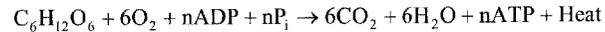


第五章 植物原料採收後之變化與低溫關係

第一節 呼吸、發熱及發散作用

一、呼吸作用

呼吸作用是基本的代謝作用，也是採收後最受關注的問題之一。植物呼吸作用包括許多代謝途徑，而能以下列之總反應式描述：



基本上，當 37 mol 的腺核苷三磷酸(ATP)形成時，有 60%的鍵能(2,870 kJ/mol glucose)損失轉換成熱。然而，在熱量測定研究中顯示，植物組織在採收後經常會造成 90%以上的能量損失轉換成熱，並減少 ATP 的合成。在規劃設計蔬果儲藏之設施及方法時，呼吸熱是最主要考量因素之一。依據化學計量法，氧氣消耗及二氧化碳形成會因脂肪酸、胺基酸及有機酸的氧化及去羧作用而異。

1

表 1 果實類呼吸速率的差異

果實種類	呼吸速率 (mgCO ₂ /kg/hr)
蘋果	4.3~6.7
洋梨	2.9~3.2
葡萄	3.0~6.5
檸檬 (黃)	1.9
檸檬 (綠)	1.5
草莓	17.8

100公斤蘋果在24小時發熱量計算如下：

100x4.3x24=10320mg CO₂=10.32gx2.5KCal=25.8 Kcal(有氧下)

100x4.3x24=10320mg CO₂=10.32gx0.23KCal=2.37 Kcal(無氧下)

以6.7計算得40.2KCal(有氧下)，3.70KCal(無氧下)

100公斤草莓24小時產生106.8 KCCal(有氧下)，9.83(無氧下)

3

正常的呼吸作用



每產生1莫耳CO₂(44克)就有674/6=112.3KCal熱量產生

每產生1克CO₂會有112/44=2.5KCal熱量產生

此熱量稱為呼吸熱(heat of respiration)

缺氧下之呼吸作用



每產生1莫耳CO₂(44克)就有28/2=14KCal熱量產生

每產生1克CO₂會有14/44=0.23KCal熱量產生(呼吸熱)

呼吸速率(respiratory rate)通常以1公斤的蔬果在1小時內所放出的

二氧化碳的mg數或是消耗的氧氣量來表示。呼吸作用越快則易

腐敗，低溫可減緩呼吸作用，固可延長保存期限。

2

呼吸速率另外一種表示法為呼吸商(RQ, Respiratory Quotient)，

定義為特定時期的呼吸，二氧化碳的產生與氧氣消耗之體積比。

植物採收後因呼吸作用會不斷消耗植物內的貯藏物質，由追熟、

完熟、過熟至不堪食用。

不同植物器官之呼吸速率排序如下：根、塊莖及鱗莖（如馬鈴薯、洋蔥、番薯）<成熟水果（如蕃茄、蘋果）<未成熟水果（如四季豆、茄子）<成長中之莖與花組織（如蘆筍、青花菜）。表面塗膜(surface coating)的種類及其他形態學特性，如表面積與體積之比率，亦會影響呼吸速率。穀類及種子作物具有低呼吸速率，然而，當含水率升高達 14%以上時，呼吸速率隨之大幅增加。

4

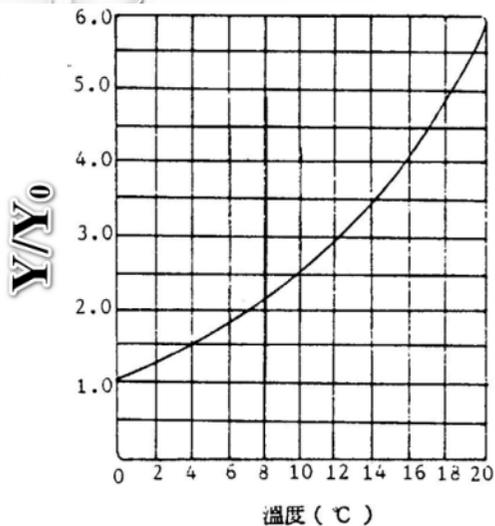


圖 1 溫度與呼吸速率的關係

Y表示溫度t°C的呼吸率Y₀表示0°C的呼吸率。

於8及16°C的呼吸率是0°C時的2及4倍。

故，溫度越低呼吸率越低，植物體內物質消耗越慢。

由圖知，0至10°C之Q₁₀為2.5，10至20°C之Q₁₀為3.3

表 18-8 蔬果之呼吸速率與易壞性之關係

蔬 果	呼吸速率 (mg CO ₂ /kg/hr)			儲藏壽命 (5°C) (週)
	5°C	25°C	Q ₁₀	
豌豆	50	475	3.08	1
蘆筍	45	260	2.40	2~3
酪梨	10	400	7.07	2~4
燕青	6	17	1.68	16~20
蘋果	3	30	3.16	12~32

註：呼吸速率依品種及栽培條件而異，表中數據為代表值。
(引用自：Fennema, 1985)

呼吸速率高者貯藏壽命較短，但Q₁₀與植物貯藏壽命之相關性不大。

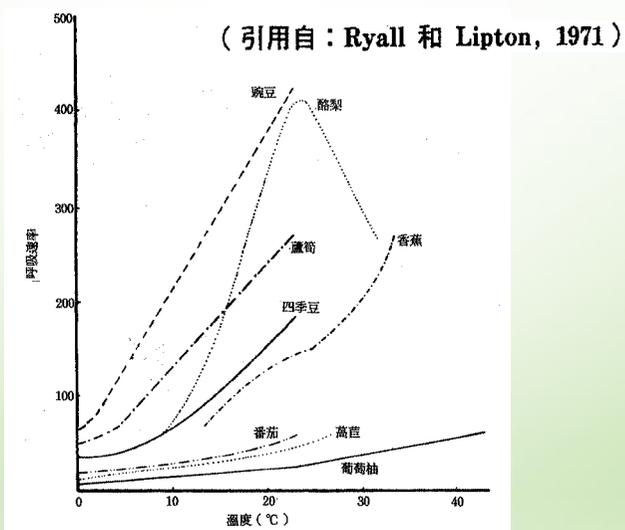


圖 18-5 一些蔬果之呼吸速率與儲藏溫度之關係

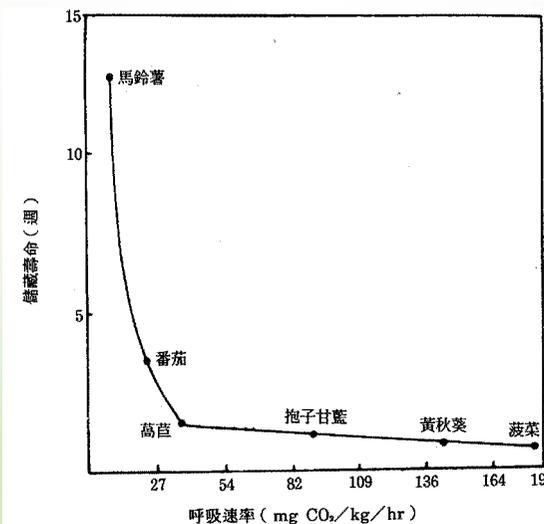


圖 18-2 蔬果之呼吸速率與儲藏壽命之關係 (引用自：Fennema, 1985)

許多因素會影響採收後農產品之呼吸速率，其中溫度明顯影響植物組織之呼吸過程。在生理溫度範圍內，呼吸速率通常會隨溫度增加而增加，而呼吸速率之變化量則以溫度係數或溫度商(temperature coefficient or temperature quotient) Q_{10} 表示之。 Q_{10} 值定義為 $T^{\circ}\text{C}$ 時反應速率與 $T-10^{\circ}\text{C}$ 時反應速率之比值。對大部分蔬果品種而言， Q_{10} 值之範圍從低於 1~7，但通常介於 1~2 之間。降低更年性水果之溫度能延遲更年期開始及其影響程度。將某些農產品，如馬鈴薯塊莖，從低溫環境移往溫暖環境時會造成呼吸活性暫時性暴增，然後才會漸漸達到平衡的中等程度。

通常將氧氣壓力(oxygen tension)降低至 21%以下或將二氧化碳壓力升高至 0.03%以上時，會降低呼吸及劣變反應。某些農產品能夠成功地儲藏於低氧氣壓力(低於 1%)或是相當高二氧化碳分壓(大於 50%)環境下，但大部分農產品則無法適應生存在此種極端環境中。

某些化學處理亦能成功地應用來限制採收後植物器官之好氧性呼吸，且能降低劣變反應。儲藏大氣環境的通風及淋氣(scrubbing)或低壓儲藏(hypobaric Storage)能夠降低大氣或組織之乙烯濃度，且是維持低呼吸速率最有效的方式。Scrubbing是洗滌之意

9

表 14-9 食用水果依據呼吸模式分類(續)

更年性(climacteric)	非更年性(non-climacteric)
馬米樹蘋果(mammee apple)	荔枝(litchi)
芒果(mango)	甜瓜(melon)
網紋甜瓜(muskmelon cantaloupe)	橄欖(olive)
木瓜(papaya)	柑橘(orange)
番木瓜(papaw)	鳳梨(pineapple)
百香果(passion fruit)	草莓(strawberry)
桃(peach)	
梨(pear)	
蕃茄(tomato)	
西瓜(watermelon)	

參考資料：Fennema, O. R. (1996). Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc.

另有一些水果在採收後根本不會出現呼吸速率的上升，如圖 18-4 中黃瓜曲線所示，特稱為“非更性水果”(nonclimacteric fruit)

11

表 14-9 食用水果依據呼吸模式分類

更年性(climacteric)	非更年性(non-climacteric)
蘋果(apple)	藍莓(blueberry)
杏(apricot)	可可(cacao)
酪梨(avocado)	櫻桃(cherry)
香蕉(banana)	黃瓜(cucumber)
麵包果(breadfruit)	葡萄(grape)
釋迦(cherimoya)	葡萄柚(grapefruit)
無花果(fig)	爪哇李(java plum)
番石榴(guava)	檸檬(lemon)

多數多肉水果在完熟過程中會發生色、香、味及質地的顯著變化，而且同時會有呼吸速率的急速上升，特稱為“更性上升”(climacteric rise)，而這些水果則稱為“更性水果”(climacteric fruit)，它們緊接著就進入衰老階段，其呼吸速率開始下降

10

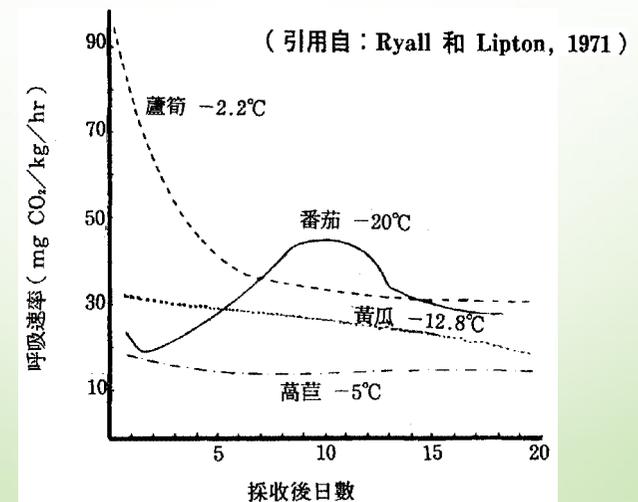


圖 18-4 莖菜(蘆筍)、葉菜(高苣)、非更性水果(黃瓜)與更性水果(番茄)之呼吸型態

12

二、發熱作用

表2 溫度與蘋果呼吸速率與發熱量之關係

溫度 (°C)	呼吸速率 (mgCO ₂ /kg/hr)	發熱量 (kcal/Ton·24hr)
0	3~4	165~220
4.4	5~8	275~440
29.4	30~70	1,650~3,850

1000公斤蘋果在0°C、24小時發熱量計算如下：

1000x3x24=72000mg CO₂=**72gx2.5KCal**=180 Kcal(有氧下)

1000x3x24=72000mg CO₂=**72gx0.23KCal**=16.56 Kcal(無氧下)

以4計算得240 KCal(有氧下)，22.08 KCal(無氧下)

將溫度由4.4°C升溫至29.4°C，呼吸速率增加了6倍

Q₁₀(每上升10°C增加反應速率的倍數)約為2.4 =6x10/(29.4-4.4)

表3(續)

種類	溫度 (°C)		
	15	20	25
	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h
蘆筍	0.23~0.54		
甘藍	0.023~0.069		
胡瓜	0.011		
四季豆	0.33~0.46		0.52
青豌豆	0.42~0.46		
甘薯	0.067		0.75~0.88
	0.046		
馬鈴薯			
洋蔥	0.016~0.027		
	0.025	0.032~0.044	
		14~19	
甜菜	0.077		
玉蜀黍	0.40		0.65
蕃茄	0.067		
	0.058		
白胡椒	0.11		
青辣椒	0.089		
青辣椒	0.35		
波蘭洋蔥	0.39 ~0.4		
包心菜	—		
甘藍	0.14 ~0.29		

表3 蔬菜因呼吸所產生之熱量及二氧化碳

種類	溫度 (°C)		
	0	5	10
	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h
蘆筍	0.062 ~0.14	0.12 ~0.24	
甘藍	0.013	0.018	
胡瓜	0.018	0.027	
四季豆	0.058 ~0.065	0.096 ~0.012	
青豌豆	0.085 ~0.088	0.14 ~0.17	
甘薯	0.025	0.035 4~6	
	0.013	0.018	
	0.0046~0.0092	0.027	
馬鈴薯	—	0.014 ~0.019	
洋蔥	0.0071~0.013	0.0083	0.018~0.043
	3~5		
甜菜	0.028	0.046	
玉蜀黍	0.069 ~0.012	0.1 ~0.4	
蕃茄	0.0063	0.011	
	0.011	0.013	
白胡椒	—	0.047	
青辣椒	0.028	0.049	
青辣椒	0.079	0.11 ~0.18	
波蘭洋蔥	0.046 ~0.05	0.083 ~0.12	0.19 ~0.21
	0.065	—	0.23
包心菜	0.034~0.087	0.069 ~0.11	

表4 果實因呼吸所產生之熱量及二氧化碳

種類	溫度 (°C)		
	0	5	10
	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h	熱量 CO ₂ kcal/kg. h mg/kg. h
草莓	0.028 ~0.04	0.048 ~0.054	
	15~18	22~35	
櫻桃	0.0075~0.0096	0.014 ~0.017	
李子	0.0048~0.01	0.0073~0.011	
梨	0.014~0.018		
	0.0042~0.0073	0.0094~0.016	
蘋果	0.0071~0.0092		
	2.9~3.2		
香蕉	—		0.035
鳳梨	—		
葡萄	0.0031~0.0042		
檸檬	0.0063 3.0~6.5	0.013	
橘	0.008~0.01	0.016 3.1	
桃	0.0092~0.015	0.015~0.021	
	7~9		
蘋果	0.0033~0.017	0.0063~0.028	
	4.3~6.7	5~8	
檸檬	0.00631.5~2.7	0.0088	
	0.0052~0.0094	0.0063~0.02	
	1.9		

表4(續)

種類	溫度 (°C)		
	15	20	25
	熱量 CO ₂ kcal/kg.h mg/kg.h	熱量 CO ₂ kcal/kg.h mg/kg.h	熱量 CO ₂ kcal/kg.h mg/kg.h
草莓	0.16 ~0.2	49~68	0.39 ~0.43
橙子	0.039~0.054	0.037	0.083
柚子	0.023~0.042	12.6	0.044
櫻桃	0.12 ~0.14		
李子	0.025~0.03		
梨	0.092~0.14	40~60	
綠香蕉	0.088		38
黃香蕉	0.096		
歐洲系	0.088		
美國系	0.023~0.027		
葡萄	0.037	10~12	0.088 25~30
桃子	0.058	8	0.093 15
蘋果	0.075~0.097		0.19~0.23 70~100
檸檬	0.024~0.083		
綠檸檬	0.31	13.5	0.043 18.6
黃檸檬	0.024~0.052		0.067

17

第二節 低溫熟成與色香味及構質的變化

一、顏色的變化

綠色香蕉或番茄後熟(乙烯)變黃紅係因葉綠素被分解或脫鎂，而呈現黃色的葉黃素或番茄紅素。洋菇、甘藷、蘋果褐黑變係因其氧化酵素造成。

二、香氣及味道的變化

蔬果中的澱粉受酵素作用會轉為蔗糖，為水果成熟後變甜之原因，例如香蕉、蘋果、馬鈴薯、甘藷等。無氧下則易產生酒精。

三、構質的變化

由於呼吸作用及果膠酶作用低溫熟成蔬果過程會漸漸軟化。水分喪失、失重也有影響。

19

三、發散作用

呼吸作用所產生的水氣會發散至空氣中，稱之為發散作用，其強弱因種類而異，如菠菜等軟質廣葉蔬菜較旺盛。發散作用造成其肉質軟化，並因蒸發潛熱造成溫度下降。環境中溫度高濕度低則發散作用劇烈，故植物應保藏於低溫高濕環境下。

四、失重的發生

正常的呼吸作用



$$6O_2 = 6 \times 32 = 192 \text{ g} \quad 6CO_2 = 6 \times 44 = 264 \text{ g}$$

故有 $264 - 192 = 72$ 克重量損失

故呼吸作用會造成植物失重現象。

18

第三節 成分的變化

一、醣類的變化

玉米採收後放置溫度越低，蔗糖減少率越低，越能保持玉米甜度。

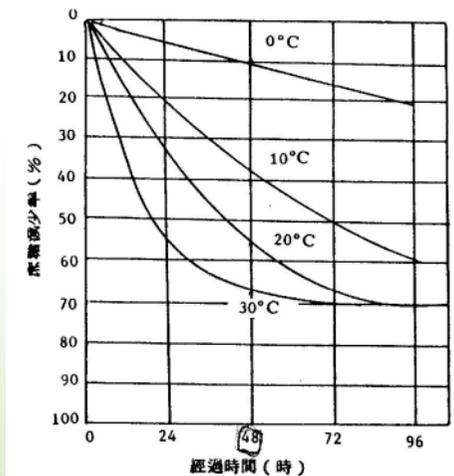


圖2 溫度與甜玉米蔗糖的減少關係

20

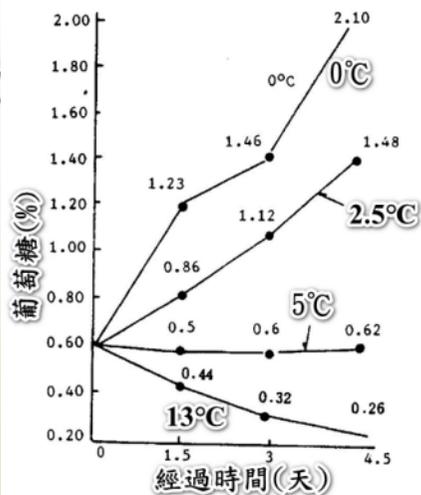


圖3 溫度與馬鈴薯葡萄糖含量關係

0及2.5°C時，葡萄糖量增加，5°C不變。13°C則減少。原因如下：

A反應：馬鈴薯中**澱粉酶**將澱粉轉成蔗糖再經**轉化酶**變成葡萄糖

B反應：葡萄糖經呼吸作用轉成CO₂、水、熱

0及2.5°C時，A>B

5°C時，A=B

13°C時，A<B。

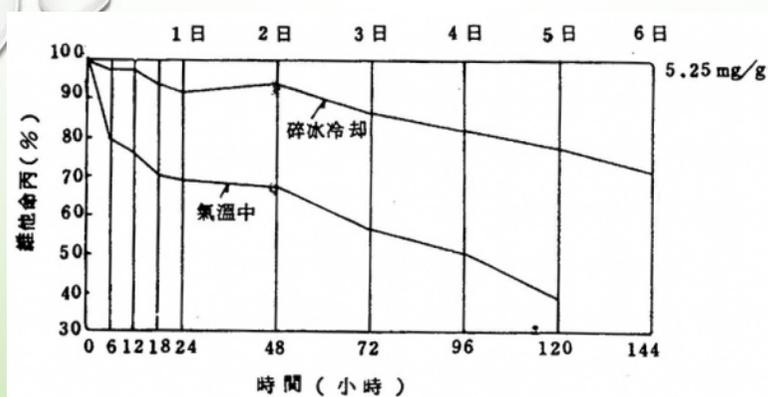
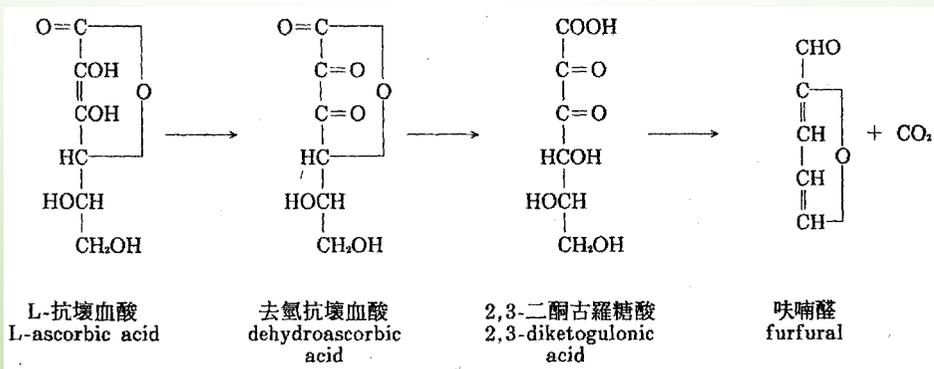


圖4 不同溫度對貯藏中菠菜維他命丙損失率之影響

維生素C隨著貯藏時間增加而減少，越低溫減少率低

二、維生素C的變化



維生素C的變化常作為蔬果鮮度的指標。

表5 不同溫度下蔬菜維他命丙的減少百分率

蔬菜種類	貯藏溫度 (°C)	貯藏期間(天)		
		1	2	3
扁豆	1~3	—	17	28
	8~9	—	39	45
	21~24	—	61	67
白花菜	4	7	8	9
	20	12	26	32
青豌豆	4.5	4	8	10
	21	15	24	40
	38	32	50	50
菠菜	2	—	—	3
	4.5	17	24	22
	20	35	51	—
	25	—	—	44

維生素C隨著貯藏時間增加而減少，越低溫減少率低

三、果膠質、蛋白態氮等成分的變化

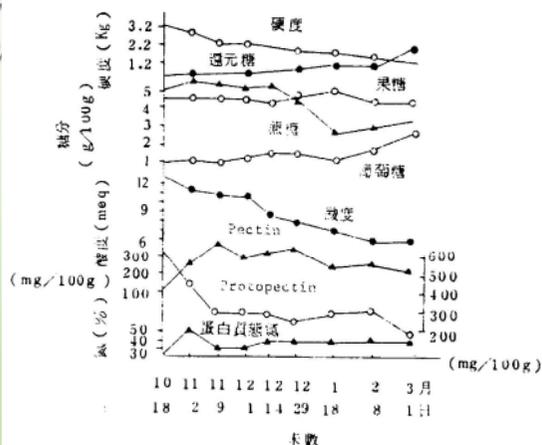


圖5 10°C冷藏中蘋果各成份的變化

圖5為10°C冷藏蘋果由成熟到過熟之成分變化。硬度、蔗糖、酸度均隨冷藏時間增加而減少。果膠先增後減，果糖保持不變。蛋白態氮先增後減再後平衡。

表 9-12 易受冷傷之蔬果一覽表

品名	最低安全溫度 (°C)	最適貯藏期	主要冷傷徵狀	備註
木瓜	7~12	1~3 週	凹陷斑點、不能後熟、異味、腐爛	成熟度愈低對溫度愈敏感
芒果 (未熟果)	10~13	2~3 週	果皮變灰色燙傷狀、後熟不完全	
芒果 (已熟果)	5	2~3 週	果皮變灰色燙傷狀、果肉較軟化	
柳丁	12.5~15	8~12 週	果皮變灰色燙傷狀、水腐、果肉有異味	
甜橙 (加州及亞利桑那州產)	3~9	3~8 週	表皮凹陷斑點、斑點褐變、水腐	佛州及德州產耐寒性低，貯藏期長
桶柑	12.5~15	8~12 週	果皮變灰色燙傷狀、水腐、果肉有異味	
椪柑	15	8~12 週	果皮變灰色燙傷狀、水腐、果肉有異味	

第四節 低溫機能障害

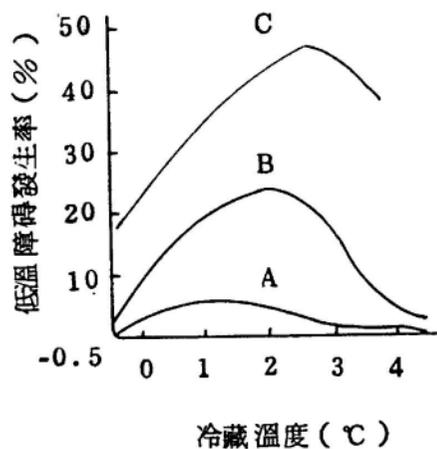


圖6 梅的冷藏溫度與低溫障礙發生率之關係

低溫機能障害或稱冷藏病(chilling injury)

可能因低溫下植物體中的代謝異常引起，溫度越低冷藏時間越長越容易發生。C為成熟度最高的梅，成熟度增加低溫障害發生率增加，發生冷傷之溫度亦增加。

水果	最低安全溫度 (°C)	最適貯藏期	主要冷傷徵狀	備註
檸檬	11~13	1~4 月	凹陷斑點、斑點褐變及燙傷狀	
葡萄柚	10~15	6~8 週	凹陷斑點、斑點褐變及燙傷狀	
番石榴 (大部分品種)	10	1~2 週	果皮黑褐色斑點、果肉變黑、果心水浸狀	
番石榴 (珍珠拔)	5	2~3 週	果皮黑褐色斑點、果肉變黑、果心水浸狀	
香蕉	13~14	1~2 週	表皮變暗褐色、無法後熟	
酪梨 (依品種而異)	4.5~13.0	2~8 週	果皮褐色斑點、果肉褐變、無法後熟	品種間耐寒性差異大
鳳梨	7~13	2~4 週	果肉變暗褐色	
蓮霧	10~12	2~4 週	表皮凹陷斑點、腐爛	
印度棗	10	4~6 週	表皮褐色斑點	

香蕉的冷傷即黑斑病，蘋果為橡皮病(Soft Acald)，貯存水果溫度並非越低越好。

表 9-12 冷藏產品品質問題之預防方法 (續)

品名	最低安全溫度 (°C)	最適貯藏期	主要冷傷徵狀	備註	
水果 (續)	百香果	7~10	3~5 週	表皮凹陷斑點、腐爛	
	釋迦	15	5~7 天	表皮果肉變黑、無法後熟	軟熟果放 5°C 下可延長保鮮期
	蜜瓜型洋香瓜 (蜜世界等光皮品種)	7~10	1~2 週	凹陷斑點、斑點褐變及燙傷狀	
	網紋洋香瓜 (秋香)	2~5	2~3 週	無法後熟果皮有凹陷斑點	硬熟果對低溫敏感；軟熟果則可置較低溫貯藏
	甘藷	15	3~4 個月	易腐爛、維管束變黑	
豆薯	13~18	7~10 個月	表面腐爛、變色		
芋頭	7~10	3~4 個月	心部褐變、易腐爛		
蓮藕	10~15	2~3 週	藕肉變白、表皮腐爛		
薑 (老薑)	13~15	4~5 個月	表皮黏滑腐爛		
莧菜	8~10	5~10 天	葉片呈水浸狀		

29

表 9-12 冷藏產品品質問題之預防方法 (續)

品名	最低安全溫度 (°C)	最適貯藏期	主要冷傷徵狀	備註	
蔬菜 (續)	苦瓜	7~10	14~21 天	表皮出現黏液、凹陷斑點、腐爛	
	茄子	7	16~20 天	表皮褐色斑點、心部有黑色斑點	
	番茄 (一點紅)	7~10	4~7 天	水浸狀、軟化	
	番茄 (綠熟)	13	1~3 週	後熟轉色異常、腐爛	
	隼人瓜	7~10	25~40 天	表皮褐色斑點	
	黃秋葵	7~10	5~8 天	表皮水浸狀及褐色斑點	

表 9-13 耐凍程度分類 (凍傷)

類別	耐凍程度	品項
第一類	最不耐凍	桃、李、檸檬、番茄、酪梨、香蕉等
第二類	中等耐凍	葡萄、青花菜、甜橙、嫩甘藍、梨等
第三類	最耐凍	成熟甘藍、球莖甘藍、蕪菁等

31

品名	最低安全溫度 (°C)	最適貯藏期	主要冷傷徵狀	備註	
蔬菜	薺菜	7~10	7~10 天	葉片斑點、葉柄暗褐色	
	九層塔	10~15	4~6 天	葉片褐變、水浸狀	
	紅鳳菜	7~10	6~10 天	葉片褐變、水浸狀	
	隼人瓜苗	7~10	3~6 天	葉片褐變、葉柄變軟	
	甘藷葉	7~10	7~8 天	葉片褐變、軟化	
	落葵	10	17~20 天	葉片褐變、軟化	
	菜豆	7~10	7~12 天	表皮水浸狀斑點、赤褐色粗皮	扁形粉豆品種對低溫更敏感
	豇豆	7~10	7~10 天	表皮水浸狀斑點、赤褐色粗皮、種子變黑	
	甜椒	7~10	18~25 天	表皮凹陷斑點、易腐、種子變黑	
	扁蒲	8~10	12~16 天	表皮出現褐色斑點	
	絲瓜	8~10	9~14 天	表皮變黑、產生黏液、易腐爛	
	越瓜	10	6~10 天	表皮出現黏液、黑色斑點、易腐爛	
	胡瓜	7~10	8~12 天	表皮出現黏液、黑色斑點、易腐爛	

30

第五節 低溫種子春化現象(Vernalisation)

表 7 種子春化法提高小麥發芽率的實例

溫度 (°C)	發 芽 率 (%)		
	3 天 後	12 天 後 A	12 天 後 B
32~35	3	14	55
25~27	14	29	84
12~15	81	96	93

低溫對植物種子可促進其發芽率，此稱為種子春化現象。這種方法稱種子春化法。小麥、甜菜、馬鈴薯皆可利用此法增加種子的發芽率。

32

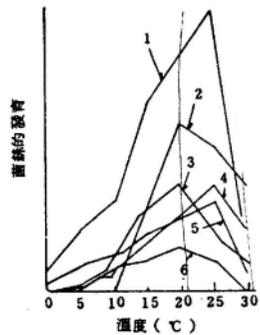
第六節 發酵與微生物的繁殖

水果過熟易引起發酵產生醇類，另外也易引起發黴與腐敗，微生物的作用與溫度有很密切關係。

第七節 如何選擇植物性食品原料以供冷凍加工之用

植物採收後因有發熱現象，故不能緊密堆積在一起，以免妨礙熱量發散。又因會失重故應常淋水及貯放在高濕下。蘆筍竹筍等易木質化，故應在切斷部分保持水分。採收後盡速放於低溫以減少其呼吸作用，但應注意低溫障害。凍藏之蔬菜應先殺菁處理，以避免變化。

33



- 1 = Botrytis cinera,
- 2 = Sphaeropsis malorum,
- 3 = Trichothecium roseum,
- 4 = Glomerella cingulata,
- 5 = Penicillium expansum,
- 6 = Neofabraea malicorticis,

圖7 各種黴菌的發育與溫度之關係

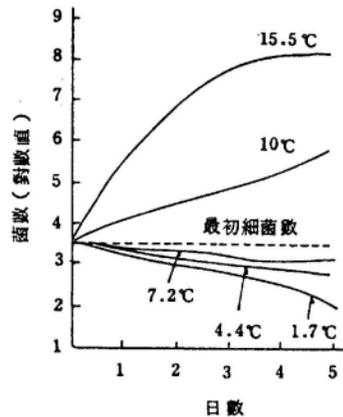


圖8 乳酸菌的發育與溫度之關係

20~30°C最易發霉，溫度越高乳酸菌繁殖快。

34