力料金を20円/kwhで計算)。

3) MASCA 貯蔵キャベツの品質 試験①で27日間貯蔵後、MASCA貯蔵区はよく緑色を保持しており、ガス障害も認められなかった。一方、同温度空気下貯蔵区 (対照区) は黄化が外葉だけでなく内部まで進んでおり、歩留まりがかなり悪くなっていることが示唆されるだけでなく、茎切断部に発根がみられ、食用不可と判断されるものも多かった。このことは色差計による外葉および第3葉の $L^*a^*b^*$ 値の測定結果 (Fig. 5, 6) およびクロロフィル含量測定結果 (Fig. 7) から明かである。また、MASCA区は、27日間の貯蔵後に5日間空気下貯蔵しても緑色が保持されていた。ビタミンC含量はMASCA区は貯蔵前の含有量70mg/100gと変化がなかったのに対し、対照区では40mg/100gに減少していた (Fig. 8)。遊離糖含量は対照区で約30%低

Fig. 3 Changes in O_2 and CO_2 concentrations in the storage atmosphere during MASCA storage of cabbage (experiment 1)

Fig. 4 Changes in O_2 and CO_2 concentrations in the storage atmosphere during MASCA storage of cabbage (experiment 2)

下し、MASCA 区では約25%低下した (Fig. 9)。以上の実験結果から、実用規模 MASCA の鮮度保持効果が高いことが確認された。

MASCA は、 CO_2 発生装置を備えていないので、試験①のように高 CO_2 条件を実現するのに日数がかかる場合、品質保持上問題があるのではないかと危惧されるかもしれない。しかし、ほとんどの野菜が、 CO_2 に依

Fig. 5 Changes in surface color of outer leaf of cabbage stored in air or MASCA

a : before storage ; b : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days ; c : after storage in air at 3.5°C for 27 days ; d : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days followed by holding in air at 3.5°C for 5 days.
Hunter value : $\square$ L* value ; diagonal lines a* value ; cross-hatch b* value ; $\blacksquare$ $Lx|b/a|$ * value.

Fig. 6 Changes in surface color of inner leaf of cabbage stored in air or MASCA

a : before storage ; b : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days ; c : after storage in air at 3.5°C for 27 days ; d : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days followed by holding in air at 3.5°C for 5 days.
Hunter value : $\square$ L* value ; diagonal lines a* value ; cross-hatch b* value ; $\blacksquare$ $Lx|b/a|$ * value.

存しなくても低 O_2 条件だけで呼吸が抑制されることが分かっており¹¹⁾、しかも、低 O_2 に対する野菜の感受性は高く、 O_2 濃度を下げれば即座に、あるいは数時間以内に呼吸速度は低下する¹²⁾から、 O_2 のプルダウンの速い rapid CA であれば、 CO_2 の上昇は必ずしも急速である必要がないと考えられる。

以上の実験結果と前報⁶⁾までに得られた結果から、MASCA の特性として次のことを挙げることができる。

- ① rapid CA である、② 設備が単純で、設備費が安く、故障が少ない、③ 完全自動化されており、操作が容易で特別の技術や知識を必要としない、④ 化石燃料を使用しないので、環境問題が少なく、火災の危険性が小さい、また、燃料の補給・管理の必要性がない、⑤ 貯蔵品目に対する汎用性があり、利用率が高い、⑥ 既存のプレハブ冷蔵庫が使用できる、⑦ ドアの開閉

Fig. 7 Changes in chlorophyll content of cabbage stored in air or MASCA

a : before storage ; b : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days ; c : after storage in air at 3.5°C for 27 days ; d : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days followed by holding in air at 3.5°C for 5 days.

▨ chlorophyll a ▩ chlorophyll b

Fig. 8 Changes in ascorbic acid content of cabbage stored in air or MASCA

a : before storage ; b : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days ; c : after storage in air at 3.5°C for 27 days ; d : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days followed by holding in air at 3.5°C for 5 days.

が容易で、冷蔵庫としての利用にも問題がない、⑧電源があれば、設置場所に制限がない、⑨優れた鮮度保持効果を有する、⑩運転経費が安い。

要 約

従来の修整空気発生装置の修整空気発生量を増加させ、修整空気中の O_2 濃度を容易に設定できるユニットを設け、各種の貯蔵品目に対応できる汎用性を持たせた。また、省エネルギー化のため、環境気体組成制御プログラムを一部改良した。貯蔵庫には既存のプレハブ冷蔵庫を利用し、ドア部を改良して気密性貯蔵庫とした。この装置を使用してキャベツ約600kgを4週間貯蔵し

Fig. 9 Changes in sugar content of cabbage stored in air or MASCA

a : before storage ; b : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days ; c : after storage in air at 3.5°C for 27 days ; d : after MASCA storage at 3.5°C for 27 days followed by holding in air at 3.5°C for 5 days.

▨ glucose ; ▩ fructose ; ▤ sucrose.

た。その結果、本装置は、設計通り稼働し、管理が容易かつ低コストで鮮度保持効果および品目に対する汎用性が高く、野菜にも適用可能と考えられ、当初の目的を達成することが出来た。

文 献

- 1) 工藤亜義：日食工誌，**29**，435 (1982)
- 2) 工藤亜義：食品流通技術，**19**，50 (1990)
- 3) 山下市二：特許第1771745号，特願平1-84557，2-148936，2-338942，2-338943，2-338944
- 4) 山下市二：日食低温誌，**17**，8 (1991)
- 5) 山下市二・渡辺和幸・妹尾良夫・河合正毅：日食低温誌，**18**，18 (1992)
- 6) 山下市二・小林恭一：日食低温誌，**19**，8 (1993)
- 7) MACKINNEY, G. : *J. Biol. Chem.*, **140**, 315 (1941)
- 8) 山下市二・山口優一・伏見 力・青木章平：日食低温誌，**15**，61 (1989)
- 9) ISENBERG, F. M. R. : *Hort. Rev.*, **1**, 337 (1979)
- 10) RYALL, A. L. and PENTZER, W. T. : Handling, transportation and storage of fruits and vegetables, 2 ed. Vol. 2, pp. 375 (AVI, Connecticut) (1983)
- 11) 本多 靖・石黒 修：園学雑誌，**36**，363 (1967)
- 12) 壇 和弘・永田雅靖・山下市二：園学雑誌，**62** (別2)，596 (1993)

(平成6年4月22日受理)