

氣調貯藏對維持檸檬果實綠色之效果

黃肇家¹、林學正¹、黃娉珠²、王怡玳¹、鍾玉燕¹

摘要

檸檬以一般冷藏常有黃化之問題。本研究嘗試以氣調貯藏來維持果實之綠色。使用之氣調環境有 O₂% : CO₂% 為 1.5 : 0、3 : 0、1.5 : 3、3 : 3、1.5 : 5 和 3 : 5 等 6 個組合，以流通空氣為對照組，在 12°C 下貯藏 2—3 個月。結果顯示低 O₂ 對綠色之維持影響很大，CO₂ 濃度之影響居次。以 1.5% O₂ 可以保持綠色達 12 週左右，但是於貯藏 6 週即有少部分果實果汁之酒精含量高於 0.07%，產生異味。因此，風味是使用 1.5% O₂ 貯藏之限制因子，貯藏期限為 4 週，此時風味尚佳。以 3% O₂ 貯藏對果皮綠色之維持比不上 1.5% O₂ 但仍很有效，此時有高 CO₂ 配合效果更好，以 3% O₂ 配合 5% CO₂ 貯藏 6 週仍然能維持很低的 a* 值與 b* 值，L* 值也還不高。CO₂ 濃度降為 3% 貯藏 6 週時，L* 值與 a* 值已上升，貯藏期限降為 4 週。CO₂ 濃度再降至 0%，貯藏壽命降為 4 週或以下。在 3% O₂ 下貯藏，果汁酒精含量大都不高，因此，風味不是主要的限制因子。至於其他果實品質包括果汁含量，維他命 C 含量，可滴定酸含量與可溶性固形物含量等，在這些氣體組合下都沒有不利或有利的影響，因此，也不是限制因子。綜合上述結果，檸檬氣調貯藏可採用 1.5% O₂ 配合 0—5% CO₂，對果皮綠色維持甚佳，但有風味不良之可能性，貯藏期限以 4 週以內為宜。或是採用 3% O₂ 配合 5% CO₂，貯藏期限為 6 週以內，綠色消退是限制因素。3% O₂ 配合 3% CO₂ 或 0% CO₂，貯藏期限為 4 週以內。

前言

檸檬在台灣消費者偏好綠色之果實，目前由於栽培技術之改進，周年可以生產，但是在生產淡季也有缺貨的時候。以貯藏做短時間供需調節時，果色很容易轉黃而喪失商品價值，氣調貯藏在國外很早就有試用於保持檸檬之綠色以及柑橘之貯藏 (Davis and Brvemmer, 1973, Hatton and Cubbedge, 1977, Rygg and Wells, 1962)。台灣亦曾進行檸檬氣調貯藏試驗 (黃等, 1989)，證實以 3% 低氧配合 3—5% 高二氧化碳，可維持檸檬綠色由 2 週延長到 6 週，其中以氧氣 3% 配合 3% 二氧化碳者最佳。在這個氣調環境下貯藏，檸檬果實含酸量及含汁量略為降低，含糖量及維生素 C 含量則不影響，因此，能保持綠色而不影響品質。但是 3% 以下的低氧則會使果實發生無氧呼吸，產生酒精；3% 以上的高二氧化碳則會使果皮產生麻點

¹ 農業試驗所副研究員、前園藝系主任、助理研究員及前計畫助理。

² 農業藥物毒物試驗所副研究員。

(pitting)，因此氣調貯藏需先得知合適之氣體濃度，在貯藏時則要控制好氣體濃度。本研究以控制較為精密的氣體組成進行試驗，期找出合適之氣調之組成以及這些組成，對檸檬綠色之維持與果實品質之影響。

試驗材料與方法

檸檬為東勢詹姓農民所生產，品質非常良好，於採收當日運返農試所，經選別品質一致之後，以腐絕 (TBZ) 1000 倍，加展著劑 Tween-20 \times 3 萬倍浸漬 4 分鐘，經晾乾 2 日後放入 15 公升塑膠罐中密封，流通以預先配好之氣體，其組成份 O₂% : CO₂% 為 1.5 : 0、3 : 0、1.5 : 3、3 : 3、1.5 : 5、3 : 5 以及空氣 21 : 0 為對照組，共有 7 組，依次以 CA1、CA2、CA3、CA4、CA5、CA6 及 CK 代表之。氣體流量為 200 mL/min，貯藏溫度為 12°C。

於貯藏後每 2 週取樣調查一次，每次留有部分果實放在室溫 23°C，3 或 5 日調查櫥架品質。調查項目以果色為主，其次為果汁之酒精含量以及果汁含量，維他命 C 含量，可滴定酸含量，可溶性固型物含量，糖酸比等。果皮色澤以 Minota (Minota chroma meter CR-200) 色差計測定，維他命 C 含量以 2,6-Dichloroindophenol 滴定法測定。

結果與討論

一、果色之變化

果皮色澤以 L*值、a*值與 b*值表示。

(一) L*值

貯藏期間檸檬果皮 L*值之變化如圖一，對照組於貯藏 2 週時 L*值急劇上升，到第 4 週已接近最高點。所有氣調貯藏果實之 L*值上升緩慢，CA2、CA4、CA6 於貯藏 4 週後 L*值明顯升高，CA1、CA3、CA5 於貯藏 8 週仍很低，之後才上升，其中 CA5 到第 12 週仍維持很低。CA2、CA4、CA6 之 O₂ 皆為 3%，而 CA1、CA3、CA5 之 O₂ 皆為 1.5%，顯示 1.5% 之低氧對於維持低 L*值有較大的影響。O₂ 為 3% 之各組合之內 (即 CA2、CA4、CA6) 或是 O₂ 為 1.5% 之各組之內 (即 CA1、CA3、CA5)，CO₂ 較高濃度的處理其 L*值上升較緩慢，因此，高 CO₂ 濃度亦有助於低 L*值之維持。

經 3 日櫥架後，對照組於貯藏 2 週時，L*值已高到接近極限 (圖二)，以各種氣調組合貯藏之果實其 L*值隨貯藏時間之延長而增加，但仍低於對照組，各組合之變化無明顯之規則性。經 5 日櫥架後，在貯藏 6 週以前各種氣調貯藏之 L*值仍比對照組低，6 週以後差異變小，有些處理如 CA5 仍維持較低 (圖三)。

(二) a*值之變化

貯藏期間檸檬果皮 a*值之變化如圖一，其變化之趨勢與 L*值很相似，但貯藏到 12 週後，各種氣體組合之 a*值仍比對照組低很多。經 3 日櫥架後，a*值之變化如圖二，a*值於 3 日櫥架均明顯升高，CA1、CA3 和 CA5 之果實上升較為緩慢，其中以 CA5 上升最慢，表示 1.5% 之低氧配合 5% 之高二氧化碳效果最好。經 5 日櫥架後，a*值之變化如圖三，各氣調貯藏之 a*值上升速度較櫥架 3 日為快，CA2、CA4、CA6 到貯藏後期 a*值與對照組極為接近，CA1、CA3、CA5 則仍維持較低。

(三) b*值之變化

貯藏後期間檸檬果皮 b*值之變化如圖一，櫥架 3 日及 5 日後 b*值之變化如圖二、圖三，對照組 b*值之變化，隨貯藏時間慢慢上升，與對照組之 a*值或 L*值之變化不同，而在各種氣體組合下貯藏之果實，b*值之變化趨勢均與 a*值之變化很類似。

二、酒精含量之變化

檸檬於貯藏期間果汁酒精含量之變化如表一，對照組於貯藏 12 週內均無酒精產生，而所有氣調貯藏之果實於貯藏 4 週皆測得含有酒精。貯藏 10 週後 CA1、CA3、CA5 均有酒精約 0.1% 存在於果汁中，CA2、CA4、CA6 則約為 0.04–0.05%，酒精之產量主要是由氧之濃度所決定，二氧化碳濃度也有影響，其影響較小。

經 5 日櫥架後酒精含量略有降低，但是降低量很少(表二)，貯藏 12 週後，1.5% O₂ 之各處理 CA1、CA3、CA5 果實酒精含量仍有 0.1% 左右。3% O₂ 之各處理 CA2、CA4、CA6 則仍有 0.04–0.05% 之酒精含量，這些果實經品嚐並沒有異味。

三、果汁含量、維他命 C 含量、可滴定酸含量與可溶性固形物含量之變化

於貯藏 12 週以及櫥架 5 日後，所測得之果汁含量 (表三)，維他命 C 含量 (表四)，可滴定酸含量 (表五) 與可溶性固形物含量 (表六) 之變化，顯示各種氣體組合貯藏之結果與對照組無明顯之差異。

結論

檸檬果實以不同組合之氣體貯藏，結果顯示 O₂ 濃度對綠色之維持影響很大，CO₂ 濃度之影響居次。1.5% O₂ 可以保持綠色達 12 週左右。果汁產生酒精發生異味是使用 1.5% O₂ 貯藏之限制因子，由於各個果實取其果汁以感官品評風味不容易，以果汁酒精含量來評定較為客觀。和感官品評相對照，果汁酒精含量在 0.05% 以下對果汁風味之影響不大，酒精含量高於 0.07% 時可感覺到異味。以 1.5% O₂ 貯藏之果實於貯藏 6 週即有少部分果實酒精含量高

於 0.07% (表一)，因此以 1.5% O₂ 貯藏時，貯藏時間以 4 週為宜。

以 3% O₂ 貯藏對果皮綠色之維持不若 1.5% O₂，但仍很有效，此時有高 CO₂ 配合效果更好。以 3% O₂ 配合 5% CO₂ 貯藏 6 週仍然能維持很低的 a*值與 b*值，L*值也還不高。CO₂ 濃度降為 3%，貯藏 6 週時 L*值與 a*值已上升，因此貯藏期限降為 4 週。CO₂ 濃度降為 0%，貯藏壽命降為 4 週或以下。在以前的研究曾發現 CO₂ 濃度高於 3% 會使果皮產生麻點(黃等 1989)，在本研究 CO₂ 濃度高到 5% 仍然沒有麻點發生，可能果實品質不同有影響，或是以前的研究氣體控制較不穩定。在 3% O₂ 下果汁酒精含量大都不高，貯藏 10 週酒精含量皆在 0.05% 以下(表一)，因此風味不是主要的限制因子。

至於其他果實品質包括果汁含量，維他命 C 含量，可滴定酸含量與可溶性固形物含量等，在本研究使用之氣體組合下貯藏都沒有不利或有利的影響，因此這些都不是氣調貯藏之限制因子。

綜合上述結果，檸檬氣調貯藏可採用 1.5% O₂ 配合 0-5% CO₂，對果皮綠色維持甚佳但有風味不良之可能性，貯藏期限以 4 週以內為宜。也可以採用 3% O₂ 配合 5% CO₂，貯藏期限為 6 週以內，綠色消褪是限制因素。或是採用 3% O₂ 配合 3% CO 或 0% CO₂，貯藏期限以 4 週以內，綠色消褪是限制因素。

參考文獻

1. 黃聘珠、林學正、黃肇家. 1989. 省產檸檬人工大氣貯藏之研究. 柑橘試驗研究成果專題研討會專輯 p.222-232. 台灣省農業試驗所編印.
2. Davis, P. L., B. Roe, and J. H. Brvemmer .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. 1977 . 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. p.250-259.
4. Rygg, G. L., and A. W. Wells. 1962. Experimental storage of California lemons in controlled atmospheres. USDA, Agriculture Marketing Service, Market Quality Research Division.

表一、檸檬果實於不同氣體組合下貯藏期間果汁酒精含量 (%) 之變化。

貯藏週數	氣體組合						對照組
	(O ₂ % : CO ₂ %)						
	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
	(1.5 : 0)	(3 : 0)	(1.5 : 3)	(3 : 3)	(1.5 : 5)	(3 : 5)	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.039	0.023	0.056	0.043	0.058	0.034	0.000
6	0.050	0.026	0.074	0.030	0.092	0.030	0.000
8	0.075	0.040	0.085	0.029	0.098	0.049	0.000
10	0.100	0.042	0.093	0.048	0.110	0.050	0.000
12	0.132	0.064	0.109	0.060	0.138	0.061	0.000

表二、檸檬果實於不同氣體組合下貯藏後再經室溫 (約 23°C) 樹架 5 日後酒精含量 (%) 之變化。

貯藏週數	氣體組合						對照組
	(O ₂ % : CO ₂ %)						
	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
	(1.5 : 0)	(3 : 0)	(1.5 : 3)	(3 : 3)	(1.5 : 5)	(3 : 5)	
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.034	0.012	0.033	0.022	0.051	0.027	0.001
6	0.045	0.010	0.064	0.023	0.046	0.022	0.000
8	0.046	0.019	0.078	0.022	0.071	0.035	0.000
10	0.94	0.021	0.063	0.043	0.086	0.039	0.000
12	0.119	0.045	0.094	0.039	0.120	0.056	0.000

表三、檸檬果實於不同氣體組合下貯藏期間以及貯藏後經櫥架 5 日後果汁含量 (%) 之變化。

貯藏週數	櫥架日數	氣體組合						對照組
		(O ₂ % : CO ₂ %)						
		CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
		(1.5 : 0)	(3 : 0)	(1.5 : 3)	(3 : 3)	(1.5 : 5)	(3 : 5)	
0	0	46	46	46	46	46	46	46
2	0	46	47	44	45	47	47	46
4	0	49	48	48	48	47	48	49
6	0	48	50	48	49	49	48	49
8	0	49	51	52	50	50	49	50
10	0	51	53	51	51	49	48	51
12	0	49	49	50	49	47	48	51
0	5	52	52	52	52	52	52	52
2	5	48	49	49	44	49	46	49
4	5	49	49	50	49	50	51	52
6	5	47	51	49	49	51	49	51
8	5	49	48	49	48	48	50	52
10	5	52	49	52	50	50	52	53
12	5	48	53	48	51	47	50	51

表四、檸檬果實於不同氣體組合下貯藏期間以及貯藏後經櫥架5日後維他命C含量之變化。

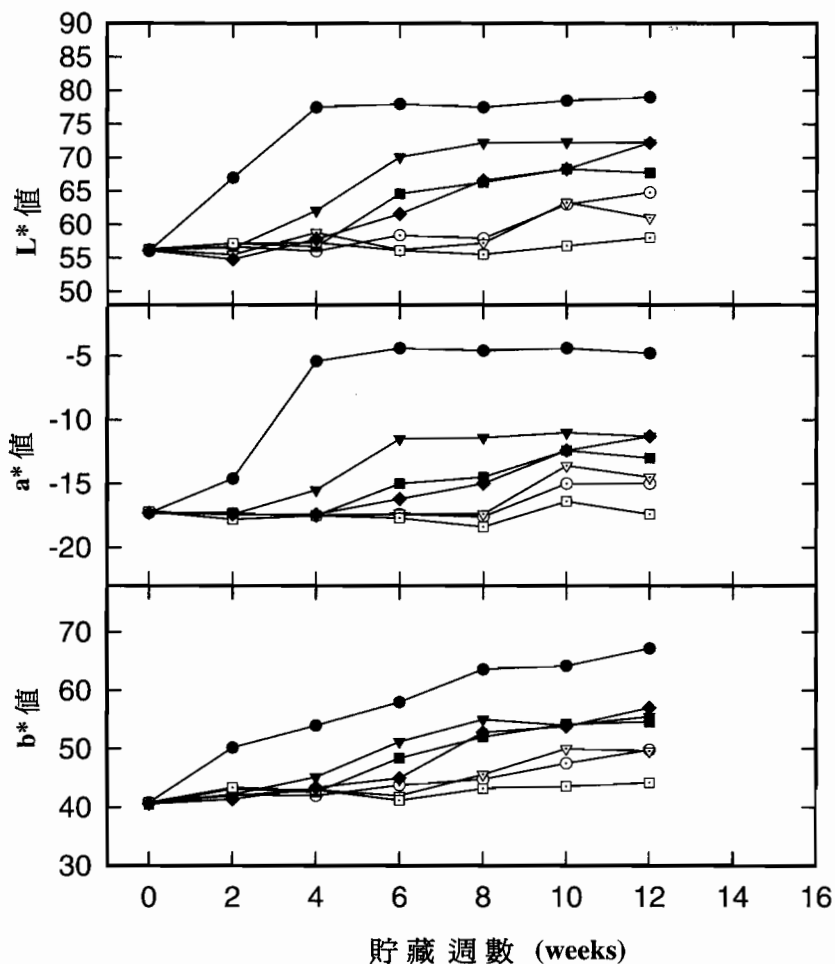
貯藏週數	櫥架日數	氣體組合 (O ₂ % : CO ₂ %)						對照組
		CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
		(1.5 : 0)	(3 : 0)	(1.5 : 3)	(3 : 3)	(1.5 : 5)	(3 : 5)	
0	0	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2
2	0	41.2	38.9	39.5	38.7	38.2	37.5	39.0
4	0	39.6	42.6	39.9	40.1	39.5	41.6	40.7
6	0	39.4	40.8	40.1	38.8	36.2	36.3	39.0
8	0	37.4	41.3	40.5	39.2	40.6	37.8	38.6
10	0	41.0	38.4	40.2	40.0	40.4	41.0	40.0
12	0	41.0	41.2	37.2	40.5	37.2	40.8	42.3
0	5	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
2	5	40.4	40.1	39.6	37.9	39.0	37.3	43.0
4	5	39.7	39.1	38.4	39.2	40.2	38.8	40.5
6	5	41.8	36.8	39.9	39.7	37.9	37.9	38.1
8	5	42.9	44.1	41.0	42.0	40.2	45.3	41.4
10	5	41.9	42.9	40.3	40.7	39.7	42.4	41.7
12	5	39.7	43.6	40.8	41.0	36.2	43.3	43.3

表五、檸檬果實於不同氣體組合下貯藏期間以及貯藏後經樹架 5 日後可滴定酸含量(%)之變化。

貯藏週數	樹架日數	氣體組合						對照組
		(O ₂ % : CO ₂ %)						
		CA1 (1.5 : 0)	CA2 (3 : 0)	CA3 (1.5 : 3)	CA4 (3 : 3)	CA5 (1.5 : 5)	CA6 (3 : 5)	
0	0	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13
2	0	7.28	7.09	7.00	7.02	6.96	7.13	7.40
4	0	6.47	6.63	6.38	6.56	6.50	6.54	6.81
6	0	6.33	6.51	6.41	6.33	6.32	6.39	6.48
8	0	6.84	7.08	6.82	6.72	6.90	7.07	7.40
10	0	7.10	7.12	7.06	7.08	6.98	7.08	7.54
12	0	7.14	7.37	7.07	7.22	7.10	7.12	7.58
0	5	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06	7.06
2	5	7.14	7.10	7.00	7.01	7.06	6.85	7.64
4	5	7.14	6.73	6.83	6.94	7.02	6.99	7.37
6	5	6.97	6.95	6.93	6.89	6.97	6.86	7.16
8	5	7.17	7.34	7.32	7.26	7.20	7.32	7.70
10	5	7.07	7.04	6.98	7.22	7.02	7.11	7.47
12	5	7.10	7.23	7.16	7.02	6.94	7.00	7.92

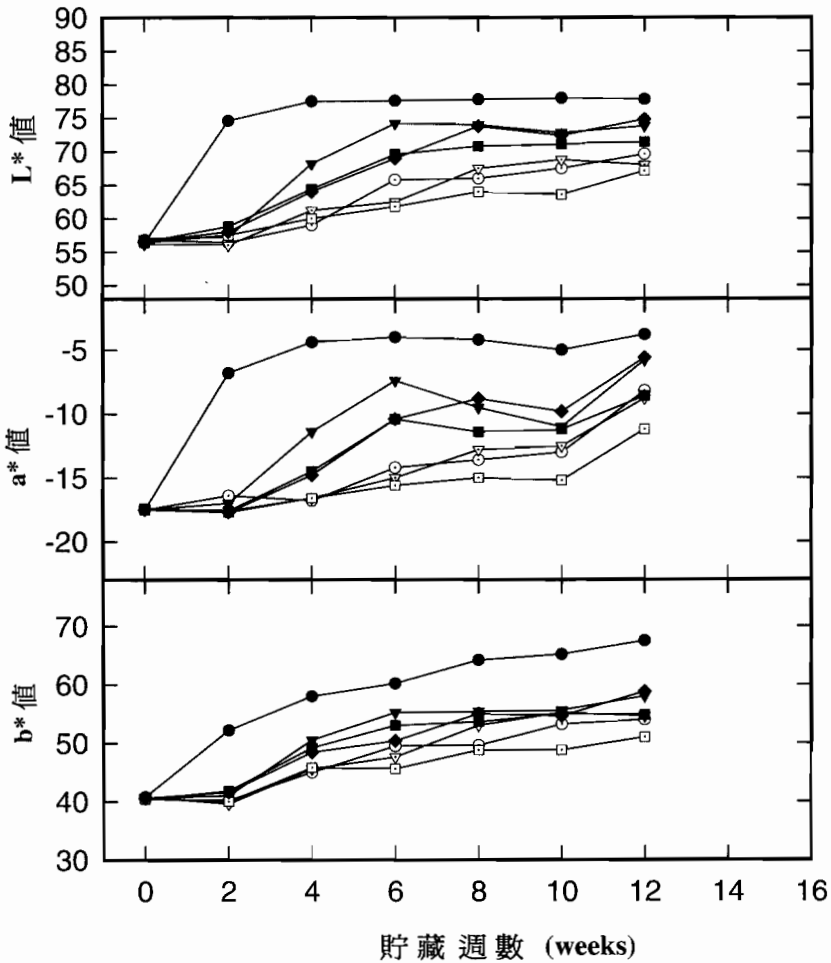
表六、檸檬果實於不同氣體組合下貯藏期間以及貯藏後經櫥架5日後可溶性固形物(°Brix)含量之變化。

貯藏週數	櫥架日數	氣體組合 (O ₂ % : CO ₂ %)						對照組
		CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
		(1.5 : 0)	(3 : 0)	(1.5 : 3)	(3 : 3)	(1.5 : 5)	(3 : 5)	
0	0	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
2	0	8.5	8.4	7.8	8.2	8.5	8.3	8.5
4	0	7.9	8.1	8.1	7.8	7.9	7.9	8.1
6	0	8.4	8.5	8.5	8.3	8.3	8.1	8.3
8	0	8.4	8.8	8.5	8.3	8.6	8.7	8.6
10	0	8.5	8.4	8.4	8.2	8.2	8.5	8.5
12	0	8.8	8.8	8.4	8.5	8.5	8.5	8.6
0	5	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
2	5	8.6	8.6	8.3	8.2	8.4	8.2	8.7
4	5	8.3	8.2	8.1	8.1	8.6	8.4	8.1
6	5	8.4	8.3	8.1	8.3	8.1	8.2	8.0
8	5	8.1	8.3	8.3	8.2	8.3	8.6	8.4
10	5	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.3	8.0
12	5	8.6	8.9	8.6	8.4	8.3	8.7	8.8



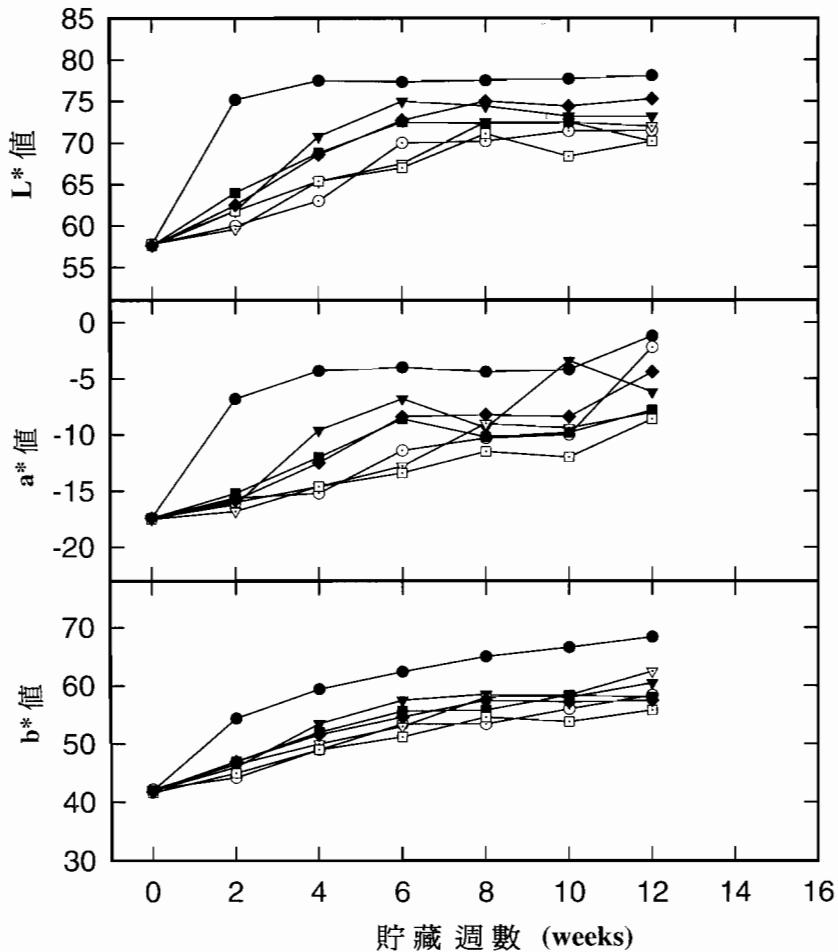
圖一、檸檬果實於不同氣體組合之下，貯藏期間果皮 L*，a*，b*值之變化。

- CK, O₂:CO₂為20%:0%
- CA1, O₂:CO₂為1.5%:0%
- ▼ CA2, O₂:CO₂為3%:0%
- ▽ CA3, O₂:CO₂為1.5%:3%
- CA4, O₂:CO₂為3%:3%
- CA5, O₂:CO₂為1.5%:5%
- ◆ CA6, O₂:CO₂為3%:5%



圖二、檸檬果實於不同氣體組合貯藏期間取出，經 3 日櫥架後果皮 L*，a*，b* 值之變化。

- CK, O₂:CO₂ 為 20%:0%
- CA1, O₂:CO₂ 為 1.5%:0%
- ▼ CA2, O₂:CO₂ 為 3%:0%
- ▽ CA3, O₂:CO₂ 為 1.5%:3%
- CA4, O₂:CO₂ 為 3%:3%
- CA5, O₂:CO₂ 為 1.5%:5%
- ◆ CA6, O₂:CO₂ 為 3%:5%



圖三、檸檬果實於不同氣體組合貯藏期間取出，經 5 日櫥架後果皮 L*, a*, b* 值之變化。

- CK, O₂:CO₂ 為 20%:0%
- CA1, O₂:CO₂ 為 1.5%:0%
- ▼— CA2, O₂:CO₂ 為 3%:0%
- ▽— CA3, O₂:CO₂ 為 1.5%:3%
- CA4, O₂:CO₂ 為 3%:3%
- CA5, O₂:CO₂ 為 1.5%:5%
- ◆— CA6, O₂:CO₂ 為 3%:5%