キャベツ及びカブの差圧式減圧貯蔵

小野田明彦*・小泉武紀**・山本健司*・古谷 正*
山川秀人***・小川浄寿****

A Study on Variable Low Pressure Storage for Cabbage and Turnip

Akihiko ONODA*, Takenori KOIZUMI**, Kenji YAMAMOTO*, Tadashi FURUYA*,
Hideto YAMAKAWA*** and Kiyohisa OGAWA****

* *Bio-oriented Technology Research Advancement Institution (Institute of
Agricultural Machinery), 1-40-2, Nisshin-cho, Omiya-shi, Saitama 331*

** *deceased*

*** *National Agriculture Research Center, Ministry of Agriculture,
Forestry and Fisheries, Tsukuba, Ibaraki 305*

**** *300-3, Takagi, Omiya-shi, Saitama 330*

The Variable Low Pressure Storage (V.L.P.S.) that regulates the different pressures P_1 and P_2 during storage in a chamber possesses advantages on the supply of O_2 gas into the chamber and the exclusion of CO_2 gas from it because of changing inner pressures periodically. Storage tests were done in order to compare V.L.P.S. with ordinary Low Pressure Storage, using cabbage and turnip. The pressure P_1 was set up the 100 mmHg, and the other pressure P_2 was set up the 300 mmHg at these tests. V.L.P.S. was superior to the ordinary Low Pressure Storage in the ratio of weight loss or the appearance of both cabbage and turnip. The V.L.P.S. system did not require a moisture implement because the inlet air to the chamber was saturated instantly with water vapor which was produced by respiration or evaporation from cabbage or turnip.

(Received May 12, 1988)

低圧を利用する貯蔵法には、減圧下のある一定圧力を保って貯蔵する方法があり、米国ではこれを Hypobaric storage^{1)~5)}、Low pressure storage^{6)~10)}、Sub-atmospheric pressure storage^{11)~14)} などと称して多くの研究が行われている。我が国でもこの方式による貯蔵研究が近藤¹⁵⁾ や上田¹⁶⁾ らによって行われている。この方式は、減圧下で一定の圧力を保つために、真空ポンプでチャンバ内の空気を連続的に排気するとともに、一方では排気量に見合う外気を常にチャンバ内に導入する方法がとられている。低圧下ではガス分子の拡散性が良くなって水分が蒸発しやすくなるため、導入する外気は

加湿することが条件となっている。また、減圧下とはいえ一定圧力であるので、チャンバ内の青果物の堆積方法や流入外気の通過経路によっては、酸素の補給や換気が不十分になることが考えられる。

そこで本研究では、チャンバ内の貯蔵環境むらを少なくすることをねらいとして、低圧下で上下2つの圧力(P_1 , P_2)を設定し、経時的に両圧力間を往復させてチャンバ内の貯蔵環境むらを少なくすることの出来る差圧式減圧貯蔵法¹⁷⁾¹⁸⁾ をキャベツとカブに適用したので報告する。

* 生物系特定産業技術研究推進機構 (農業機械化研究所) (〒331 埼玉県大宮市日進町 1-40-2)

** 故人 (元農業機械化研究所)

*** 農林水産省農業研究センター (〒305 茨城県つくば市観音台 3-1-1)

**** 元農業機械化研究所 (〒330 埼玉県大宮市高木 300-3)

実 験 方 法

1. 圧力の設定

空気、水蒸気ともに減圧条件下で完全ガスの法則に従うとすれば、飽和湿度 H_s (kg) は次式で表される¹⁹⁾²⁰⁾.

$$H_s = 0.622 \times P_s / (\pi - P_s) \cdots \cdots \textcircled{1}$$

ここで、 P_s : 貯蔵温度における飽和蒸気圧 (mmHg)

π : 全圧 (mmHg)

チャンバ内容積を V (m^3), 空気密度を ρ (kg/m^3) とすると、常圧時のチャンバ内空気量は $\rho \cdot V$ (kg) となる.

下限圧力を P_1 , 上限圧力を P_2 とすると、それぞれの圧力においてチャンバ内に含みうる水蒸気量 W_1 (kg), W_2 (kg) は,

$$W_1 = 0.622 \times P_s / (P_1 - P_s) \times \rho \cdot V \times P_1 / \pi \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$W_2 = 0.622 \times P_s / (P_2 - P_s) \times \rho \cdot V \times P_2 / \pi \cdots \cdots \textcircled{3}$$

で表される.

②, ③式から、 $P_1, P_2 \gg P_s$ であれば $W_1 \approx W_2$ となる. 例えば貯蔵温度 0°C の時、 $P_s = 4.6$ mmHg であるから、 $P_1 = 200$ mmHg, $P_2 = 600$ mmHg とすれば、 $W_1/W_2 = 1.01$ となり、圧力が変化してもチャンバ内に含みうる水蒸気量はほとんど変わらないことを示している. また、 P_1, P_2 の比は同じでも P_1, P_2 が P_s に対してそれほど大きくない場合、例えば $P_1 = 10$ mmHg, $P_2 = 30$ mmHg の時は、 $W_1/W_2 = 1.57$ となり、 P_1, P_2 の組合せによってチャンバ内に含みうる水蒸気の量が異なる. 従って、貯蔵中の減量を抑えるためには、 P_1, P_2 を P_s に対してある程度大きくとることが望ましいと考えられる.

上下限圧力の設定は、減圧することによってチャンバ内は空気が希薄になり、 O_2 ガス分圧が低下するので、青果物の呼吸作用が維持されるよう考慮して設定する必要がある. ここでは、CA 貯蔵における O_2 濃度が多くの青果物で 3~10% の範囲にあること²¹⁾²²⁾、定圧減圧貯蔵試験で 1/10 気圧 (76 mmHg) ~ 1/7 気圧 (108 mmHg) 程度の減圧度の時に良い貯蔵結果が得られていること等を参考にして、下限圧力 P_1 を O_2 濃度が約 3% となる 100 mmHg 前後に設定し、上限圧力 P_2 は O_2 濃度が 10% 以下となるように 300 mmHg 程度に設定することにした.

2. 環境制御に関する考察

キャベツを例として下記の条件を設定し、呼吸作用に伴う O_2 , CO_2 ガスの変化をもとにチャンバ内のガス組成を計算した.

(1) 貯蔵温度: 0°C

(2) チャンバ内容積: $V = 6 \times 10^{-2} \text{ m}^3$

(3) 設定圧力: $P_1 = 100$ mmHg, $P_2 = 300$ mmHg

(4) キャベツ貯蔵量: $W = 15$ kg

(5) キャベツの 0°C における CO_2 排出量: $q = 8 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$ (減圧下においても呼吸量は変わらないと仮定した)

(6) チャンバ内許容ガス濃度: $\text{O}_2 = 3\%$, $\text{CO}_2 = 4\%$

(7) 空気密度: $\rho = 1.293 \text{ kg}/\text{m}^3$

3. 差圧式及び定圧式減圧貯蔵の貯蔵性比較

(1) 供試野採

キャベツ: 当所附属農場産 (品種: 中早生 1 号)

昭和 55 年 10 月 27 日収穫 (差圧区)

昭和 55 年 11 月 6 日収穫 (定圧区)

カブ: 当所附属農場産 (品種: 金町小カブ)

昭和 56 年 11 月 17 日収穫

(2) 試験区と貯蔵条件

表 1 に試験区と貯蔵条件を示した. 試験は減圧チャンバを低温庫内 (0°C に設定) に設置して行った.

(3) 減圧貯蔵装置

図 1 に差圧式減圧貯蔵装置の概要を示した. チャンバは鋼鉄製で内容積は 60 l である. 圧力指示計で上下圧力を設定し、上限圧力で電磁弁が開いて真空ポンプが作動し、下限圧力で電磁弁が閉じて真空ポンプが停止するよう圧力調節指示器で制御した. また、チャンバ内へは流量計を介して低温庫内の空気を常時一定量流入させた.

図 2 に定圧式減圧貯蔵装置の概要を示した. チャンバの材質、内容積は差圧式減圧貯蔵装置と同様である. 低温庫内の空気を流量計から加湿器を通してチャンバ内に流入させる一方、真空ポンプで連続的に排気した. なおこの試験では加湿は加温せずに行った.

(4) 貯蔵期間

キャベツ: 差圧減圧区 79 日間 (昭 55 年 10 月 27 日 ~

昭 56 年 1 月 14 日)

定圧減圧区 69 日間 (昭 55 年 11 月 6 日 ~

昭 56 年 1 月 14 日)

カブ: 両試験区とも 63 日間 (昭 56 年 11 月 17 日

~ 昭 57 年 1 月 18 日)

(5) 測定項目

i) 減量 貯蔵中キャベツは 10 日ごと、カブは 1 ヶ月ごとに重量を測定し、貯蔵開始時の重量比で求めた. なお、カブについては葉付きと葉切りで各々根部の大きさ (大玉、中玉、小玉) による減量の相違をみた.

表 1 減圧貯蔵試験区及び貯蔵条件

品 目	項 目	試 験 区		
		差 圧 減 圧		定 圧 減 圧
キャベツ	設定圧力	100 ↔ 300 mmHg		100 mmHg
	設定空気流量	40 ml/min		100 ml/min
	排気サイクル	8 h		—
	貯 蔵 量	14 個		13 個
カ ブ	設定圧力	100 ↔ 300 mmHg		100 mmHg
	設定空気流量	30 ml/min		20 ml/min
	排気サイクル	9 h		
	貯 蔵 量	葉切：大玉 3 個 (80~100 g)	中玉 5 個 (50~75 g)	小玉 5 個 (30~50 g)
		葉付：大玉 4 個 (140~250 g)	中玉 5 個 (90~140 g)	小玉 5 個 (60~130 g)

表 2 キャベツの外観評価内容

評 点	内 容
5	新鮮（貯蔵開始時と殆ど同等）
4+	無調製で出荷可能
4	部分的な調製で出荷可能
3+	障害が比較的少なく、外葉調製 2 枚程度
3	商品限界（減量 5 %以内）
2+	障害、萎れやや大
2	障害、萎れ甚大
1+	食味の限界
1	障害が内部まで及び変質が著しいもの

注）障害は変色やカビ，腐敗等

ii) 外観評価と調製歩留り キャベツについて貯蔵終了時に、表 2 の評価内容に基づいた外観評価を行い、さらに調製後の歩留りを求めた。

実験結果及び考察

1. チャンバ内 CO₂ ガスの蓄積

設定条件から、キャベツの呼吸作用によって 1 時間当たりチャンバ内に蓄積される CO₂ 量 Q (mg/h) は、

$$Q = q \cdot W \quad (q = 8 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}, W = 15 \text{ kg}) \\ = 120$$

である。一方、上限圧力 300 mmHg の時、チャンバ内空気量 G (mg) は、

$$G = \rho \cdot V \times 300 / 760 \\ = 30 \times 10^3$$

で、この 4% に相当する量 E (mg)，即ち

図 1 差圧式減圧貯蔵装置概要²⁴⁾²⁵⁾

- ① 流量計 ② チャンバ ③ 圧力変換器
④ 圧力指示計 ⑤ 圧力調節指示器
⑥ 真空ポンプ ⑦ 電磁弁

図 2 定圧式減圧貯蔵装置概要²⁴⁾

- ① 流量計 ② チャンバ ③ 圧力変換器
④ 圧力指示計 ⑤ 電磁弁 ⑥ 真空ポンプ
⑦ 加湿器

$$E = G \times 4/100$$

$$= 1200$$

が CO_2 の許容量となる。Q と E から、 $E/Q=10$ (h) となり、設定条件でキャベツを貯蔵した場合、10時間でチャンバ内の CO_2 濃度が許容値に達することになる。実際には下限圧力 100 mmHg の時、チャンバ内には約 5 mg の CO_2 が含まれており、また、流入空気中にも若干の CO_2 が含まれているが、これらは Q に対して微量であり、ここでは無視した。

次に、下限圧力 100 mmHg の時チャンバ内空気量 Z (mg) は、

$$Z = \rho \cdot V \times 100/760$$

$$= 10 \times 10^3$$

で、 $P_1 \rightarrow P_2$ の時間を 10 時間とすると、この間にチャンバ内に流入する空気量は $(G-Z)$ (mg) であるから、1 時間当たりの流入量 M (mg/h) は、

$$M = (G-Z)/10$$

$$= 2000 \text{ mg/h}$$

$$= 1500 \text{ ml/h} \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

となる。

2. チャンバ内 O_2 濃度変化

キャベツの呼吸による O_2 消費量を j (mg/kg·h) とし呼吸商を 1 と考えると、 $\text{O}_2/\text{CO}_2 = j/q$ から、

$$j = q \times 32/44$$

$$\approx 5.8$$

となり、全貯蔵量に対する O_2 の消費量 J (mg/h) は、

$$J = j \cdot W$$

$$= 87$$

となる。一方、チャンバ内には一定量の空気が流入しているため、チャンバ内の O_2 濃度は、消費量 J と流入空気に含まれる O_2 量 L (mg/h) との大小関係によって変化することになる。即ち、

$$J = L \text{ のとき } \text{O}_2 \text{ 濃度} = 3\%$$

$$J > L \text{ のとき } \text{O}_2 \text{ 濃度} < 3\%$$

$$J < L \text{ のとき } \text{O}_2 \text{ 濃度} > 3\%$$

従って、チャンバ内の O_2 濃度が許容値の 3% を下回らないためには、 $L \geq J$ であることが必要である。このことから、流入空気量 U (mg/h) として、

$$U \times 23.2/100 \geq J = 87 \quad (23.2 \text{ は空気中の } \text{O}_2 \text{ 重量}\%)$$

$$\therefore U \geq 380 \quad (= 290 \text{ ml/h}) \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

以上の考察の結果、④及び⑤から $M > U$ であるので、チャンバ内流入空気量は CO_2 濃度の許容値を基準に設定する必要がある。

3. キャベツの貯蔵結果

(1) 貯蔵中の減量

図3にキャベツの減量曲線を示した。貯蔵1ヶ月後くらいまでは両試験区間にそれほど大きな相違は見られなかったが、1ヶ月以降定圧減圧区のキャベツは急速に減量が進み、貯蔵50日後の測定では区平均で7%に達していた。また、表3に示したように、定圧減圧区は下段に堆積されたキャベツの減量が上段、中段に比べて多かった。これは、外気流入口と排気口がチャンバ下方にあるため、下段付近を流れる空気が他の位置より多かったことに加えて、流入空気の加湿度も不十分であったためと思われる。

一方、差圧減圧区は貯蔵終了時においても試験区平均の減量が1.7%と極めて少なかった。堆積位置による減量むらも表3のように小さく、チャンバ内は均一な環境が維持できた。

(2) 外観評価と歩留り

表4に貯蔵終了時における外観評価と調製後の歩留りを示した。調査は貯蔵全数について行ったが、差圧減圧区は無調製で出荷可能な評点4+以上のキャベツが、全14個中過半数の9個を占め、貯蔵開始時と遜色ない評点5のキャベツも4個あった。また、調製を要するものも外葉の一部をトリミングする程度で、全体として調製後の歩留りは貯蔵開始時の重量に対して97%と高かった。

これに対して、定圧減圧区は萎凋が著しかったこともあって、全体の平均で商品限界の評点3を下回った。また、調製は評点3以上のキャベツ(8個)について行ったが、調製後の歩留りは約90%であった。

図3 キャベツの減量曲線

表 3 キャベツの堆積位置別減量むら（貯蔵 59 日後）

試 験 区	堆 積 位 置 別 減 量 (%)				
	上 段	中 段	下 段	外気入口	外気出口
差 圧 減 圧	1.5 (3)	1.5 (5)	1.6 (6)	1.9	1.6
定 圧 減 圧	6.7 (1)	6.4 (6)	10.2 (6)	18.8	8.4
					区平均
					1.5
					8.2

() 内はキャベツの堆積個数

表 4 キャベツの外観評価と調製歩留り

試 験 区	評価・調製時の 貯 蔵 日 数	堆積位置別評価 ¹⁾				調製歩留り (%)
		上 段	中 段	下 段	区平均	
差 圧 減 圧	79	4.0	4.5	4.6	4.4	97.1
定 圧 減 圧	69	3.5	3.0	2.7	2.8	89.4 ²⁾

1) 評点の 4*, 3*, 2*, 1* をそれぞれ 4.5, 3.5, 2.5, 1.5 として計算

2) 評点 3 以上 (8 個) について調製

図 4 カブの減量曲線

4. カブの貯蔵結果

図 4 はカブの葉付と葉切りについて、それぞれ貯蔵全数の平均減量曲線を示したものである。測定は貯蔵 1 ヶ月後に初めて行ったが、この時点で既に両試験区間には減量に大きな差が生じていた。定圧減圧区の流入空気量は 20 ml/min で、キャベツの場合の 1/5 の量であったが、この場合も流入空気加湿が不十分で萎凋が進んだものと考えられる。葉付と葉切りを比較してみると、両試験区とも葉付の減量のほうが多い傾向にあった。

表 5 は葉の有無と、カブの大きさの関係から減量をみたものである。葉切りの場合は小玉化するほど減量が多い傾向にある。WELLS²³⁾ がレモンの貯蔵試験で、小玉果の減量が大玉果より多かったという報告をしている。これについて彼は単位重量当たりの表面積が小玉果のほうが大きいためであると説明しているが、カブの場合も

表 5 カブ葉の有無と大きさ別減量 (単位: %)

試 験 区	貯蔵日数	葉 切			葉 付		
		大 玉	中 玉	小 玉	大 玉	中 玉	小 玉
差 圧 減 圧	63	0.4	0.9	1.2	0.9	0.1	4.6
定 圧 減 圧		14.9	21.2	28.2	37.9	20.2	17.7

これと同じ理由で小玉の減量が多くなったものと考えられる。葉付の場合はカブの大小と減量の間に一定の傾向はみられなかった。これは葉部からの蒸散が影響したためと思われる。

要 約

低圧下のある 2 つの圧力間を変動させながら貯蔵する差圧式減圧貯蔵法をキャベツとカブに適用した。本貯蔵法の特徴と研究を通じて得られた結果を以下に要約する。

(1) 本貯蔵法は、減圧したチャンバ内で設定した 2 つの圧力 (P_1 , P_2) 間を往復させながら貯蔵する方法である。経時的に圧力を変動させることによって、貯蔵期間中チャンバ内の O_2 補給や CO_2 ガス等の排除が容易に行われる。

(2) 圧力 P_1 , P_2 は、チャンバ内の O_2 濃度許容下限値を 3%, 下限値を 10% とし、 $P_1=100$ mmHg, $P_2=300$ mmHg に設定した。

(3) 圧力が P_1 から P_2 に昇圧する過程で、チャンバ内は青果物の呼吸作用によって CO_2 ガスが蓄積されるが、その濃度と流入空気量、 $P_1 \rightarrow P_2$ の時間 (排気サイクル) 等の関係についてキャベツを例に検討を行った。貯蔵温度 $0^\circ C$ 、上限圧力 P_2 におけるチャンバ内の CO_2 ガス許容濃度 4%, キャベツの呼吸量 $8 \text{ mg/kg} \cdot \text{h}$ を条件に排気サイクルを計算した結果、本貯蔵装置では 10 時間となり、流入空気量は 30 ml/min と算出された。

(4) キャベツとカブを供試し、本貯蔵法と一定圧力に保って貯蔵する定圧減圧貯蔵法との比較試験を行った。その結果、貯蔵中の減量、外観等の品質面、あるいは装置の取扱性等いずれも本貯蔵法が勝った。また、本貯蔵法の場合、貯蔵期間中真空ポンプは圧力を P_2 から P_1 に下げる時だけ作動すればよいとため、連続的に作動する定圧減圧貯蔵に比べ、ランニングコストの面ではかに経済的であった。さらに本貯蔵方式の場合、チャンバ内は青果物等の水分で飽和されやすいため、流入空気を加湿する必要はなかった。

文 献

- 1) TOLLE, W.E.: United Fresh Fruit and Vegetable Association Yearbook (July), p. 27 (1972).
- 2) JAMIESON, W.: *Food Technol.*, **64**, March (1980).
- 3) TOLLE, W.E.: U.S. Dept. Agr. Mktg. Res. Rept. No. 842, (1969).
- 4) JARDINE, D.J., DILLEY, D.R. and PRICE, H.C.: *HortScience*, **19**, 869 (1984).
- 5) KADER, A.A.: Postharvest Physiology Seminar, June 5 (1975).
- 6) SPALDING, D.H. and REEDER, W.F.: *HortScience*, **11**, 491 (1976).
- 7) HERTOOGH, A.A.D., BARRETT, J.E. and DILLEY, D.R.: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **103**, 260 (1978).
- 8) MCKEOWN, A.W., LOUGHEED, E.C. and MURR, D.P.: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **103**, 749 (1978).
- 9) SPALDING, D.H., DAVIS, P.L. and REEDER, W.F.: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **103**, 592 (1978).
- 10) LOUGHEED, E.C., MURR, D.P. and BERARD: *HortScience*, **13**, 21 (1978).
- 11) SALUNKHE, D.K. and WU, M.T.: *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **98**, 113 (1973).
- 12) BURG, S.P. and BURG, E.A.: *Science*, **153**, 314 (1966).
- 13) WU, M.T., JADHAV, S.J. and SALUNKHE, D.K.: *J. Food Sci.*, **37**, 952 (1972).
- 14) WU, M.T. and SALUNKHE, D.K.: *Utah Science*, **29**, (1972).
- 15) 近藤 悟・大垣智昭・金 珉: 園学雑, **52**, 180 (1983).
- 16) 上田悦範・中本昌利・緒方邦安: 日食工誌, **27**, (1980).
- 17) 小泉武紀・小野田明彦: 特許第 944823, (1979).
- 18) 農業機械化研究所編: 昭和 50 年度事業報告, p. 173 (1976).
- 19) 大竹伝雄: 化学工学, (コロナ社, 東京), p. 135 (1971).
- 20) 架谷昌信: 化学工業工学, 杉山幸男編 (地球出版, 東京), p. 493 (1969).
- 21) 田村 勉: 青果保蔵汎論, 緒方邦安編 (建帛社, 東京), p. 203 (1977).
- 22) 小曾戸和夫: 実用化技術レポート, No. 54, 15, 農林水産技術会議事務局編 (1978).
- 23) WELLS, A.W.: U.S. Dept. Agr. Mktg. Res. Rept. No. 539 (1962).
- 24) 小野田明彦: 昭和 57 年度研究報告会資料, p. 49, 農業機械化研究所編 (1983).
- 25) 小野田明彦: 農流技研会報, No. 30, p. 54, (1982).

(昭和 63 年 5 月 12 日受理)