

逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实采后冷害及内源多胺含量的影响

张婷,车凤斌*,吴忠红,郑素慧,徐斌

(新疆农科院农产品贮藏加工研究所,新疆乌鲁木齐 830091)

摘要:为了探讨逐步降温对哈密瓜果实冷害及内源多胺含量的影响,阐明逐步降温处理提高其采后耐冷性的机理。本研究以“86-1”哈密瓜果实为试材,分析了直接降温(1 ± 0.5)℃和逐步降温(8 ± 0.5)℃,1 d→(5 ± 0.5)℃,3 d→(3 ± 0.5)℃,3 d→(1 ± 0.5)℃处理对果实贮期冷害指数、冷害率、相对膜透性及内源腐胺(Put)、精胺(Spm)、亚精胺(Spd)、总胺(Total polyamine)含量的影响。结果表明:逐步降温处理可有效降低“86-1”哈密瓜果实的冷害指数和冷害率,抑制果实相对膜透性的增加,增加内源Put、Spm和Spd含量。内源Put含量与“86-1”哈密瓜果实冷害指数呈显著正相关关系($r=0.873, p<0.05$),Spm和Spd含量与冷害指数呈极显著负相关关系($r=-0.939$ 和 $r=-0.986, p<0.01$)。

关键词:哈密瓜,冷害,逐步降温,内源多胺

Effects of gradual cooling treatment on chilling injury and endogenous polyamine contents of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

ZHANG Ting, CHE Feng-bin*, WU Zhong-hong, ZHENG Su-hui, XU Bin

(Research Institute of Farm Products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: The objective of the study was to discuss effects of gradual cooling treatment on chilling injury and endogenous polyamine contents, and clarify gradual cooling treatment to improve the chilling-resistance mechanism of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits after postharvest. The effects of direct cooling (1 ± 0.5)℃ and gradual cooling treatment (8 ± 0.5)℃, 1 d→(5 ± 0.5)℃, 3 d→(3 ± 0.5)℃, 3 d→(1 ± 0.5)℃ on chilling injury index, chilling injury incidence, membrane permeability and endogenous putrescine, spermine, spermidine, total polyamine contents of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits were investigated and analysed. The results showed that: the gradual cooling treatments could significantly reduce chilling injury index and chilling injury incidence, inhibit membrane permeability, improve endogenous Put, Spm and Spd content. The correlation analyses showed a positive correlation ($r=0.873, p<0.05$) between endogenous Put content of '86-1' Hami melon and chilling injury index. And significantly negative correlation between endogenous Spm and Spd content of fruits and chilling injury index ($r=-0.939$ and $r=-0.986, p<0.01$).

Key words: Hami melon; chilling injury; gradual cooling; endogenous polyamine

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)22-0350-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.22.063

哈密瓜起源于非洲热带地区,果实对温度较敏感,在冻结点低温环境中容易发生代谢失调和细胞伤害,即冷害(chilling injury)。冷害的发生严重影响了果实商品性、抗病性和耐藏性^[1]。研究发现,新疆的中晚熟哈密瓜品种低于3℃下贮藏会出现冷害症状,受冷害后的果实表面产生暗褐色小凹陷,其形状不规则,随着低温胁迫时间的延长,形成凹凸不平、斑驳不匀的斑块,同时果实失水皱缩,严重时出现水浸

状,由低温升到常温后冷害症状加重,腐烂增加,品质下降^[2]。“86-1”作为新疆中晚熟哈密瓜品种,采后1℃下贮藏14 d,移至常温5 d后出现冷害^[3]。因此,研究“86-1”哈密瓜果实冷害发生机制及冷害控制技术,进而延长其低温贮藏期及货架期,具有一定的现实意义。

多胺(PA)是生物代谢过程中产生的一类具有生物活性的低分子量脂肪族含氮碱。高等植物中的多

收稿日期:2015-03-19

作者简介:张婷(1980-),女,硕士,副研究员,研究方向:果品采后生理及分子生物学,E-mail:zhangtingkikie@163.com。

*通讯作者:车凤斌(1956-),男,研究员,研究方向:果品贮藏保鲜技术,E-mail:chetbxaas@sina.com。

基金项目:新疆农科院青年基金(xjnkq-2013035);国家科技支撑项目(2011BAD27B01)。

胺,主要包括腐胺(Put)、精胺(Spm)、亚精胺(Spd)和尸胺(Cad)等。通常情况下,当植物处于逆境条件时,细胞内常会积累大量的多胺,从而对组织起到保护作用^[4]。由于多胺对细胞膜起稳定和保护作用,因而多胺与采后果蔬贮藏冷害的关系受到较多的关注^[4-7]。

逐步降温贮藏是一种冷锻炼或冷驯化,因其无毒无害、无污染、无化学残留而又操作简单,目前在多种果蔬冷害控制的研究上获得明显的效果。采用逐步降温处理提高果实内源多胺的水平,以减轻果蔬冷害的发生,目前已在西葫芦^[8]、鸭梨^[9]、桔^[10]、柠檬^[11]、黄瓜^[12]、枇杷^[13]、猕猴桃^[14]等果蔬上得到证实。逐步降温处理如何提高哈密瓜果实的耐冷性,与冷藏期间内源Put、Spm、Spd及总胺的水平是否有关,未见报道。因此,本研究以阿勒泰地区的“86-1”哈密瓜果实为试材,研究逐步降温处理对其果实采后冷害及内源多胺的影响,为进一步揭示逐步降温处理提高哈密瓜果实耐冷性的作用机理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

中晚熟品种哈密瓜“86-1”八成熟,其可溶性固形物含量为12%~13%,平均单瓜重4~5 kg,于2014年8月28日采自新疆阿勒泰市二牧场;腐胺(Put)、精胺(Spm)、亚精胺(Spd)标准品 美国Sigma公司;高氯酸、苯甲酰氯、氯化钠、乙醚、甲醇 新疆阜瑞克生物科技有限公司,均为分析纯。

Agilent1260型液相色谱 南京利尔实验仪器设备有限公司;UV-2600紫外分光光度计 日本岛津公司;DDS-11A型电导仪 上海仪电科学仪器股份有限公司;LGJ-10型真空浓缩冷冻干燥机 北京四环科学仪器厂有限公司;Eppendorf-5810R冷冻型高速离心机 上海捷辰仪器有限公司;恒温水浴锅 上海一恒科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 处理方法 哈密瓜采后12 h内运回新疆农科院农产品贮藏加工研究所冷库,选择大小均匀、无病虫害、无机械损伤的果实。实验分2组,每组60个果实,设3个重复。第1组(CK):直接于(1±0.5)℃条件下冷藏;第2组(逐步降温处理):先将果实放入(8±0.5)℃的冷库中24 h,待果心温度达到设定温度后,将库温降至(5±0.5)℃(每隔12 h降低2.5℃),此条件下贮藏3 d,库温降至(3±0.5)℃继续贮藏3 d,最后保持库温为(1±0.5)℃贮藏。第1组和第2组实验均从第一次降温算起,贮藏期为63 d。

所有供试果实置于冷库中货架上,单瓜摆放,相对湿度维持在75%~80%。各处理每7 d取样1次,每次取6个果实,其中3个果实置于室温(20~25)℃3 d后观察并统计冷害率及冷害指数;另3个果实用于测定相对膜透性及内源多胺(Put、Spm和Spd)含量。

1.2.2 测定指标及方法

1.2.2.1 冷害指数与冷害率 冷害指数参考毕阳等^[15]的方法。冷害程度分为5级:0级,无冷害发生;1级,冷害发生面积≤10%;2级,11%<冷害发生面积≤25%;

3级,26%<冷害发生面积≤50%;4级,冷害发生面积≥50%。按公式计算:冷害指数=∑(冷害果实数×冷害级数)/(总果实数×最高冷害级数);冷害率(%)=冷害果实数/总果实数×100。

1.2.2.2 相对膜透性 相对细胞膜透性采用电导率法。用直径为10 mm的不锈钢打孔器将果实的果皮切成圆片,取15个圆片置于50 mL的小烧杯中,加40 mL蒸馏水后缓慢搅拌,用电导仪测定电导率 P_0 ,再测10 min后的电导率 P_1 ,之后将小烧杯置于沸水浴10 min,然后冷却至室温,测定电导率 P_2 。

$$\text{相对膜透性}(\%) = (P_1 - P_0) / (P_2 - P_0) \times 100$$

1.2.2.3 内源多胺提取与测定 多胺提取参照Flores和Galston^[16]的方法。称取1 g果肉加入5 mL预冷的5%高氯酸(体积分数)溶液中匀浆,冰浴浸提1 h,浸提过程中摇晃数次,4℃低温下12000×g离心30 min,收集上清液。取1 mL多胺提取液,加入1 mL 2 mol/L NaOH和10 μL苯甲酰氯,涡旋20 s后在37℃下保温30 min,然后加入2 mL饱和NaCl、2 mL乙醚,涡旋20 s后于4℃下3000×g离心5 min,收集1 mL醚相于小试管中,用真空浓缩冻干系统蒸干,-20℃冰箱避光保存用于多胺含量的测定。

多胺含量测定参照刘俊等的方法^[17]。色谱柱为 C_{18} 反向柱(4.6 μm, 5 mm×250 mm),流动相为甲醇溶液[V(甲醇):V(高纯水)=60:40],流速0.6 mL/min,柱温30℃,用紫外检测器在波长230 nm下检测。待测样品用60%甲醇(体积分数)300 μL溶解,振荡混匀后,用0.22 μm微孔滤膜过滤后上机测定,进样量为20 μL,用外标法定量计算,通过标样计算样品中多胺的浓度,计算单位质量鲜样中多胺的含量,单位为nmol·g⁻¹FW。测定Put、Spm、Spd含量时每次随机取果3个,每个果实从上、中、下三个部位分别均匀取样,重复3次。

1.3 数据处理

采用Excel 2003软件进行分析,并用SPSS 17.0软件进行显著性统计分析,采用Duncan法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实冷害的影响

“86-1”哈密瓜果实在(1±0.5)℃条件下贮藏,冷藏14 d内,冷害症状不明显,移至常温5 d后出现轻微冷害症状,主要表现为:表皮出现凹凸不平的浅褐色小斑点。随着低温贮藏时间的延长,斑点逐渐变大、颜色变深且下陷,移至室温后症状加重,果肉出现水浸状,这与张婷等研究报道一致^[3]。逐步降温处理在贮藏49 d移至常温3 d后,个别果实出现轻微的冷害症状,比直接冷藏的哈密瓜果实冷害出现的时间推迟了35 d。图1和图2显示,整个贮藏过程中,(1±0.5)℃条件下贮藏的哈密瓜果实随着低温贮藏时间的延长,冷害指数从0.011上升至0.87,冷害率由7.41%上升至63.33%。而逐步降温处理的哈密瓜果实冷害指数及冷害率明显低于对照,二者间差异达到极显著水平($p < 0.01$)。表明逐步降温处理可以显著抑制“86-1”哈密瓜果实冷害发生。

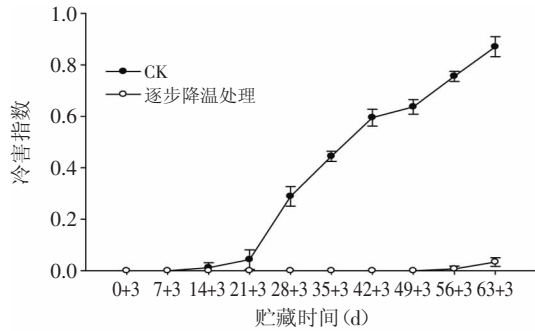


图1 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实冷害指数的影响
Fig.1 Effect of gradual cooling treatment on chilling injury index of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

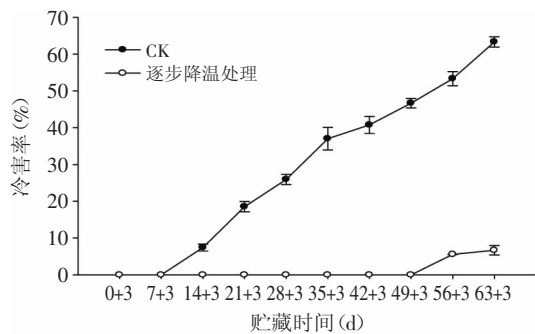


图2 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实冷害率的影响
Fig.2 Effect of gradual cooling treatment on chilling injury rate of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

2.2 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实相对膜透性的影响

细胞膜是果蔬发生冷害时被攻击的首要部位。冷害温度下,细胞膜透性增大,膜内可溶性物质和电解质向膜外渗漏,组织的相对膜透性快速升高。从图3可知,冷害使“86-1”哈密瓜果实的相对膜透性增加,冷害出现的时间与相对膜透性快速增加的时间一致。在整个贮藏过程中,逐步降温处理的哈密瓜果实相对膜透性一直低于对照,且在贮藏21 d后,与对照差异显著 ($p < 0.05$)。结果表明,逐步降温处理延缓了“86-1”哈密瓜果实相对膜透性的升高,这一结果与柿^[18]、芒果^[19]等果蔬上的研究报道一致。

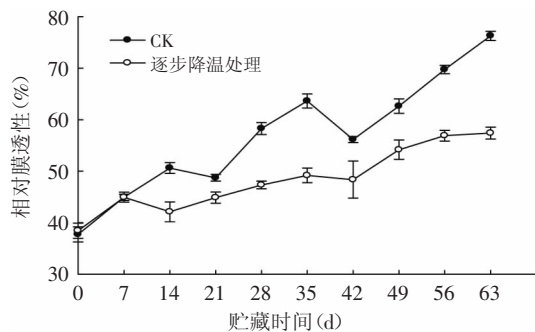


图3 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实相对膜透性的影响
Fig.3 Effect of gradual cooling treatment on relative membrane permeability of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

2.3 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实内源多胺 (Put、Spm、Spd及总胺)的影响

2.3.1 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实内源Put含量的影响 一般来说,果蔬遭受冷害时,伴随着果蔬冷害症状的出现,内源多胺含量常常发生一些显著变化^[6-7,20]。由图4可以看出,“86-1”哈密瓜果实贮藏过程中Put含量呈现逐渐上升的趋势,对照果实的内源Put含量在贮藏前21 d上升缓慢,21 d后迅速上升,至贮藏结束时,内源Put含量达到 $23.71 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$,为贮藏初期的3.93倍。与对照相比,逐步降温处理的“86-1”哈密瓜果实内源Put含量在整个贮藏过程中也呈现逐渐上升的趋势,并且其始终显著 ($p < 0.05$) 高于对照。至贮藏结束时,逐步降温果实内源Put含量达到 $43.36 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$,为贮藏初期的7.20倍。相关性分析表明,内源Put含量与“86-1”哈密瓜果实冷害指数呈显著正相关关系 ($r = 0.873, p < 0.05$),逐步降温处理通过提高果实内源腐胺含量提高其抗冷性,这与甜椒^[21]、荔枝^[22]等果蔬的研究报道一致。

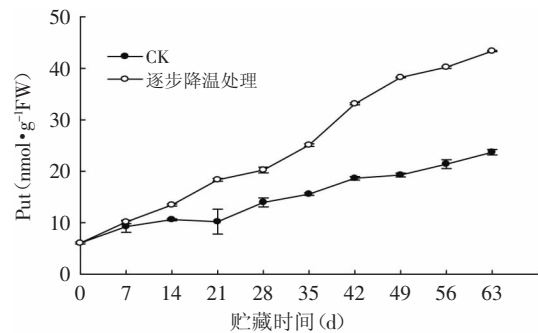


图4 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实腐胺含量的影响
Fig.4 Effect of gradual cooling treatment on putrescine content of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

2.3.2 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实内源Spm含量的影响 图5显示,“86-1”哈密瓜果实内源Spm含量呈现逐渐降低的趋势。随着果实冷害指数的升高,内源Spm含量降低,Spm含量与冷害指数呈极显著负相关关系 ($r = -0.939, p < 0.01$)。贮藏初期,哈密瓜果实内源Spm含量为 $24.15 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$,至贮藏结束时,2组不同贮藏方式下“86-1”哈密瓜果实的内源Spm含量分别下降为 $9.54 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 和 $7.81 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$,

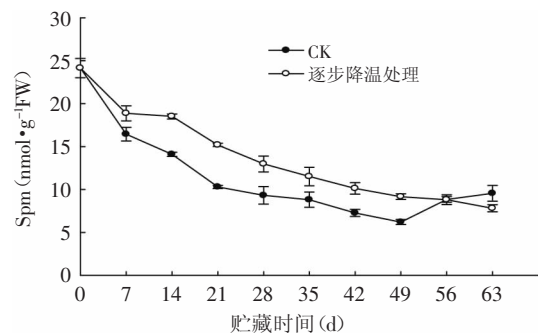


图5 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实精胺含量的影响
Fig.5 Effect of gradual cooling treatment on spermine content of '86-1' Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

分别为贮藏初期的39.50%和32.33%。在整个贮期(56 d)内,逐步降温处理的“86-1”哈密瓜果实内源Spm含量始终高于对照,但二者差异不显著($p>0.05$)。表明逐步降温处理有利于抑制“86-1”哈密瓜果实内源Spm含量的下降,使其在整个贮藏过程中保持较低的水平。

2.3.3 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实内源Spd含量的影响 图6显示,“86-1”哈密瓜果实低温贮藏过程中,内源Spd含量呈现逐渐降低的趋势,内源Spd含量与冷害指数呈极显著负相关关系($r=-0.986, p<0.01$)。同样,逐步降温处理的“86-1”哈密瓜果实内源Spd含量始终高于对照。未经逐步降温的哈密瓜果实在贮藏初期内源Spd含量为72.29 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$, 21 d后Spd含量呈现快速下降的趋势,至贮藏结束时,内源Spd含量下降幅度达到30.33%;而逐步降温处理的哈密瓜果实内源Spd含量从贮藏21 d的71.73 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 下降至贮藏结束时的62.25 $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$,下降幅度为13.22%。表明逐步降温处理可抑制“86-1”哈密瓜果实内源Spd含量的下降。统计分析表明,贮藏21 d后,逐步降温处理的“86-1”哈密瓜果实内源Spd含量与对照存在极显著差异($p<0.01$)。可见,逐步降温处理可显著抑制“86-1”哈密瓜果实内源Spd含量的降低。

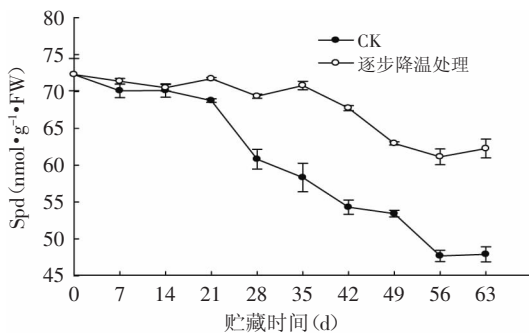


图6 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实亚精胺含量的影响
Fig.6 Effect of gradual cooling treatment on spermidine content of ‘86-1’ Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

2.3.4 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实内源总胺含量的影响 从“86-1”哈密瓜果实贮藏过程中内源总胺含量变化看,逐步降温的哈密瓜果实总胺含量在整个贮藏过程中始终高于对照,2组处理的内源总

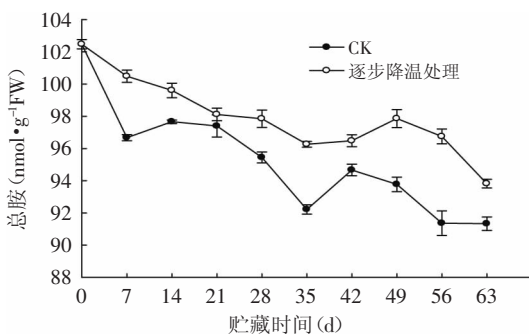


图7 逐步降温处理对“86-1”哈密瓜果实总胺含量的影响
Fig.7 Effect of gradual cooling treatment on total polyamine content of ‘86-1’ Hami melon (*Cucumis melo* L.) fruits

胺含量变化比较明显。直接冷藏的果实在整个贮藏期间内源总胺的含量随着冷害的发生而降低,从贮藏初期到贮藏结束,降幅为10.88%;而逐步降温处理的“86-1”哈密瓜果实内源总胺在整个贮藏期间的下降幅度为8.45%。在整个贮藏期内,逐步降温处理的果实内源总胺含量始终高于直接冷藏的,二者差异显著($p<0.05$)。

3 结论

本研究结果表明,逐步降温处理推迟了哈密瓜果实冷害出现的时间,减轻了低温贮藏期间哈密瓜果实的冷害症状,从而延长了“86-1”哈密瓜果实低温贮藏的寿命。冷害的发生导致“86-1”哈密瓜果实的相对膜透性增加,逐步降温处理抑制了“86-1”哈密瓜果实相对膜透性的升高;提高了果实内源Put、Spd、Spm及内源总胺的含量。可见,逐步降温处理可较好地控制“86-1”哈密瓜果实采后冷害的发生。

参考文献

- [1] 王坚. 中国西瓜甜瓜[M]. 中国农业出版社,2000:161.
- [2] 新疆八一农学院.甜瓜贮藏技术及采后生理研究报告[J]. 新疆农业大学,1988,1(1):12-13.
- [3] 张婷,陈娟,潘伊,等. 不同贮藏温度对采后 86-1哈密瓜果实冷害及品质的影响[J]. 食品工业科技,2015,36(3):345-348.
- [4] Smith TA. Polyamines[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1985,36:117-143.
- [5] Mager J. The stabilizing effect of spermidine and related polyamines on bacterial protoplasts[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1959,36:529-531.
- [6] 郑永华,李三玉,席玛芳,等. 多胺与枇杷果实冷害的关系[J]. 植物学报,2000,42(8):824-827.
- [7] 郑永华,李三玉,席玛芳,等. 采后果蔬贮藏时冷害与多胺的关系[J]. 植物生理通讯,2000,36(5):485-490.
- [8] Kramer G F, Wang C Y. Correlation of reduced chilling injury with increased spermine and spermidine levels in zucchini squash [J]. Physiologia Plantarum, 1989,76(1):479-484.
- [9] Fan H, Feng S. The correlation of polyamine with CI of peach and pear and the treatments for alleviating CI[M]. Beijing: China Agricul Sci Press, 1995:40-43.
- [10] Gonzalez A G, Lafuente M T, Zacarias L. Changes in polyamines in fortune mandarine with cold storage and temperature conditioning[J]. Postharvest Biology and Technology, 1995,23(1): 273-278.
- [11] McDonald R E. Temperature-conditioning affects polyamines of lemon fruits stored at chilling temperature[J]. Horticultural Science, 1989,24(3):475-477.
- [12] 范华,冯双庆,赵玉梅. 黄瓜、番茄冷害及黄瓜温度预贮处理与多胺的相关性[J]. 中国农业大学学报,1996,23(3):108-111.
- [13] 金鹏,吕慕雯,孙萃萃,等. MeJA与低温预贮对枇杷冷害和活性氧代谢的影响[J]. 园艺学报,2012,39(2):461-468.
- [14] 杨青珍. 猕猴桃采后冷害发生生理机制及调控作用[D]. 西安:西北农林科技大学,2013.

(下转第361页)

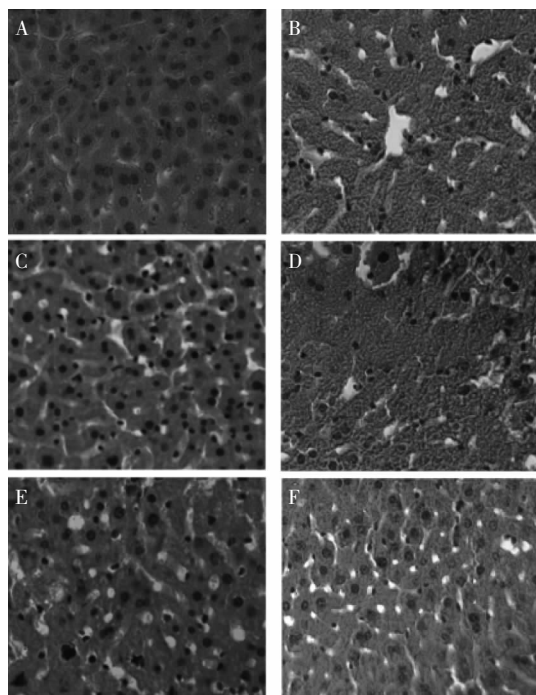


图1 小鼠肝组织病理学形态观察(HE×400)

Fig.1 Hepatic pathological observations of mice (HE×400)

注: A正常组, B模型组, C阳性组, D低剂量组, E中剂量组, F高剂量组。

定程度固缩(图1C)。椒样薄荷多酚低、中剂量组肝细胞表现出点状或片状坏死,部分细胞破裂,细胞核发生不同程度固缩(图1D~E)。椒样薄荷多酚高剂量组小鼠肝细胞排列整齐,结构完整,部分肝细胞胞浆疏松,有点状坏死,而无大片坏死,有少部分细胞核发生一定程度固缩(图1F)。

3 结论

3.1 椒样薄荷多酚中、高剂量组对 CCl_4 所致小鼠肝脏肿大现象保护作用显著,对脾脏肿大现象无显著保护作用。

3.2 高剂量椒样薄荷多酚能够抑制 CCl_4 所致肝损伤小鼠血清中AKP、ALT和AST酶活力升高,但抑制效果不如联苯双酯药物。小鼠肝脏病理组织切片观察结果表明,椒样薄荷多酚高剂量组小鼠肝细胞结构

完整,只有点状坏死,无大面积坏死,进一步说明高剂量椒样薄荷多酚对 CCl_4 所致小鼠肝损伤具有一定保护作用。

3.3 高剂量椒样薄荷多酚显著抑制 CCl_4 所致肝损伤小鼠血清中TC和TG含量的升高,其效果与联苯双酯药物相当。

3.4 高剂量椒样薄荷多酚显著抑制 CCl_4 所致小鼠肝脏中SOD和CAT两种抗氧化酶活力降低,且对于MDA含量的升高和T-AOC能力的降低也有显著的抑制作用,效果均与联苯双酯药物相当。

参考文献

- [1] Werber LW, Boll M, Stampfl A. Hepatotoxicity and mechanism of action of haloalkanes: carbon tetrachloride as a toxicological model[J]. *Critical Reviews in Toxicology*, 2001, 33(2): 105-132.
- [2] Malekinejad H, Alizadeh A, Cheraghi H, et al. The protective effect of liquorice plant extract on CCl_4 -induced hepatotoxicity in common carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Proceedings of the Veterinary Research Forum*, 2010, 1(3): 158-164.
- [3] Adzet T, Camarasa J, Laguna JC. Hepatoprotective activity of polyphenolic compounds from *Cynara scolymus* against CCl_4 toxicity in isolated rat hepatocytes [J]. *Journal of Natural Products*, 1987, 50(4): 612-617.
- [4] 凌关庭. 抗氧化食品与健康[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 342-343.
- [5] 杜蓉, 王晓洁, 阮新, 等. 富锗大麦苗对小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 371-373.
- [6] 史坤, 张泽生, 张氏, 等. 苹果多酚对四氯化碳致小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(3): 9-12.
- [7] 王忠壮, 万颀, 胡晋红, 等. 平肝胶囊及太白榭木对大鼠急性肝损伤的研究[J]. *中国药理学杂志*, 2002, 37(3): 186-188.
- [8] 昌友权, 杨世杰, 李红, 等. 肉豆蔻提取物对GaIN致大鼠急性肝损伤的保护作用[J]. *中国药理学通报*, 2004, 20(1): 118-119.
- [9] Zhang Y, Jia Y, Yang M, et al. The impaired disposition of probe drugs is due to both liver and kidney dysfunctions in CCl_4 -model rats [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2012, 33(3): 453-458.
- [10] 伍小燕, 唐爱存. 含羞草总黄酮对四氯化碳致小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. *实用临床医药杂志*, 2010, 14(19): 9-11.

(上接第353页)

[15] Bi Y, Tian S, Liu H, et al. Effect of temperature on chilling injury, decay and quality of Hami melon during storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 29(2): 229-232.

[16] Flores H E, Galston A W. Analysis in higher plants by high performance liquid chromatography [J]. *Journal of Plant Physiology*, 1982, 69(1): 701-705.

[17] 刘俊, 吉晓佳, 刘有良. 检测植物组织中多胺含量的高效液相色谱法[J]. *植物生理学通讯*, 2002, 38(6): 596-598.

[18] 罗自生, 席巧芳, 楼健. 热处理减轻柿果冷害与内源多胺的关系[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(4): 429-432.

[19] 季作梁, 洪汉君, 张昭其, 等. 多胺与芒果贮藏冷害的研究[J]. *热带作物学报*, 1998, 19(3): 28-32.

[20] Zhang X H, Shen L, Li F J, et al. Hot air treatment-induced arginine catabolism is associated with elevated polyamines and proline levels and alleviates chilling injury in postharvest tomato fruit [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(4): 3245-3251.

[21] Cao S F, Yang Z F, Zheng Y H. Effect of 1-methylcyclopene on senescence and quality maintenance of green bell pepper fruit during storage at 20 °C [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 70: 1-6.

[22] Jiang Y M, Chen F A. Study on polyamine change and browning of fruit during cold storage of lychee (*Litchi chinensis Sonn*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1995, 5(3): 245-250.