 論 文

リンゴの貯蔵 (C-A 貯蔵庫) [3]*

—貯蔵庫の気密性の基準—

堂 腰 純

(北海道大学 農学部)

Controlled Atmosphere Storage of Apples (3)

—Standard of Airtightness of the Storage—

J DOHKOSHI

(Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

1. は し が き

Controlled Atmosphere Apple Storage については既に報じたり²⁾ところであるが日本においてもこの種の貯蔵庫設置が具体化しつつある。しかしリンゴの貯蔵条件である酸素、炭酸ガス濃度および湿度の条件が十分満たされなければ C-A 貯蔵庫の効果を期待することが出来ない。すなわちただ貯蔵庫の形態を整えたからといつても C-A 貯蔵庫としての機能を発揮するという保証は何もないということである。リンゴは 0 度または 0 度近い低温で貯蔵されるため呼吸作用が極めてかんまんであり、気密性が不良である場合には CO_2 5%, O_2 3% (あさひの場合) に保持しようとしても大気中の高濃度の酸素のために到底 O_2 の 3% を維持することが出来ず濃度が高くなり、また CO_2 は逆に 5% 以下に低下する結果となる。これはリンゴの呼吸量をはるかにこえた量の酸素が漏洩のため外部から補給されることになるからである。したがってその機能を果す目安としては貯蔵庫の気密性の良否をあげることが出来る。気密性の良好なものでなければ C-A 貯蔵庫として利用すべきでなく、建設当初において気密性の良好なものであつても、経年的に劣化するおそれもあり、毎年貯蔵開始前においてその気密テストを実施し、それに合格したものでなければ C-A 貯蔵庫として利用することが出来ない。本論においては毎年実施すべき気密テストの基準設定を試みたのでその結果について述べる。

2. 気密性について

貯蔵庫の気密テストにおいては貯蔵庫のみならずブリザーバッグ (呼吸袋)、 CO_2 スクラバー (炭酸ガス吸収塔) 等の全系を連結し気密ドアーを密閉した状態で加圧または減圧の何れかの方法により内部圧力がどの様に変化するかをマンメーターを利用して測定し、その結果によつて判定されなければならない。気密テストの際には作業員に貯蔵庫内に入つてもいい空気漏洩箇所の発見に

つとめ、補修しなければならない。気密性が割合に良好な貯蔵庫では 40~50 mm 水柱の加圧空気の状態で漏洩点から発する音を探索し次々と補修しながら気密性を高めてゆくことが出来るが、漏洩箇所が非常に多い場合または大きな漏洩のある場合には相当大きなコンプレッサーまたはブロワーを用いて加圧しない限り庫内圧力が容易に高まらず発見が困難である。その様な場合には庫内を負圧にし外部から庫内に空気が流入する箇所を線香等の煙を用いて発見する方が容易である。この方法を行なうためには真空ポンプまたはコンプレッサー、ブロワー等の吸込、吐出を逆に用いながら行なうと比較的容易に漏洩点を発見することが出来る。この減圧法で庫内を負圧にしながら漏洩点を順次気密にしてゆく¹⁾と次第に真空圧も大きくなる。しかしあまり真空圧を大きくしすぎると気密材料が断熱壁から剥離し、その為に気密性をそこなう危険性があり、この様な状態に至る前に加圧法に切りかえて漏洩点から発する音をききながら気密性を高めてゆくテスト方法が実際的である。

3. 減圧係数 λ について

完全に気密で空気漏洩のない貯蔵庫の建設は望むべくして仲々容易でない。一般に漏洩があると考えなければならないし、また完全気密な貯蔵庫である必要はなく、漏洩の著しいものでなければ実用上差支えない。ただその程度が問題である。貯蔵庫が密閉された状態においては内部圧力は室内温度の係数としてあらわされるがテスト中温度が略々一定であるとするならば漏洩量は内部圧力に比例するはずである。またある時刻においてある圧力を与えたとするならば漏洩のために時間の経過と共に減圧し終局的には大気圧に等しくなる。漏洩の大きな貯蔵庫は短時間に大気圧に近づき小さなものは圧力の持続時間が長いことになる。貯蔵庫内圧力はマンメーターの水柱であらわすことが出来るので dt 時間の間の圧力の減少を dh であらわすならばこれは内部圧力 h に比例することになる。

* 昭和 38 年 4 月 8 日農気全国大会で発表

$$dh = -\lambda h dt \quad (1)$$

負符号は減圧を意味し、 λ は常数(減圧係数)である。今初期条件として、 $t=0$ において庫内圧力を h_0 とするならばこの関係は次式であらわされる。

$$h = h_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

この関係を図に示すと Fig.1 の如くなり、 λ の大きいもの程早く減圧し、気密性が不良で C-A 貯蔵庫として利用することが出来ず、 λ の値の小さいものでなければならない。

この関係を半対数紙を用いてあらわすならば容易にこ

Fig. 1. Pressure decreasing curves of C-A storage for various λ .

の傾向を知ることが出来る。すなわちこの曲線は直線としてあらわされ、 λ は直線の勾配を意味している。気密テスト時はこの半対数紙を用意して圧力の減少をプロットしこの勾配から気密の程度を判定することが出来る。この実測例について述べてみよう。

北海道大学農学部 C-A 貯蔵庫 No.1 No.2 の2室についてその結果を図示すると Fig.2 の如くなる。図には昭和 36 年度および昭和 37 年度の実測値と C-A 貯蔵庫としての良否の程度を示す限界曲線が示されている。この限界曲線は米国において既に発表された実測結果⁹⁾より算定したものである。この図より昭和 36 年度実施の貯蔵庫の気密性は不良であり、実際にリンゴを貯蔵した結果、所定の酸素・炭酸ガス濃度を維持することが出来なかつた。(Fig.3)

また昭和 37 年度はそれを改良し極めて良好な気密状態を保つことが出来、ガス濃度も所定に維持することが出来た。(Fig.4)

λ を図から簡単に算出する方法の一例を述べるならば毎分の観測値をつらねる平均直線を引き、ある時間間隔の圧力の比の対数を対数表より求め(3)式を用いて算出する。

Fig. 2. Calculated λ and pressure relaxation tests.

Fig. 3. Time vs. O₂ and CO₂ level. (Mc Intosh : 1961)

Fig. 4. Time vs O₂ and CO₂ level. (Delicious : 1962)

表1 減 圧 係 数 λ

年 度	貯 蔵 庫 名	貯 蔵 開 始	λ	適 否	貯蔵リンゴ
昭和 36 年度	C-A ROOM No. 2	昭和 36 年 12 月 16 日	0.33	否	あ さ ひ
限 界 値			0.1	否	
昭和 37 年度	C-A ROOM No. 2	昭和 37 年 10 月 19 日	0.026	適	あ さ ひ
	C-A ROOM No. 1	昭和 37 年 11 月 3 日	0.009	適	でりしゃす

$$\lambda = \frac{\log e \frac{h_1}{h_2}}{t_2 - t_1} = \frac{2.30 \times \log_{10} \frac{h_1}{h_2}}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

但し $h_1 = t_1$ のときの水柱

$h_2 = t_2$ のときの水柱

計算例

$$\lambda = \frac{2.30 \times \log \frac{56}{32}}{60} = \frac{2.30 \times 0.243}{60} = 0.009$$

厳密には最小自乗法を用いるとよいがここではふれな

い。この様にして求めたものの結果を示すと貯蔵可能か否かの限界を示す λ は 0.1 であり、これより大きい場合には漏洩箇所の発見につとめ補修工事を行なわなければならない。得られた結果を表に示す。

4. λ と酸素減衰曲線および炭酸ガス増加曲線との関係

北大農学部園芸第一研究室における C-A 貯蔵庫の λ と酸素減衰曲線と炭酸ガス増加曲線について述べよう。

昭和 36 年度においては気密性が不良 ($\lambda=0.333$) であったため容易に酸素濃度は減衰せず、また炭酸ガス濃度は増加しなかつた。Fig. 3 に示す通り $\lambda=0.33$ の程度では C-A 貯蔵庫としての機能を果たすには極めて不十分であることを意味している。

同一の貯蔵庫を昭和 37 年度に更に改造して気密性を良好にすることに努力した。その結果 $\lambda=0.026$ のもの (No. 2 室) と $\lambda=0.009$ のもの (No. 1 室) が完成し夫々“あさひ” (Mc Intosh) と“でりしやす” (Delicious) を格納した。その結果をみると No. 2 室においては、Fig. 5 に示す如く貯蔵初期におけるクーラー等の障害で遅れたが約 20 日で CO_2 5% 約 40 日で O_2 3% の規定値に達することが出来た。これは出来得れば約半分の日数で規定値に達することが望ましい。また $\lambda=0.009$ の No. 1 室 (Fig. 4) においては約 6 日で CO_2 3%、約 30 日で O_2 3% の規定値に達し、以後夫々の濃度を維持する為炭酸ガス吸収塔 (CO_2 スクラバー) を運転して炭酸ガスを吸収し、酸素の不足分は給気孔を開けて補充し貯蔵条件を十分に満足することが出来た。

米国における経験的実測結果から得られたものを考慮

して λ の限界値として 0.1 を採用しこの値に近いものまたはこの値より大きいものは C-A 貯蔵庫としての機能を果たすことが出来ないとはいえよう。

また気密状態は年々劣化する可能性があり、貯蔵開始にさきだつて毎年気密テストを実施する必要があることは前述の通りで特に附言しなければならない。

5. あとがき

昭和 37 年度においては北大農学部 C-A 貯蔵庫 No. 1 No. 2 両室共極めて良好な気密性を示し、C-A 貯蔵庫としての機能を果たすに充分な結果を得ることが出来た。前年の昭和 36 年度においては気密作業が適切でなかつたため酸素が容易に減少せずまた炭酸ガスは増加せず所定のガス濃度を維持することが殆ど出来ない状態にあつた。したがつてリンゴの長期貯蔵は不可能であつた。C-A 貯蔵庫においては気密の程度を知るといことは極めて重要なことであるといわなければならない。この限界を示す減圧係数 $\lambda=0.1$ より小さなものでなければならない。この様に貯蔵条件を満足された状態においてはじめて“マジックリンゴ”の誕生を可能にすることが出来る。最後に本研究報告の発表の期を与えて下さつた北大農学部横田廉一教授、並びに資料の発表を許して下さいた園芸第一研究室沢田英吉教授、田村勉助教授、今河茂助手の厚意を感謝する次第である。

参考文献

- 1) 堂腰純：リンゴの貯蔵 (1) 農業及園芸 36 巻 11 号
- 2) 同上：同上 (2) 農業及園芸 36 巻 12 号
- 3) F. W. SOUTHWICK, J. W. ZAHRADNK: C-A Storage Pressure Test for Leakes University of Mass., Leaflet.

Fig. 5. Time vs O_2 and CO_2 level. (Mc Intosh : 1962)

Summary

The controlled atmosphere room must be gastight or it will not operate properly. The gas seal is critical for the successful operation of the C-A storage.

Therefore C-A storage rooms should be pressure tested for leaks annually before lading. A pressure blower is connected for the C-A room and air is blown into the room until the pressure reaches one inch water gauge. Most of the experiences in U.S.A. have shown that the room should not lose all the pressure (down to zero) in less than 30 minutes.

The study reported in this paper was made at two storages of Hokkaido University in Japan. These rooms were built in 1961 and 1962. By the theoretical analysis, the water height (h) of manometer is given by the formula.

$$h = h_0 e^{-\lambda t}$$

where t = time, min, h_0 = water height of manometer at $t=0$ mm, λ = leakage factor.

In 1961, we have constructed No.2 room of McIntosh Apples, but we could not satisfy the gas contents required, because its λ was 0.33 (mm/min.). In next year we have reconstructed No. 2 room for McIntosh and constructed No.1 room for Delicious Apples. By the pressure test, λ was 0.026 and 0.01 respectively, and gas contents were kept easily. And one inch pressure drop in 30 minutes corresponds to $\lambda=0.1$. Therefore we can say that λ of C-A storage of Apples should be kept under 0.1 during season.

抄 録

External exchange coefficient over the bare and grass lands : G. P. MEDVEDEVA,
Heat balance of forest and field, Moskva
78~84, 1962.

地表面での熱交換や水交換を研究する際には外部拡散係数 D が一般に使用されている。この係数は 0.45 から 2.1 cm/sec の範囲にあることが現在までの研究から知られている。熱収支観測の資料の解析から D は風速のみならず気層の安定度によっても変化することが判った。その関係はつぎのように指数関数で近似できる。

$$D = aU \exp \left[-b \frac{\Delta T}{U^2} \right]$$

ここで、 U は風速、 $a \cdot b$ は経験常数、 $\Delta T/U^2$ は stability ratio である。裸地と草地上で a は同様 (0.258) であるが、 b は裸地で 0.23、草地上で 0.05 になることが見出されている。これは気層の安定度への D の依存関係が表面状態によって違うことを示している。即ち裸地上では不安定度の増加につれて D は急激に大きくなることが判った。この差は表面の粗さだけで説明することは困難である。著者は植被面は温度的に不均質 (水平的に) で、これは熱対流の発達、すなわち、乱流交換を促進する。このために乱流熱交換への気層安定度の影響が弱まり、 b の値は小さくなると説明している。

(内島善兵衛)

Calculating evaporation from diffusive resistances : J. L. MONTEITH, Final report on Investigation of energy and mass transfers near the ground, Univ. of California, 177~189, 1963.

地面ならびに植被面からの蒸発は拡散抵抗を用いるとつぎのように表わされる。

$$E = (\chi_0 - \chi) / r_a$$

ここで、 χ_0, χ は地面とある高さの水蒸気密度 (g/cm^3), r_a は拡散抵抗 (sec/cm) である。一方、接地気層内での風速の対数分布から r_a はつぎのようになる。

$$r_a = \left(\ln \frac{z}{z_0} \right)^2 / \kappa^2 U_z$$

ここで z_0 は下表面の粗度係数、 κ はカルマン常数である。二つの式を組合せることによって水蒸気・風速の測定から蒸発散量を決定できることが判る。植被からの蒸散を決定するためには気孔の拡散抵抗 (r_s) を知る必要がある。著者はライシメーターの蒸発量と湿度測定を用いて r_s の値を評価し、朝夕大きく (1~2 sec/cm) 日中小さく (約 0.5) なることを認めている。平均値として $r_s = 0.7$ sec/cm を用いて計算した蒸発散量とライシメーターのそれとを比較して極めてよい一致をえている。また、 $r_s = 0.4, 0.8$ sec/cm の値からえた月間蒸発散量の年変化とライシメーターのそれとを比較し、ライシメーターの値は両者の間に分布することを報告している (内島善兵衛)。