

省產檸檬人工大氣貯藏之研究

Study on the Controlled Atmosphere Storage of Lemon (*Citrus limon* Burm f.) in Taiwan

黃婷珠¹⁾、林學正²⁾、黃肇家³⁾

Huang Pin-chu, Lin Shue-cheng and Huang Chao-chia

摘要：省產檸檬產期集中在六至九月間，翌春二至五月間則呈現供不應求現象，加之本省檸檬消費偏好綠色果實，而人工大氣（CA—Controlled Atmosphere）能有效延緩葉綠素之消失，能維持果蔬的綠色及品質，故如何利用 CA 貯藏，延長檸檬秋冬盛產之果實以供翌春市場來平衡供需，為本試驗探討之原因。

本試驗使用流通式人工大氣貯藏方式，大氣組合 O₂% : CO₂% 有 3 : 3、3 : 5、3 : 10、5 : 3、5 : 5、5 : 10、7 : 3、7 : 5、7 : 10等九組，另有空氣為對照組。試驗結果以 O₂—CO₂為 3%—3%者效果最好，貯藏12週後，果實仍維持黃綠色，鮮度、風味均佳。低氧（3%）可保持果實綠色及鮮度、抑制麻點生理障礙之發生；二氧化碳則與鮮度無關，濃度升高有增進麻點發生及降低果實酸含量之作用。

關鍵字：檸檬、人工大氣貯藏

Key words: lemon, CA storage

前 言

省產檸檬雖可周年收穫，惟盛產期仍集中於六~九月間，而鮮銷市場的消費盛期常自二、三月間開始，此時所產之春果供不應求，價格也居高不下，而盛產期則又供過於求，價格下跌（如圖1），因此檸檬實有貯藏之需要。此外，本省檸檬消費市場偏好綠色果實，而人工大氣貯藏（CA—Controlled Atmosphere Storage）經專家們確認，對果蔬保持綠色具有效果^(7,13)，故省產檸檬若能以 CA 貯藏法貯存消費淡季盛產之果實，並保持良好色澤以供翌春之市場，必有助於供需平衡及價格之穩定。

柑橘果實 CA 貯藏早於1928年，英人 Barker 即有研究，之後試驗研究漸多，惟專家們認為柑橘果實 CA 的效果並不令人滿意^(4,8,11,12)。確實，CA 對柑橘有若干的傷害，如使腐敗率過高而限制柑橘 CA 貯藏之使用^(5,10,13,14)，使果汁含量及檸檬酸含量降低^(5,9,14)，造成異味^(1,5,6)，以及高二氧化碳傷害^(2,3,14)等。但是，從多年柑橘 CA

1)原農林廳農民輔導科技士，本文為其在中興大學園藝研究所碩士論文之一部份。

2)臺南區農業改良場場長。 Director, Taiwan Provincial Tainan District Agr. Imp. Sta.

3)臺灣省農業試驗所助理研究員。 Assistant Horticulturist TARI.

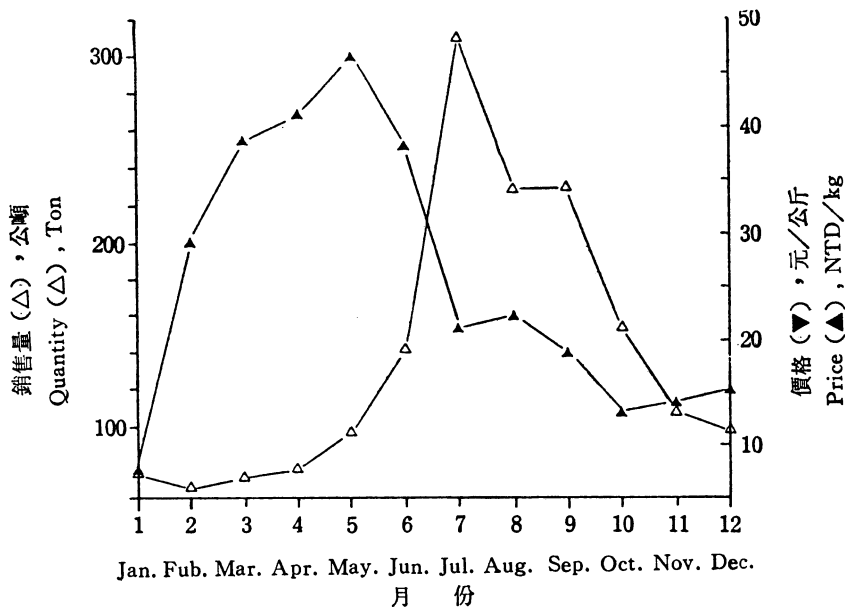


圖 1. 74年度省產檸檬銷售量及價格

資料來源：臺北果菜公司。

Fig 1. Whole sale price and quantity of lemon fruits at Taipei Agricultural Products Marketing Corporation in 1985.

貯藏的諸多試驗報告中，顯示 CA 對柑橘果實仍有其特定的益處，如低溫下較一般冷藏更具效果^(9,10)，二氧化碳可減低寒害所造成的麻點 (pitting)^(3,4,6)；減低蒂腐病 (stem end rind breakdown) 之生理障礙⁽⁵⁾；防止萊姆及檸檬果色轉黃^(4,9,10,13,14)；增加風味；減少腐敗率；並可保持果實硬度^(4,6)。因此本研究仍進行 CA 之試驗，希望瞭解省產檸檬對 CA 之反應及尋求適當之 CA 貯藏條件。

材料與方法

本試驗材料取自東勢，樹齡為15年生，品種為優列喀 (Eureka)，試驗用果實為綠色或淡綠色，果重中等 (130—160g/個)，果齡180—190天，約8—9分熟。果實於前一天採收，置果園貯藏室中風乾一夜，第二天運回農試所冷藏庫，以 TBZ 1,000ppm 加 2~3 滴展着劑浸漬 4 分鐘，取出涼乾一夜，裝入 71 之氣密瓶中。每個不同之人工大氣組合有 3 重複，每重複均分 A、B 二瓶，以軟管由瓶蓋處相連，每瓶含約 20 個果實。A 瓶果實每 2 星期作一次外觀及果汁成分變化之分析調查，B 瓶果實則供試驗結束時腐爛率及樹架壽命之觀察。

人工大氣組合以 O₂ : 3%、5% 及 7% 三試級，分別配合 CO₂ : 3%、5% 及 10%，組成 9 種處理，各成分氣體 O₂, CO₂ 及 N₂ 以 dynamic system 方法，用流速控制其含量百分率，氣體混合後經水中加濕，維持相對濕度 90~95%，流速每分鐘 100cc，對照組以相同裝置通入加濕空氣，全部試驗均在 15°C 冷藏庫中進行。

結果與討論

一、果皮顏色變化：

為便利果色變化的觀察及記錄，將檸檬顏色由綠轉黃之變化區分為 1~5 級，依次

為綠色、淺綠、黃綠、黃色及深黃色（如彩9.2）。

試驗結果如圖 2，對照果實在第 2 週後即轉成黃色（3.89），而處理各組除 O₂-7% 者外，至試驗結束，均仍維持黃綠色（2.45~3.25），尤以 O₂-3% 之各處理效果最顯著，移出置空氣中 2 週仍呈黃綠色。O₂-5% 及 O₂-7% 之結果差異不顯著。O₂ 濃度 3% 及 5% 之處理中，提高 CO₂ 濃度對果色轉黃，似有抑制效果，惟經變方分析結果顯示 O₂ 濃度對 CA 延緩果皮黃化的效果為主效應，CO₂ 及二者的交感作用則效應不顯著。

果實貯藏 8 週後，O₂ 濃度對果色有顯著的影響，尤以 O₂-3% 效果最大，由此可知檸檬長期貯藏中，低 O₂ 扮演極重要的角色。

二、果蒂情況：

CA 能顯着維持檸檬果蒂的良好狀況，貯藏 12 週後，果實仍有 80~100% 的綠蒂，而對照組則於第 8 週後顯着減少綠蒂百分率，並有果蒂褐化、脫落現象（數據未列）。

三、生理障礙——麻點之發生：

貯藏 4 週後部分處理之果皮有褐色凹陷麻點發生，為便於觀察、記錄，亦將麻點發生程度分為 0~4 級：0 級為無症狀發生，1 級有 1~3 處凹陷，2 級有 4~10 處，3 級果實有一半發生，4 級最嚴重，幾遍及全果。

麻點在貯藏第四星期開始發生（如圖 3），且有隨二氧化碳濃度增加而增加的趨勢。低氧（3%）及低二氧化碳（3%）有抑制麻點發生的作用，對照組並無麻點發生。

因試驗在 15°C 冷藏庫中進行，應為檸檬寒害安全溫度以上，故推斷麻點的發生係由於短期間內，高 CO₂ 造成果實組織缺氧，產生揮發性有毒氣體如乙醛等，在表皮聚積，促使果皮局部細胞壞死而引起的傷害。

四、果汁含量變化：

果實貯藏中，含汁量有隨貯藏時間增長而增加的趨勢（如表一），各貯藏時期均以對照組含汁量最高，CA 之各處理間則差異不顯著。貯藏 14 週移出室溫後，由於溫度升高，各處理含汁量亦均增加。

由檸檬果實生長調查顯示：果實隨生育成熟度的增加，果汁含量會繼續增加。貯藏期間各處理含汁量亦呈現隨貯藏時間增長、成熟度增加，而有增多的趨勢，尤以對照組比 CA 各處理果皮較早黃化（2 週與 12 週之差），果汁含量也顯著為多。

五、果汁含糖量及含酸量變化：

檸檬貯藏過程中，果汁總固形物含量變化較不規則（如表二）。

酸含量之變化（如圖 4），貯藏 2 週後，酸含量均減少，4 週時又增加，而後大量減少，6 週後變化較平緩。移出於室溫 2 週後，由於溫度升高，又有增加的現象。貯藏期間，酸含量顯著受 CO₂ 濃度的影響，各處理酸含量有隨 CO₂ 濃度增加而減少的趨勢。

檸檬的風味主要受酸含量的影響，果實貯藏期間，含糖量變化不大，酸則顯著減少，足見檸檬的呼吸介質主要為酸而不是糖。

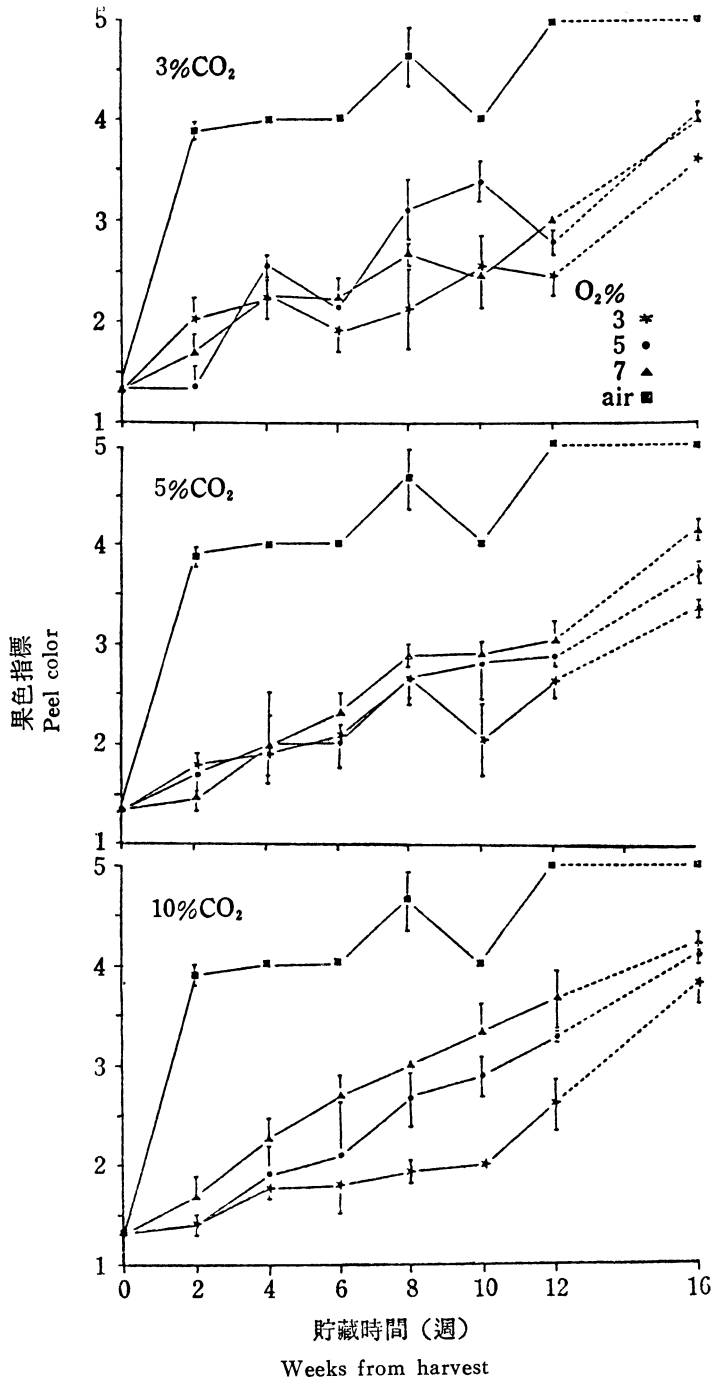


圖 2. 不同人工大氣貯藏，檸檬果色變化圖。

果色：1. 綠色 2. 淺綠 3. 黃綠 4. 黃色 5. 深黃

——CA 貯藏、15°C

.....移置空氣中、25°C

Fig 2. Changes in color score of lemon fruit stored under different CA conditions at 15°C (——) and on shelf at 25°C (.....).

1.green 2.light green 3.yellow green 4.yellow 5.dark yellow

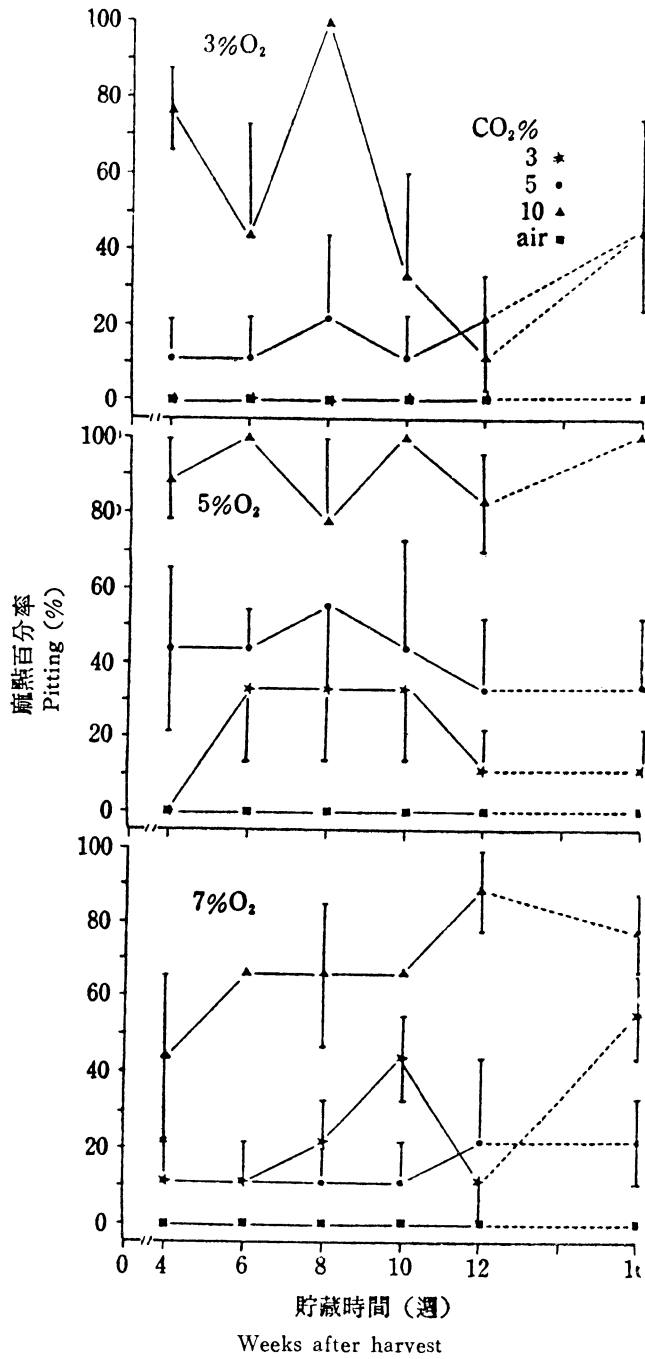


圖 3. 不同人工大氣貯藏，檸檬果皮麻點發生率。

—CA貯藏、15°C

.....移置空氣中、25°C

Fig 3. Rind pitting of lemon fruit stored under different CA Conditions at 15°C (—) and on shelf at 25°C (.....).

表一、不同人工大氣貯藏，檸檬果汁含量百分率^a。

Table 1. Juice percentage of lemon fruit stored under different CA conditions. (%)

CA		貯 藏 時 間 (週) weeks after harvest						
O ₂ (%)	CO ₂ (%)	2	4	6	8	10	12	14+2 ^b
3	3	37.96 ^c	29.72	33.26	39.47	34.97	37.34	42.6
3	5	31.71	25.62	35.14	34.18	33.43	43.66	43.43
3	10	31.91	31.96	34.03	33.62	36.74	39.79	44.33
5	3	33.91	32.94	35.15	32.79	37.26	39.01	45.27
5	5	32.40	30.49	35.38	31.87	38.92	42.75	45.74
5	10	28.87	31.76	35.25	34.60	41.96	40.62	40.85
7	3	32.76	31.76	37.22	34.48	42.95	42.44	45.06
7	5	34.78	33.34	35.37	35.50	41.28	38.10	45.41
7	10	31.09	33.44	36.38	39.51	41.46	44.07	42.21
21 (對照 CK)	0	38.38	38.25	45.61	42.01	49.52	51.17	55.23
LSD	5%	—	5.68	6.24	5.90	4.86	6.49	4.04
	1%	—	7.75	8.51	8.04	6.63	8.85	5.51

a. 果汁率=果汁含量/鮮重。貯藏溫度 15°C，相對濕度90~95%。

b. CA 貯藏14週後，移出於室溫空氣中2日。

c. 每數值代表每處理3果，重複3次，計9果之平均值。

a. Juice percentage=juice content/fresh weight, Storage temperature 15°C, Relative humidity 90-95%.

b. After CA storage for 14 weeks and on shelf for 2 days.

c. Each value represents average of 9 fruits from 3 replications.

表二、不同人工大氣貯藏，檸檬果汁含糖量之變化。

Table 2. Total soluble solids content in juice of lemon fruit stored under different CA conditions. (brix)

CA		貯藏 weeks after harvest 時間 (週)							
O ₂ (%)	CO ₂ (%)	0	2	4	6	8	10	12	14+2 ^b
3	3	initial	7.7 ^c	7.87	7.67	7.77	7.53	7.90	8.10
3	5	7.9	7.43	7.80	7.93	7.70	7.33	7.80	8.03
3	10		7.70	7.60	7.57	7.65	7.20	7.50	7.57
5	3		7.67	7.97	7.60	7.80	7.47	7.90	8.03
5	5		7.60	7.60	7.37	7.87	7.33	7.70	7.80
5	10		7.37	7.75	7.47	7.80	7.23	7.45	7.40
7	3		7.77	7.85	7.67	7.87	7.47	7.27	7.53
7	5		7.60	7.63	7.60	7.70	7.37	7.47	7.30
7	10		7.77	7.70	7.60	7.83	7.57	7.53	7.47
21 (對照 CK)	0		7.73	7.80	7.80	7.80	7.33	7.47	7.63
LSD	5%		—	—	—	—	—	0.38	0.39
	1%		—	—	—	—	—	0.52	0.53

a. 貯藏溫度 15°C，相對濕度90~95%。

b. CA 貯藏14週後，移出於室溫空氣中 2 日。

c. 每數值代表每處理 3 果，重複 3 次，計 9 果之平均值。

a. juice percentage=juice content/fresh weight, Storage temperature 15°C, Relative humidity 90-95%

b. After CA storage for 14 weeks and on shelf for 2 days.

c. Each value represents average of 9 fruits from 3 replications.

另外，果實自 CA 中移出時，因溫度升高，酸含量又顯著增加，故 CA 果實販售，以出庫後 1 週內為佳，此時果色仍為黃綠，含汁量增加，酸度亦提高，風味較佳。

六、果汁 pH 值變化：

果實貯藏後，果汁 pH 值下降，至第 6 週最低，第 8 週又上升，之後變化較不規則。對照組值，各貯藏期間均較 CA 處理者稍低。移出於室溫、空氣中後，變化不大。pH 值的變化與酸含量變化無相關性（數據未列）。

七、維他命 C 含量：

貯藏 2 週後，維他命 C 量減少（如表三），而後逐漸回升至第 10 週，但 12 週時又趨減少。移置於室溫、空氣中，維他命 C 量則增加。CA 對維他命 C 含量影響不大。

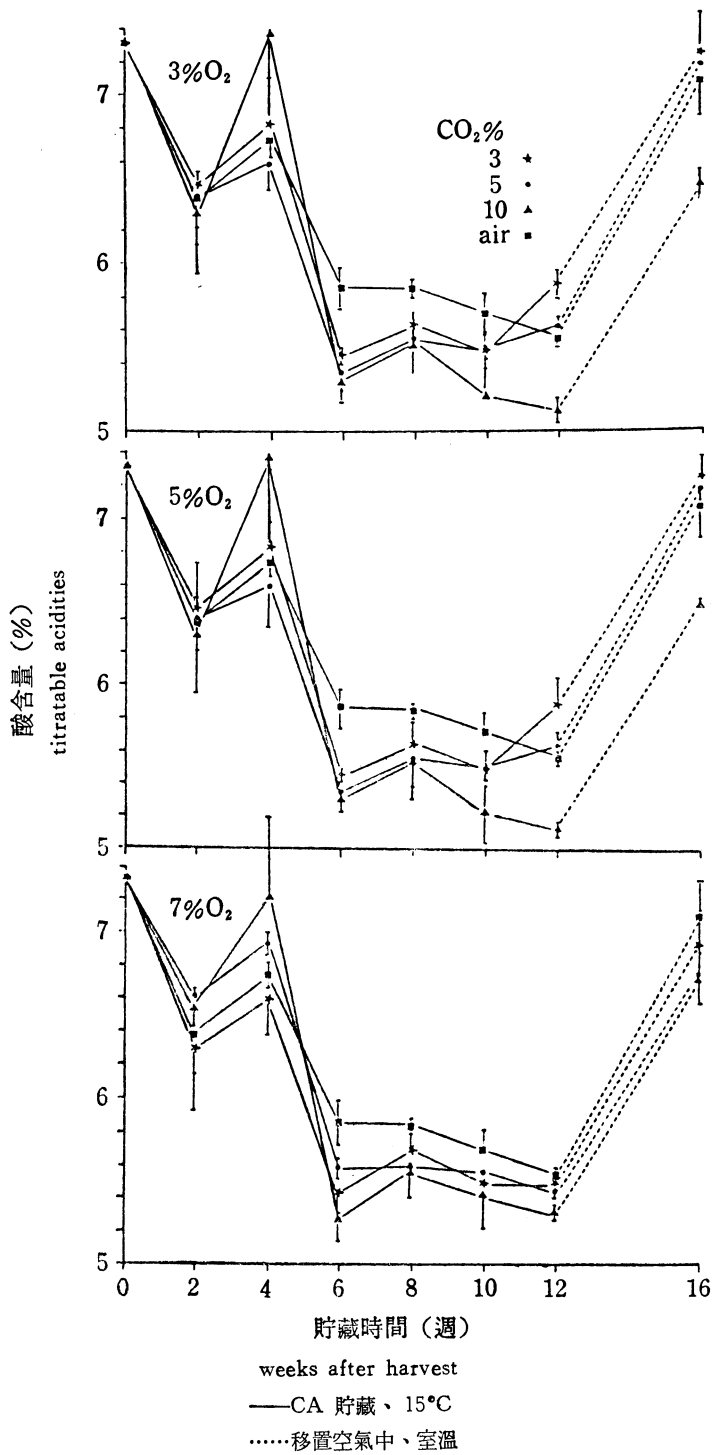


圖 4. 不同人工大氣貯藏，檸檬果汁含酸量變化圖。

Fig 4. Titratable acidities in juice of lemon fruit stored under different CA conditions at 15°C (—) and on shelf at 25°C (.....).

表三、不同人工大氣貯藏，檸檬果汁維他命 C 含量之變化^a。

Table 3. Vitamin C content in juice.

(mg %)

CA		貯藏 weeks after harvest 時間 (週)							
O ₂ (%)	CO ₂ (%)	0	2	4	6	8	10	12	14+2 ^b
3	3	initial	31.70 ^c	36.13	38.17	33.98	43.48	36.81	38.09
3	5	40.23	27.79	35.07	38.58	38.79	41.67	35.10	41.25
3	10		33.27	37.73	38.72	39.33	41.14	33.00	34.21
5	3		33.92	38.53	38.85	32.91	37.73	37.20	41.00
5	5		31.57	32.53	34.89	35.58	40.15	34.45	41.97
5	10		32.35	35.87	38.17	37.59	41.21	33.07	35.14
7	3		33.66	38.40	36.25	38.12	40.61	33.53	39.10
7	5		33.00	36.80	36.25	36.92	38.94	34.45	40.54
7	10		37.83	35.07	36.53	38.66	41.06	35.37	37.52
21 (對照 CK)	0		37.05	36.67	39.81	35.58	41.51	33.79	43.70
LSD	5%		—	—	—	—	—	—	4.53
	1%		—	—	—	—	—	—	6.18

a. 貯藏溫度 15°C，相對濕度90~95%。

b. CA 貯藏14週後，移出於室溫空氣中 2 日。

c. 每數值代表每處理 3 果，重複 3 次，計 9 果之平均值。

a. juice percentage=juice content/fresh weight Storage temperature 15°C, Relative humidity 90-95%

b. After CA storage for 14 weeks and on shelf for 2 days.

c. Each value represents average of 9 fruits from 3 replications.

八、樹架觀察：

果實經14週貯藏，鮮度良好，無失重現象，但自 CA 移出後 1 星期，果實明顯失水，果皮稍有萎縮現象。果色則均增進 1 級（果色等級標準同貯藏期間之調查標準）。麻點凹陷發生數目並不增加，已發生之麻點亦無擴大現象，輕微之麻點反因果皮失水而變為不明顯，但 2 週後，嚴重發生處，則開始潰爛而造成腐敗。果蒂樹架後均褐化，但仍以低氧 3% 之各處理，有較高的綠蒂。

九、酒精含量：

果實經14週貯藏後，O₂ 為 3% 之各處理，果汁中酒精含量較其它處理為高（如表四）。經 2 週室溫貯藏後，酒精大量增加，尤以低 O₂ 及高 CO₂ 為最，即 O₂-CO₂ 為 3%—10% 之處理最高。經非正式官能品評結果顯示，已完全失去風味。而 O₂-CO₂ 為

3%—3%之處理，雖亦含乙醇 (9.23g/l)，但尚不影響味覺，風味仍顯著較對照或其他各處理為好 (糖、酸含量分別為 8.10° brix 及 7.21%)。

表四、檸檬 CA 貯藏 (15°C) 14週後以及再經 2 日室溫櫥架後之酒精含量變化。

Table 4. Changes in ethanol concentration in juice of lemo fruit after CA storage at 15°C for 14 weeks and on shelf at 25°C for 2 days. (g/l)

CA	O ₂ (%)	3	3	3	5	5	5	7	7	7	21 (對照)
	CO ₂ (%)	3	5	10	3	5	10	3	5	10	0 CK)
CA 14 weeks		9.23	6.67	41.03	1.54	1.54	1.13	1.54	1.93	1.28	1.03
2 more weeks on shelf		NA	10.00	138.49	3.08	9.23	8.46	1.54	0.77	4.61	1.54

註：NA 表示沒有數據。

Note: NA indicate on datas were available.

結 論：

省產檸檬人工大氣貯藏，在適當之氧氣及二氧化碳濃度下，具有保持果皮綠色，維持鮮度，延長貯藏壽命的效果。在本試驗採用之各種組合中，以 O₂—CO₂ 為 3%—3%者為優，貯藏12週後果色仍維持黃綠，糖、酸含量均較各處理為高。O₂ 為 5%及 7%之各組合，效果均不佳，3%之低氧亦可防止果實老化、抑制麻點發生，由此可知檸檬長期貯藏中，低 O₂ 扮演極重要的角色。在各種組合中二氧化碳濃度升高有引起麻點之生理障礙及降低果實酸度及造成異味之負效應，故檸檬低氧及極低二氧化碳組合之貯藏，有進一步探討之價值。

參考文獻：

1. Bruemmer, J. H., and B. Roe. 1969. Post-harvest treatment of citrus fruit to increase brix/acid ratio. Proc. Florida State Hort. Soc. 82: 212—215.
2. Davis, P. L., B. Roe, and J. H. Bruemmer. 1973. Biochemical changes in citrus fruits during controlled-atmosphere storage. J. Food Sci. 38(2): 225—229.
3. Hatton, T. T., and R. H. Cubbedge. 1977a. Effects of carbon dioxide and ethylene on stored 'Marsh' grapefruit. Controlled atmospheres for the storage and transport of perishable agricultural commodities. Proc. 2nd National Controlled Atmosphere Research Conference. pp. 189—196.
4. Hatton, T. T., and R. H. Cubbedge. 1977b. Status of controlled atmosphere storage research of citrus fruits. Controlled atmospheres for the storage and transport of perishable agricultural commodities. Proc. 2nd National Controlled Atmosphere Research Conference. pp. 250—259.
5. Hatton, T. T., and W. F. Reeder. 1967. Quality of Persian limes after

- different packing-house treatments and storage in various controlled atmospheres. Proc. Trop. Reg. Amer. Soc. Hort. Sci. 11 : 23—32.
6. Hatton, R. T., J. J. Smoot, and R. H. Cubbedge. 1972. Influence of carbon dioxide exposure on stored mid- and late-season 'Marsh' grapefruit. Proc. Trop. Reg. Amer. Soc. Hort. Sci. 16 : 49—58.
 7. Isenberg, F. M. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. Hort. Rev. 1 : 337—393.
 8. Monzini, A., and F. L. Gorini. 1973. The use of controlled atmospheres with citrus, grapes and other fruits. Annali dell'Istituto
 9. Rygg, G. L., and A. W. Wells. 1962. Experimental storage of California lemons in controlled atmospheres. USDA, Agriculture Marketing Service, Market Quality Research Division.
 10. Salama, S. B., W. Grierson, and M. F. Oberbacher, 1965. Storage trials with limes, avocados, and lemons in modified atmospheres. Proc. Florida State Hort. Soc. 78 : 353—358.
 11. Seberry, J. A., and E. G. Hall. 1970. Controlled atmosphere storage of citrus fruit. 71(12) : 34—36.
 12. Seberry, J. A., and E. G. Hall. 1971. CA storage of citrus fruit. Fruit world and market grower. 72(3) : 15—16.
 13. Smock, R. M. 1979. Controlled atmosphere storage of fruits, Hort. Rev. 1 : 301—336.
 14. Spalding, D. H., and W. F. Reeder. 1974. Quality of 'Tahiti' limes stored in a controlled atmosphere or under low pressure. Proc. Trop. Reg. Amer. Soc. Hort. Sci. 18 : 128—135.

Summary

Controlled atmosphere storage of lemon fruits including nine treatments $\text{CO}_2\%$: $\text{O}_2\%$ 3 : 3, 3 : 5, 3 : 7, 5 : 3, 5 : 5, 5 : 7, 10 : 3, 10 : 5, 10 : 7 and air as control was conducted at 15°C storage room. After 12-week storage, result showed that low oxygen (3%) prolonged the storage life of fruits by retaining the fruits in green color with freshness flavor and preventing the occurrence of pitting. Higher concentration of oxygen (5% or 7%) could not keep the greenness of the fruits well. Carbondioxide showed no effect in keeping the freshness of the fruit and concentrations over 3% increased the occurrence of pitting and off flavor in addition to lowering the acid content of the juice. Combination of 3% O_2 and 3% CO_2 was suggested to be the best for CA storage of lemon fruits.