

不同贮藏温度下油桃果实的冷害生理研究

高 慧^{1,2}, 饶景萍¹, 张少颖¹

(1 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2 西北大学 化工学院, 陕西 西安 710069)

[摘 要] 以秦光 2 号油桃为供试材料, 在不同贮藏温度(1, 3, 5 和 7)下, 研究了油桃果实的冷害生理。结果表明, 油桃对不同冷害温度的敏感性不同, 以 5 时最为敏感, 在该温度下贮藏 10 d 即表现出冷害症状; 冷害发生后, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的活性均显著降低, 果实的褐变指数、相对膜透性和丙二醛(MDA)含量升高; 冷害使油桃果实的硬度在贮藏后期异常增加, 呼吸和乙烯代谢异常(二者的最大值提前 10 d 出现); 冷害发生后, 油桃果实可溶性固形物含量无明显变化。

[关键词] 油桃; 冷害生理; 低温贮运; 采后贮藏

[中图分类号] S662.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)10-0061-05

Studies on chilling injury physiology of nectarines at different storage temperature

GAO Hui^{1,2}, RAOJing-ping¹, ZHANG Shao-ying¹

(1 College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 College of Chemistry and Industry, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 712011, China)

Abstract : In this paper ,the changes of CII, BI, respiration ,ethylene production , flesh firmness ,soluble solids content ,relative membrane permeability ,MDA content and activities of SOD ,POD and CAT of nectarines at different chilling injury temperature were studied. The results showed that the susceptibility of chilling injury (CI) of nectarines was various at different storage temperature ,and was the most sensible to the chilling injury at 5 ,the activities of SOD ,POD and CAT were significantly reduced ,while the BI, relative membrane permeability and the content of MDA were enhanced. Chilling injury induced the decomposition of respiration and ethylene production ,and brought the appearance of respiration peak and the ethylene peak 10 days earlier than control. However ,there was no remarkable change of the total soluble solids in nectarines.

Key words : nectarines ;chilling injury physiology ;storage at low temperature ;storage after harvest

冷害是指果实在组织冰点以上低温胁迫下出现的生理机能障碍,是果实细胞代谢失调与紊乱的结果。冷害的发生常使果实采后的冷藏效果受到一定影响。油桃果实具有较强的冷敏性,不适宜的低温容易诱发冷害。Harding 等^[1]和 Ctisosto 等^[2]研究

表明,油桃在 2.2~7.6 贮藏时,较 0 或更低温度但高于其组织冰点温度贮藏更容易发生冷害。另有研究表明,2.5 左右的低温通常会加剧冷害的发生^[3],油桃在 2~5 下贮藏,1~2 周内即可表现出明显的冷害症状^[4]。目前,我国对油桃冷害生理

〔收稿日期〕 2006-09-05

〔基金项目〕 陕西省科技攻关项目 2005 K01-G12-01

〔作者简介〕 高 慧(1977-),女,山西阳泉人,博士,主要从事园艺产品采后贮藏研究。

〔通讯作者〕 饶景萍(1957-),女,陕西城固人,教授,博士生导师,主要从事园艺产品采后贮藏研究。E-mail:dqr0723@163.com

的研究甚少。本试验以秦光 2 号油桃为试材,比较了不同温度、不同贮藏时期油桃细胞膜透性、丙二醛(MDA)含量,以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等保护酶活性的变化,以期探讨油桃果实冷害发生的内部生理机制,为更好地进行油桃的低温贮藏提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

供试材料为秦光 2 号油桃,2005-08-01 采自杨凌一农家果园,树龄 7 年。采收当天即运回实验室,选择果实端正、成熟度一致、发育良好、中等大小、无机械伤害的果实,分为 4 组,每组设 3 个重复,每重复 10 kg 果实。将各组油桃装入聚乙烯薄膜包装袋中,分另于 1,3,5 和 7 ℃、相对湿度(RH)约 90%的机械冷库中贮藏。以 1 ℃贮藏组油桃为对照,分别于 0(采收当天),10,20,30,33,36 和 39 d 测定各项指标。贮藏期间于 10,20,30,33,36 和 39 d 时取部分果实,移至 20 ℃下(RH 约 75%)后熟 3 d,统计冷害指数及褐变指数。

1.2 测定指标及其方法

1.2.1 冷害指数(CII)^[5] 从各组中随机抽取 6 (N)个果实,记录冷害个数(M),计算每个果实冷害症状的面积与油桃果实总面积的比值(P),按下式计算冷害指数:CII=(P₀+P₁+P₂+...P_m)×N×M/4,重复 3 次。

1.2.2 褐变指数(BI)^[6] 从处理中随机抽取 6 个果实,计算每个果实的褐变级数。褐变级数分为 0 级(无褐变)、1 级(25%表面积褐变)、2 级(25%~50%表面积褐变)、3 级(50%表面积褐变)和 4 级(完全褐变)5 个等级。按下式计算褐变指数:BI=(褐变级数×果实数)/总果数,重复 3 次。

表 1 不同温度下各时期油桃果实的冷害指数

Table 1 Chilling injury index of nectarines under different temperature

贮藏温度/ Storage temperature	冷害指数 Chilling injury index					
	10 d	20 d	30 d	33 d	36 d	39 d
1	0	0 D	0 D	0 D	0 D	0 D
3	0	0.25 BC	0.42 BC	0.5 BC	0.67 B	0.71 B
5	0	0.375 A	0.67 A	0.75 A	0.92 A	1.0 A
7	0	0.16 BC	0.375 BC	0.46 BC	-	-

注:同列不同大写字母表示差异性极显著(P<0.01)。下表同。

Note:Different capital letters in the same column indicate significant difference at 0.01 level. The same as the following table.

2.2 不同贮藏温度下油桃硬度和可溶性固形物含量的变化

图 1 表明,整个贮藏期内,对照油桃果实硬度保

1.2.3 硬度、可溶性固形物含量和相对膜透性 硬度用 FT327 型硬度计测定,探头直径 5 mm;可溶性固形物含量(TSS)用手持折光仪测定;相对膜透性用 DDS-11AT 型电导仪测定。

1.2.4 呼吸速率和乙稀释放速率 呼吸速率采用 HEL-7001 型红外 CO₂ 测定仪测定;乙稀释放速率采用 GL-9APTF 气相色谱仪测定,FID 检测器检测,N₂ 为载气,柱温 70 ℃,检测室温度 110 ℃,外标法定量。

1.2.5 MDA 含量和 SOD、POD、CAT 活性测定 MDA 含量和 SOD 活性参考高俊凤等^[7]的方法测定,单位分别为 mmol/g 和 μg/h;POD 和 CAT 活性参考刘凤权等^[8]的方法测定,酶活性单位为 U/g。

1.3 数据处理方法

试验结果采用 DPS 软件(V3.11 专业版)进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度下油桃果实的冷害指数与褐变指数

由表 1 可知,分别在 3,5,7 ℃贮藏的油桃果实的冷害指数与 1 ℃的差异达极显著水平(P<0.01)。由表 1 还可知,5 ℃下贮藏 20 d 的油桃果实,其冷害症状已非常明显,且冷害持续发生,到贮藏末期时冷害指数已高达 1;7 ℃下贮藏的油桃果实也在一定程度上遭受冷害,但明显低于 3 和 5 ℃,但由于贮藏温度较高,后期腐烂现象严重;对照油桃始终未发生冷害。由表 2 可知,油桃果实的褐变指数随着冷害的加重而增大,3,5 和 7 ℃下油桃果实的褐变指数极显著高于 1 ℃(P<0.01),到贮藏末期 5 ℃下贮藏的果实大部分已几乎完全褐变。

持较好,贮藏 39 d 时其硬度仍达 7.14 kg/cm²,较采收当天仅降低 13.34%;随贮藏时间的延长,3,5 和 7 ℃下贮藏的果实与刚采收时相比,均逐渐软化,但

3 和 5 下的冷害果实在贮藏 30 d 之后硬度异常增加,造成此现象的原因可能是细胞壁结构破坏后胞壁物质可溶性果胶异常所致^[9-11]。冷害对油桃果实

可溶性固形物含量的变化无明显影响,各温度下油桃的可溶性固形物含量均呈先下降,后上升,最后再下降的趋势,各处理间差异不显著。

表 2 不同温度下各时期油桃果实的褐变指数

Table 2 Brown index of nectarines under different treatment

贮藏温度/ Storage temperature	褐变指数 Browning index					
	10 d	20 d	30 d	33 d	36 d	39 d
1	0	0 D	0 D	0 D	0 D	0 D
3	0	0.5 BC	1 BC	2 BC	2 B	2.25 B
5	0	1 A	2 A	3 A	5 A	5 A
7	0	0.25 BC	1 BC	1.5 BC	-	-

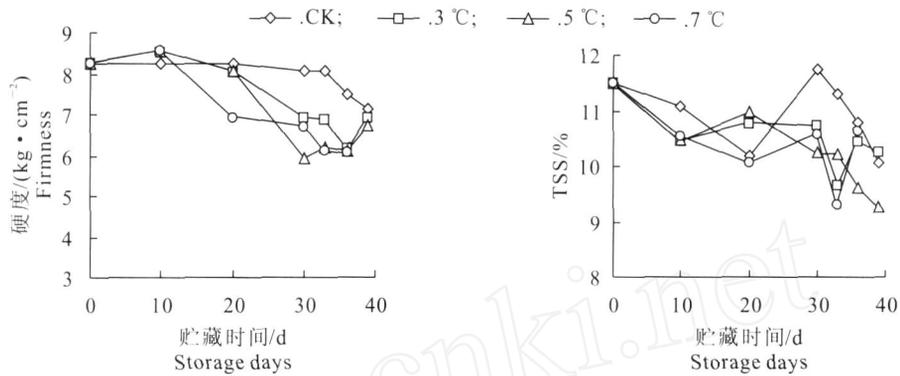


图 1 不同贮藏温度下油桃硬度和可溶性固形物含量的变化

Fig. 1 Changes of firmness and SSC of nectarines at different storage temperature

2.3 不同贮藏温度下油桃呼吸速率和乙烯释放速率的变化

由图 2 可看出,在贮藏期内,3,5 和 7 下贮藏果实的呼吸速率总体上始终高于对照;5 和 7 贮藏果实的呼吸速率在贮藏初期即开始迅速上升,在贮藏 20 d 时达到高峰;3 下果实的呼吸速率在贮

藏 20 d 之后开始大幅上升,并较 5 和 7 下贮藏的油桃果实延迟 10 d 到达高峰。各处理果实的乙烯释放速率与呼吸速率呈现相似的变化趋势,且乙烯释放高峰出现的时间与呼吸高峰一致。5 下贮藏的果实冷害发生最严重,至贮藏末期时已基本检测不出乙烯。

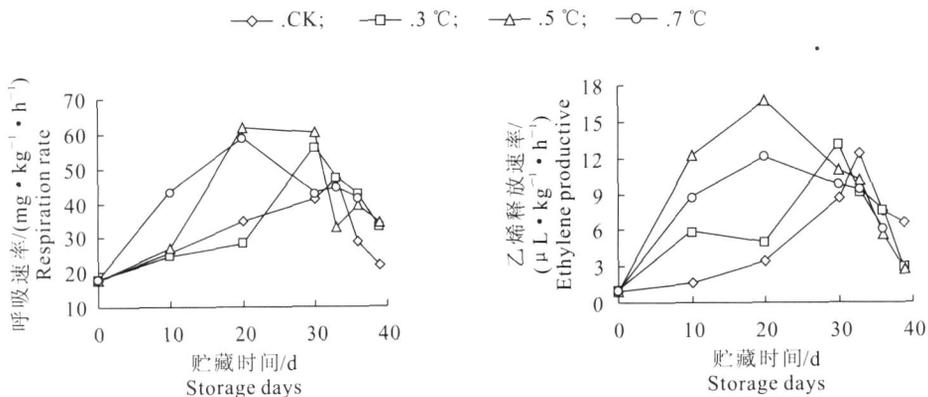


图 2 不同贮藏温度下油桃呼吸速率和乙烯释放速率的变化

Fig. 2 Changes of respiration rate and ethylene production of nectarines at different storage temperature

2.4 不同贮藏温度下油桃相对膜透性和 MDA 含量的变化

图 3 表明,对照果实的相对膜透性变化始终较为平缓,整个贮藏过程仅增加 2.7%,分别占 3、5 和 7℃冷害果实增加量的 26.06%、9.61%和 20.56%。

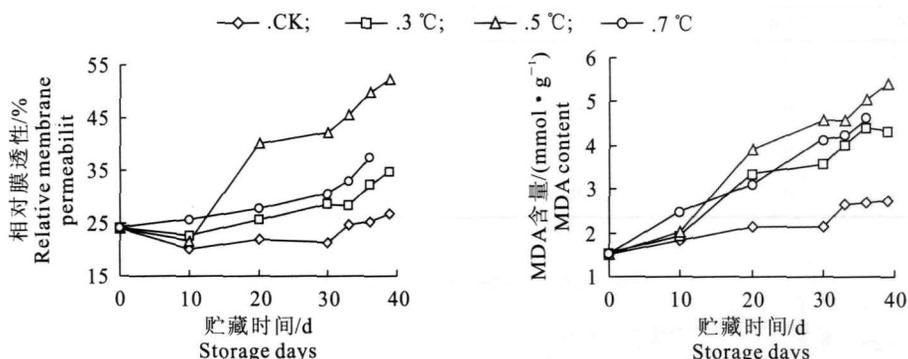


图 3 不同贮藏温度下油桃膜相对透性与 MDA 含量的变化

Fig. 3 Changes of relative membrane permeability and MDA content of nectarines at different storage temperature

2.5 不同贮藏温度下油桃 SOD、POD 和 CAT 活性的变化

由图 4-a 可知,在贮藏 10 d 内,5 和 7℃下冷害果实的 SOD 活性急剧上升,于第 10 d 达最大值,分别为 384.18 和 355.75 $\mu\text{g}/\text{h}$,较对照果实提早 23 d 出现峰值,之后前者的酶活性迅速降低,但末期时出现起伏,后者酶活性缓慢下降,这与前者冷害发生严

重有关。冷害果实的 POD 活性在贮藏末期的共同特点是酶活性异常升高,而对照果实的 POD 活性变化幅度则相对平缓,贮藏期内其 POD 活性基本上均低于冷害果实(图 4-b)。贮藏早期,3、5 和 7℃处理组的 CAT 活性大幅上升,但随着果实内 H_2O_2 的积累,CAT 活性逐渐降低,至 39 d 时,5℃下果实的 CAT 活性仅为其最大值的 39.92%(图 4-c)。

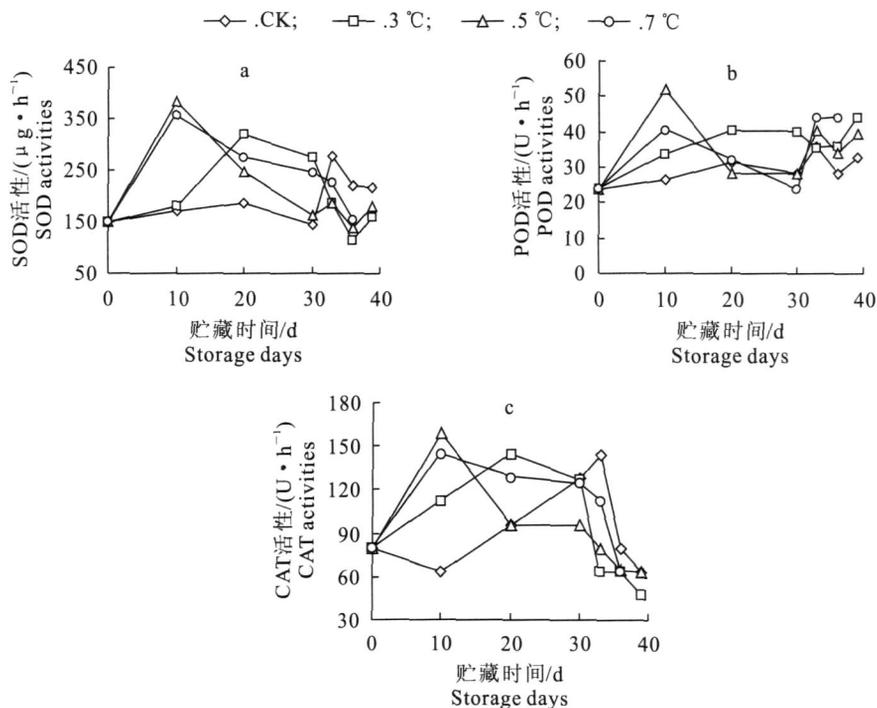


图 4 不同贮藏温度下油桃 SOD、POD 和 CAT 活性的变化

Fig. 4 Changes of SOD, POD and CAT activities of nectarines at different storage temperature

3 讨 论

冷害温度下,细胞膜会由液晶态变为凝胶态,膜的流动性减弱,选择性下降,透性增加,造成胞内离子渗漏,打破了细胞内外离子分布平衡,组织的相对电导率增加。本研究中,冷害指数与相对膜透性呈正相关,这与季作梁等^[12]在芒果上的相关研究结果一致。冷害可诱导乙烯的大量释放,使膜透性增加,进而加剧膜的损伤和细胞区隔化破坏^[13]。但当冷处理超过一定限度时,乙烯的生成量不再增加,反而急剧下降,直到最低水平^[14]。呼吸速率一般在冷害初期会有所增加,这是植物本身的一种自我保护反应,但随着冷害持续发展,呼吸速率不再增加,反而会下降^[15]。本试验结果与上述研究结果基本一致。

冷害引起的细胞膜系统损伤与自由基代谢失调有关。正常条件下,细胞内自由基产生和清除处于动态平衡状态,自由基水平很低,不足以使细胞受到伤害。但是当冷害发生时,这一平衡即被打破,自由基大量累积,导致膜脂过氧化链式反应启动并加速进行,同时 SOD、POD 和 CAT 等保护酶活性降低或活性变化不协调,促使大量有害的膜脂过氧化产物 MDA 积累,最终导致膜的损伤和冷害发生。本试验结果显示,为适应短期的低温胁迫环境,3、5 和 7 下贮藏的油桃果实通过自身的代谢调节,使 SOD、POD 和 CAT 活性升高,活性氧自由基的清除能力加强,以尽可能延缓膜脂过氧化。但随着低温处理时间的延长,SOD 和 CAT 活性迅速下降,POD 活性则在下降之后失调,导致膜脂过氧化加剧,MDA 含量增加。对柑橘^[16]的研究也表明,随着低温时间的延长,MDA 的含量升高,冷害持续发展,膜脂过氧化加剧。已有研究认为,只要果实处于受冷害的临界温度下,SOD 活性就会随贮藏时间的延长而降低^[16]。但本研究发现,冷害油桃果实的 SOD 活性在贮藏早期有一定程度的升高,之后迅速降低,并在贮藏末期出现起伏,不同于上述研究结果,其具体原因有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] Harding P L, Haller M H. Peach storage with special reference to breakdown[J]. Proc Am Soc Hort Sci, 1934, 32: 160-163.
- [2] Csisosto C H, Mitchell F G, Ju Z. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine and plum cultivars grown in California [J]. HortScience, 1999, 34: 1116-1118.
- [3] Mollendorff L J, Devilliers O T. Physiological changes associated with the development of woolliness in 'Peregrine' peaches during low temperature storage [J]. J Hort Sci, 1988, 63: 53-58.
- [4] Anderson R E. The influence of storage temperature and warming during storage on peach and nectarine fruit [J]. J Am Soc Hort Sci, 1979, 104: 459-461.
- [5] Wang C Y, Ju Z L. Effect of low oxygen storage on chilling injury and polyamines in zucchini squash [J]. Scientia Horticulture, 1989, 39: 1-7.
- [6] 胡位荣, 张昭其, 季作梁, 等. 低温对荔枝果肉膜脂过氧化和保护酶活性的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(1): 8-12.
- [7] 高俊凤, 孙 群. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [8] 刘凤权, 王金生. 水杨酸对水稻叶片抗氧化酶系的影响 [J]. 农业生物技术学报, 2001, 9(4): 396-399.
- [9] Dawson D M, Melton L D, Watkins C B. Cell wall changes in nectarines: solubilization and depolymerization of pectic and neutral polymers during ripening and in mealy fruit [J]. Plant Physiol, 1992, 100: 1203-1210.
- [10] Lurie S, Levin A, Greve L C, et al. Pectic polymer changes in nectarines during normal and abnormal ripening [J]. Phytochemistry, 1994, 36: 11-17.
- [11] Zhou H W, Sonnegg L, Ben-Arie R, et al. Analysis of cell wall components in juice of 'Flavortop' nectarines during normal ripening and woolliness development [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1999, 124: 424-429.
- [12] 季作梁, 张昭其. 芒果低温贮藏及冷害的研究 [J]. 园艺学报, 1994, 21(2): 111-116.
- [13] Wang C Y. Changes of polyamine and ethylene in cucumber seedlings in response to chilling stress [J]. Plant Physiol, 1987, 69: 253-257.
- [14] 陈 贻. 竹罗兰离体叶冷处理后转暖期乙烯和 ACC 的产生及 CO₂ 的作用 [J]. 植物生理学通讯, 1988, 2: 17.
- [15] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社.
- [16] 龚国强, 于 梁. 低温对黄瓜果实超氧化物歧化酶 (SOD) 的影响 [J]. 园艺学报, 1996, 23(1): 97-98.