

CO₂对果实采后生理代谢的影响 及在生产中的应用

徐 荣 江

CO₂用于水果贮藏保鲜有着悠久的历史。如我国柑桔的窖藏和其它一些水果的缸藏等，尽管当时人们还不了解这些贮藏方法的作用原理，CO₂的存在，无疑是这些方法取得良好效果的重要因素之一。大约在19世纪初，控制环境气体组分对果实后熟的影响，开始引起人们的兴趣^[28]。然而，有关CO₂对植物器官代谢衰老抑制作用系统地科学研究，在英国始于基德（Kidd）和韦斯塔（West），在美国则始于勃鲁克斯（Brooks）和斯莫克（Smock）等人^[3,14,28]。这些早期的研究工作，为目前世界各国在水果贮藏方面广泛应用的气调（CA）贮藏技术奠定了必要的理论基础。而气调贮藏技术的发展和推广应用，又推动了CO₂对水果生理代谢作用机理及其在生产上如何正确应用的深入研究。

在我国，随着水果生产的迅速发展，气调贮藏技术正在生产中愈来愈广泛地得到应用。了解CO₂对果实采后生理代谢的影响、作用机理，以及在生产中应用方法，对正确掌握和应用气调贮藏技术有着十分重要的意义。

一、CO₂对果实采后生理代谢的影响

水果是植物的一个完整器官——果实，采收以后各种生理代谢过程仍在进行。当环境气体中CO₂比例增加时，溶解在果实细胞中或与细胞中某些组分相结合的CO₂数量也相应增加。这种现象是可逆的。细胞内高CO₂水平对果实的生理代谢会产生一系列影响。主要表现在以下几个方面：

1. CO₂对果实呼吸作用的影响

呼吸作用是果实生命活动尚在进行的主要

标志。果实采后，呼吸作用主要是靠消耗原来积累的糖来维持的。较高的CO₂浓度可以降低果实呼吸强度，减少果实内糖的分解消耗，从而延长水果的贮藏时间，保持较好的品质。早期一些研究曾指出^[28]，在常压下和0~50% CO₂浓度范围内，CO₂对植物组织无氧呼吸或有氧呼吸速率的抑制程度，与CO₂浓度的平方根成比例。近来，我国一些研究也表明^[4]，当CO₂浓度高于20%时，可对苹果组织的呼吸作用（表现于耗氧量）产生明显的抑制作用。CO₂浓度为30%时，苹果组织的呼吸速率（表现于耗氧量）为0~0.5%CO₂时的50%。

在CA贮藏中，较高CO₂浓度，一般是与O₂浓度结合在一起而抑制果实呼吸强度的。（见表1）在有CO₂存在的情况下，较之单独降低O₂浓度，可更有效地抑制苹果的呼吸强度^[14]。

CO₂对果实呼吸影响的另一重要表现，是

表 1
在3.3°C和各种气体组分中苹果的平均呼吸强度*

气 体 %CO ₂ :%O ₂	平均呼吸强度 CO ₂ O ₂	
O: 21	100	100
O: 10	84	80
O: 5	70	63
O: 3~2	63	52
O: 1.5	39	—
10:10	40	60
5:16	50	60
5:5	38	49
5:3	32	40
5:1.5	25	29

- * 1.呼吸强度以空气中为100计；
- 2.各数值系6个品种苹果的平均值。

推迟或抑制苹果、香蕉、鳄梨等跃变型果实呼吸跃变的出现^[8,26,29]。呼吸跃变是跃变型果实个体发育中的一个转变期,它标志着果实由生长发育向衰老转化。跃变期是一个活跃的需要大量能量的时期。跃变期内,果实的品质会发生很大变化。经跃变后,果实变香、变甜,进入可食状态,但可贮时间大大下降。抑制或推迟呼吸跃变出现,对延长果实可贮时间、保持良好贮藏品质、有着十分重大的意义。有报道表明^[29],正常成熟度采收的香蕉,在空气中约于采后14天左右达跃变高峰;10%O₂中推迟到30天左右;10%O₂+5%CO₂气体中,推迟到48天左右;10%O₂+10%CO₂中,则抑制了香蕉呼吸跃变的出现。我国目前正在生产中推广应用的苹果采后塑料薄膜封闭处理,取得良好效果的重要原因之一,也在于薄膜袋在短期内,可产生一种低O₂,特别是高CO₂浓度环境,抑制果实呼吸强度,推迟呼吸跃变出现,使苹果在运输途中保持较好品质,为以后长期贮藏创造了良好的基础^[5,8]。

2.CO₂对碳水化合物代谢的影响

碳水化合物是水果组织除水以外最重要的组成部分。对水果的风味和品质有着关键性的影响。CO₂对果实碳水化合物代谢的影响,主要表现在两个方面:(1)降低果实呼吸强度,减少糖的消耗,同时可引起果实中各种糖类组分比例的变化,因此经CO₂处理或CA贮藏后的水果,往往会更甜些^[22]。(2)对组成果实细胞壁的一些碳水化合物如果胶等的代谢可产生明显影响。一般认为,水果在后熟过程中,果实软化的主要原因,是原果胶水解或可溶性果胶引起果实组织细胞结构松散所致^[31]。增加CO₂浓度,可抑制原果胶向可溶性果胶的转化,对果实的酥变软化产生明显的抑制作用^[22,28]。最近还有些研究表明^[8],高CO₂浓度可明显地抑制苹果组织中纤维素酶的活性。这一研究结果表明,CO₂防止果实发绵、除抑制原果胶水解外,纤维素酶活性受抑制,细胞壁组织中纤维素类物质水解的减少,也可能是其中原因之一。

3.CO₂对有机酸代谢的影响

CO₂对有机酸代谢的突出表现,是造成琥珀酸的累积。1956年英国科学家霍谋(Hulme)发现^[18],遭到CO₂伤害的苹果组织中,琥珀酸会大量累积。这种有机酸对苹果组织是有毒的。浓度大于0.025M就会导致呼吸停止,组织褐变和“死亡”。此后的研究进一步表明^[16,27],造成琥珀酸累积的原因是高CO₂浓度抑制了果实组织三羧酸循环中琥珀酸氧化酶的活性。目前,上述现象被认为是造成果实CO₂伤害的主要原因。

CO₂对果实总酸含量的影响还不十分清楚。有些研究认为:在CA条件下,果实总酸含量丧失较少^[4,32];有些认为无明显影响^[10];有些甚至报导增加CO₂水平可加速果实酸含量的下降^[28]。对水果营养价值有较大影响的抗坏血酸(维生素C)含量方面,国外很多资料表明^[28,29],CO₂增加时,可使果实的抗坏血酸含量较之空气中贮藏,有较大的下降。但国内一些研究则表明,在CA下贮藏果实中,维生素C含量要高于空气中贮藏的果实^[1,32]。

4.CO₂和乙醇及乙醛的累积

在高CO₂浓度下,果实风味丧失的原因,主要是乙醇和乙醛等无氧呼吸产物的大量累积。在正常组织中,乙醇和乙醛的浓度很低。如苹果果肉在正常状况下,乙醇量为0.006%,乙醛量为0.005%^[28]。在无氧条件下,缺氧酵解会造成乙醇和乙醛的累积。无氧呼吸始于外部O₂浓度低于1~5%之间的某一个值,并一直持续到所有细胞丧失活力为止。其特点是组织内乙醇有大量的累积,而乙醛累积数量较少。在100%氮气中,乙醇和乙醛的比例通常为50:1。即使有丰富的氧存在,CO₂也可引起苹果的呼吸作用转向发酵类型。“CO₂发酵”这一名称就是用来描述这种影响的。在有氧存在的CO₂发酵中,乙醇和乙醛的比例约为2:1^[28]。

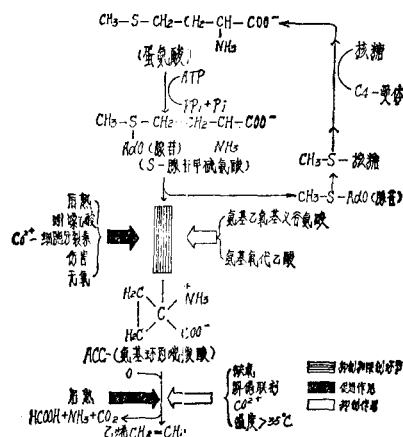
5.CO₂对单宁转化的影响

水果果实中均程度不一地含有单宁。这类物质可使水果带有涩味。有资料表明,高CO₂处理,可促进柿子果实中单宁物质(主要是无色

花青素)转化,使柿子果实脱涩。 CO_2 促进柿子脱涩的过程可分成二个阶段:1.诱导阶段。须有高 CO_2 气体存在,以诱导一种脱涩物质产生。2.开始脱涩阶段。已有足量的脱涩物质产生。此时即使无 CO_2 存在,亦可使柿子果实迅速脱涩。 CO_2 的这种特性在生产中可大量用于柿子的脱涩处理^[2,17]。

6. CO_2 对挥发性物质代谢的影响

CO_2 可减少果实挥发性物质的产生^[15]。其中最重要的一种表现,是对果实乙烯生成及其作用的影响。 CO_2 对乙烯产生抵抗作用,可能是 CO_2 有能力在组织中乙烯结合的那个位置上结合。这样当 CO_2 存在时,乙烯附着到结合位置上去的能力被竞争性地限制了^[21]。此外,有 CO_2 存在的情况,果实乙烯生成会下降,甚至受到抑制^[8,22]。根据最近对乙烯生物合成途径研究表明^[30],乙烯在植物体内是由蛋氨酸(Met)→S-腺苷甲硫氨酸(SAM)→氨基环丙烷羧酸(ACC)而产生(见图)。其中氨基环丙烷羧酸向乙烯的转化是一个需氧过程。低 O_2 浓度抑制果实乙烯生成,主要是抑制ACC向乙烯的转化所致^[9]。但高 CO_2 对乙烯生物合成抑制作用机理,仍是一个有待研究解决的课题。



除上述影响外,还有很多资料表明^[22], CO_2 对水果果实中叶绿体解体可产生明显抑制作用。

二、 CO_2 在水果贮藏保鲜中的应用

由于 CO_2 对水果采后生理代谢产生上述

影响,因此,它在水里贮藏保鲜中处于很重要的地位。气调贮藏就是利用增加 CO_2 降 O_2 的方法进行的。 CO_2 在生产中的应用方法基本上可分两大类:1.以高浓度 CO_2 作水果采后短期处理;2.在适宜的 CO_2 浓度下,对水果进行长期贮藏。但是,无论哪一种方法,在具体应用时,都存在着临界浓度或临界处理的时间问题。一旦超过界限,就会导致水果伤害,使商品受到损失。

1. 水果采后的高 CO_2 处理

早在本世纪20年代,勃鲁克斯(Brooks)等人的试验就表明^[28],金冠苹果采后经高 CO_2 处理,可抑制果实后熟,对以后贮藏产生有益的影响。此后大量研究进一步表明^[28],采后高 CO_2 处理不但有助于水果贮藏品质的保持,并可减轻水果贮藏期内各种生理病害的发生。如采后经过30~60% CO_2 处理3~10天,可防止苹果贮藏后期虎皮病的发生^[23,24]。采后用10~17% CO_2 处理10~19天,可降低巴黎贮藏后期(8~10周)果心解体发病率^[25]。目前,苹果采后高 CO_2 处理在美国的商业上逐渐推广应用。这种方法使金帅苹果的市场供应时间大大延长,日益引起人们的重视,并对此作了大量的研究^[5,8,10,13,19,20]。有人认为,在制冷设备缺乏或不足的情况下,采后高 CO_2 可作为制冷技术的一种有效补充措施,保持商品运输途中的品质^[12,28]。

2. CA贮藏

果蔬的气调贮藏。利用低氧和较高 CO_2 浓度对果蔬生理代谢的抑制作用,以延长果蔬贮藏时间,保持较好的商品质量。但是在 CO_2 大量累积,处理不当,会使果实发生伤害,造成损失。因此,必须借助于各种方法去除过多的 CO_2 ,使环境中 CO_2 浓度维持在所需的水平。目前,生产中常用的 CO_2 去除法有:(1)通风法。即向库房内鼓入空气,降低 CO_2 浓度;(2)洗脱法。即用碱、水或活性炭吸附洗脱库房中过多的 CO_2 气体;(3)硅橡胶薄膜法。利用对 CO_2 透性较大的特性,渗透扩散过多的 CO_2 气体,进行贮藏^[14,6,7]。

参 考 文 献

- [1] 上海市果品公司科技生产科, 1980年, 硅窗气调贮藏苹果。上海供销科技1980(4)
- [2] 山西省榆次市仪表厂、中科院山西煤化研究所, RSL-180型氮气发生器在果品贮藏中的推广和应用。(内部资料)
- [3] 王琮、果佳, 1978, 《果实蔬菜气调贮藏译文专辑》(第一集)。全国食品科技情报中心站、北京市食品研究所 1978年编
- [4] 北京植物研究所果蔬贮藏组苹果贮藏小组, 1975, 苹果气调贮藏的研究。《果树工作通讯》1975(5): 13-21
- [5] 刘慧、焦新之、邱鸿滨、刘文燕、徐荣江、林家桦、施加尧, 1979, 苹果采后生理变化及采后预处理对长期贮藏的影响。《植物生理学报》(5): 151-160
- [6] 刘慧、焦新之、林家桦、徐荣江、顾文卯, 1979, 塑料薄膜小包装贮藏苹果。《食品科技》1979(6): 7-10
- [7] 刘慧、焦新之、徐荣江、林家桦, 1979, 硅窗气调贮藏技术的研究。《食品科技》, 1979(9): 5-8
- [8] 焦新之、冯秀香、李琳、王坤范、徐荣江、吕勤、庄深良, 高CO₂、低O₂浓度对青香蕉苹果乙烯生成及品质的影响。(内部资料)。
- [9] Adams, D.O., and Yang, S.F., 1979, Ethylene biosynthesis. Identification of 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. 《Proc. Natl Acad. Sci.》. USA. 76, 170-174.
- [10] Bramlage, W.J. and Bareford, R.H., et al, 1977, Carbon dioxide treatment for 'McIntosh' apples before CA storage. 《J. Amer. Soc. Hort. Sci.》. 102: 658-662
- [11] Burg, S.P., and Burg, E.A., 1965, Ethylene action and the ripening of fruits 《Science》148: 1190-1195.
- [12] Claypool, L.L., and Allen, F.W., 1947, Modified atmosphere in relation to the transportation of deciduous fruits 《Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.》49: 92-98
- [13] Couey, M.H., and Olson, K.L., 1975, Storage response of 'Golden Delicious' apples after high-carbon dioxide treatment. 《J. Amer. Soc. Hort. Sci.》. 100: 148-150
- [14] Fidler, J.C., Wilkinson, B.G., Edney, K.L., and Sharples, R.O., 1973. The biology of apple and pear storage. 《Commonwealth Agricultural Bureaux》
- [15] Fidler, J.C., and North, C.J., 1969. Production of volatile organic compounds by pears. 《J. Sci. Fd. Agric.》20: 518-520
- [16] Frenkel, C., 1977, Metabolic effect of CO₂ in Bartlett pears 《Mich. Sta. Univ. Hort. Rept.》. No. 28: 108-115
- [17] Gazit, S., and Adato, I., (Israel), 1972, Effect of carbon dioxide atmosphere on the course of astringency disappearance of pomegranate (Diospyros Kaki, Linn) fruits. 《J. Fd. Sci.》. 37(6): 815
- [18] Hulme, A.C., 1956, Carbon dioxide injury and the presence of succinic acid in apples 《Nature》178: 218-219.
- [19] Lau, O., and Macdonald, R.A., 1977, Response of British Columbia-Grown Golden Delicious apples to prestorage high CO₂ treatment. 《Mich. Sta. Univ. Hort. Rept.》. No. 28: 175-181
- [20] Mekerik, M., Porritt, S.W., and Lidstor P. D., 1977, Effect of carbon dioxide treatment on controlled atmosphere storage behavior of McIntosh apples. 《Can. J. Plant Sci.》. 57: 457-460
- [21] Mapson, L.W., 1970, Biosynthesis of ethylene and the ripening of fruit. 《Endeavour》106: 29-33
- [22] Pantastico, Er. B., 1975, Postharvest physiology handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables, 《The AVI Publ. Co. Westport Ct》
- [23] Pienizek, S.A., 1945, Prestorage carbon dioxide treatments for control of apple scald. 《Plant physiol》20: 313-314
- [24] Pienizek, S.A., Christopher, E.P., and McElroy, L.A., 1946, Further data on the control of storage scald of apples by means of carbon dioxide. 《Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.》. 48: 81-88
- [25] Porritt, S.W., and Mekerik, M.M., 1977, Effect of CO₂ treatment on storage behavior of apples and pears 《Mich. Sta. Univ. Hort. Rept.》. No. 28: 170-172
- [26] Quaji, M.H., and Freebairn, H.T., 1970, The influence of ethylene oxygen and carbon dioxide on the ripening of banana 《Bot. Gaz》131: 5-14
- [27] Ranson, S.L., Walker, D.A., and Clarke, I.D., 1960, Effects of carbon dioxide on mitochondrial enzymes from Ricinus. 《Biochemistry》76: 216-221
- [28] Smith, W.H., 1963. The use of carbon dioxide in the transport and storage of fruits and vegetables. 《Adv. Fd. Res.》. 12: 96-146
- [29] Young, R.E., Roman, R.J., and Biale, J.B., 1962, Carbon dioxide effects on fruits respiration II. Response of avocados, bananas and lemons. 《Plant physiol》37: 416-422
- [30] Yang, S.F., 1980, Regulation of ethylene Biosynthesis. 《Hortscience》1980
- [31] 北京农业大学: 1961《植物生物化学》P104-5农业出版社 1962年
- [32] 新疆八一农学院园艺室, 1975, 苹果气体贮藏与水果涂药应用试验总结《果树工作通讯》1975(5): 61-65