

DOI:10.11937/bfyy.201515007

高压静电场处理对番茄果实硬度变化的影响

赵瑞平, 孙丰梅, 白殿海, 何 扩

(河北北方学院 食品科学研究所, 河北 张家口 075000)

摘 要:以绿熟番茄果实为试材,贮藏前用 -200 kV/m 和 200 kV/m 的高压静电场处理 2 h ,在 $(13\pm 1)^{\circ}\text{C}$,湿度 $85\%\sim 90\%$ 试验冷库中贮藏 24 d ,定期测定果实的硬度、多聚半乳糖醛酸酶和羧甲基纤维素酶活性以及果肉原果胶和可溶性果胶含量的变化。结果表明:2种静电场(200 kV/m 或 -200 kV/m)对番茄果实预处理 2 h 可显著抑制果实羧甲基纤维素酶和多聚半乳糖醛酸酶活性,有效延缓果实原果胶水解,表明高压静电场预处理有利于保持番茄果实硬度。

关键词:番茄;高压静电场;采后生理;硬度

中图分类号:S 641.2;S 609⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)15-0032-05

自从1963年MURR^[1]发现模拟电场对鸡足草生长的影响,关于高压静电场生物效应的研究工作十分活跃。近年来,有关高压静电场处理对果品蔬菜采后品质的影响也有一些研究报道^[2-4],说明了高压静电场对果实采后品质的影响^[5-7]。李里特等^[8]于1996年等初步分析了高压静电场对果蔬的保鲜机理,认为外加电场能改变果蔬的生理代谢并影响其呼吸系统的电子传递体系,减缓果蔬的氧化还原反应;同时外加能量场使水与酶的结合状态发生变化而导致酶活性降低。随后的试验证实,高压静电场对果蔬的呼吸作用及乙烯释放具有抑制作用^[9-12],王颀等^[13]的研究认为高压静电场处理使呼吸链电子传递受阻从而抑制了果蔬的呼吸代谢。进一步研究认为高压静电场保持了番茄果实的抗氧化特性,抑制活性氧的产生,从而延缓了果实的衰老进程^[14]。但对高压静电场影响果实硬度变化的机制鲜见研究报道。该试验以番茄为材料,研究了番茄在高压静电场应激处理(-200 kV/m 和 $+200\text{ kV/m}$)后影响果实硬度变化的多聚半乳糖醛酸酶和羧甲基纤维素酶的活性,以及原果胶和可

溶性果胶含量的变化进行研究,以此来初步探讨高压静电场对果实硬度及保鲜的影响机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验装置 如图1所示,电场处理试验装置包括保鲜库、高压发生器、电场处理试验台等部分。高压静电试验台采用不同高度的标本缸和玻璃瓶作为放置不锈钢极板(规格为 $100\text{ cm}\times 80\text{ cm}$)支柱,电极板之间的距离由玻璃瓶高度调节,电场强度单位为 kV/m 。试验台置于试验保鲜库内,冷库内部温度、湿度可调。试验选用DW-N303-1AC型直流高压电源(输出为负直流高压)和DW-P303-1ACCCC型直流高压电源(输出为正直流高压),均购于天津东文高压电源厂。

1.1.2 供试材料 供试番茄品种“朝研299-1”于2014年6月21日采摘自张家口市郊区吉家房村温室。

1.2 试验方法

选择没有机械伤和病虫害的绿熟果实,采摘后立即运回试验冷库预冷并进行电场处理:即采用 200 kV/m 场强的正极输出的高压静电场和 -200 kV/m 负极输出的高压静电场预处理 2 h ,对照组不进行电场处理。每处理组120个番茄果实,所有试验番茄都放于相对湿度为 $85\%\sim 90\%$ 的试验冷库,贮藏温度为 13°C 。每次每处理取样10个果实,取果皮组织匀浆后,用液氮处理后贮藏于 -80°C 冰箱中,试验当天及贮藏过程中定期测定设定的生理生化指标。

第一作者简介:赵瑞平(1968-),男,博士,教授,现主要从事果蔬贮藏加工等科研与教学工作。E-mail:spzrp@126.com.

基金项目:河北北方学院创新人才资助项目(CXRC1308);河北北方学院博士基金资助项目(BSJJ1203)。

收稿日期:2015-02-05

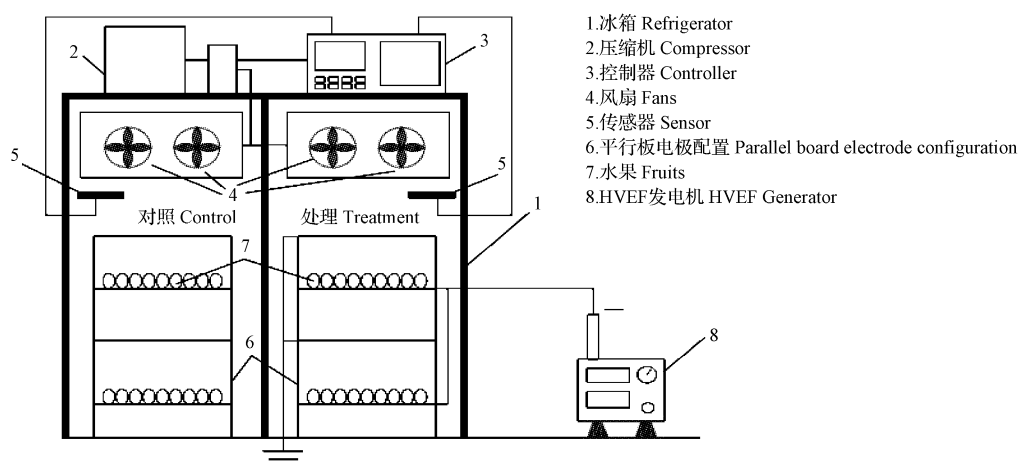


图1 电场装置示意图

Fig.1 Facilities of electric field

1.3 项目测定

入库前和贮藏期间定期测定果实羧甲基纤维素酶和多聚半乳糖醛酸酶活性,以及原果胶、可溶性果胶含量和果实硬度。

硬度的测定采用GY-1型圆盘式硬度计(探头直径1 cm)测定去表皮果肉硬度,5个番茄为一组,单果重复3次,取平均值(kg/cm²)。

可溶性果胶和总果胶测定参照韩雅珊^[15]的方法,称取均匀样品5 g,置于150 mL三角瓶中,加入50 mL 95%的乙醇,在沸水浴上加热30 min,除去糖分和其它物质(如此重复3次)。用滤纸过滤并弃去滤液,沉淀放入三角瓶中,加40 mL水,在水浴上加热至50℃并保持30 min,以溶解可溶性果胶。过滤并用少量水洗涤滤纸和沉淀,滤液移入50 mL容量瓶中并定容至刻度,此为可溶性果胶。过滤并洗涤后的沉淀放入三角瓶中,加0.5 mol/L硫酸100 mL,在沸水浴上加热1 h,以水解原果胶,冷却后移入100 mL容量瓶中定容,此为原果胶测定液。

吸取可溶性果胶和原果胶测定液各1 mL,加入到20 mL刻度试管中,然后沿管壁加入浓硫酸6 mL,混匀后水浴(100℃)加热20 min,然后冷却至室温后加入0.2 mL 0.15%呋唑溶液,摇匀后在暗处放置2 h,在530 nm波长处测定吸光度值,并计算相应的原果胶和可溶性果胶含量。

羧甲基纤维素酶(Cx-cellulase)和多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性测定参考ANDREWS等^[16]的测定方法:称取均匀果肉样品组织6 g,加20 mL NaAc缓冲液(pH 5.2,含100 mmol/L NaAc,5%PVP和2%巯基乙醇),低温匀浆后离心20 min(15 000 r/min,0~2℃),上清液用

于Cx-cellulase和PG的活性测定。

PG酶活性测定:取100 μL酶提取液,加1 mL 0.1%的多聚半乳糖醛酸,于37℃下反应2 h,再用3 mL Na₂B₄O₇缓冲液(10 mmol/L)终止反应,用100 μL 2-萘乙酰胺(1%)显色,然后煮沸5 min,冷却至室温后测定276 nm处吸光度值,以D-半乳糖醛酸做标准曲线,单位用U·g⁻¹FW·h⁻¹表示。

测定Cx-cellulase活性时:取100 μL酶提取液,用1 mL 0.25%的中等黏度的羧甲基纤维素做底物,37℃反应2 h,再用3 mL 10 mmol/L Na₂B₄O₇缓冲液(pH 9)终止反应,加100 μL 1% 2-萘乙酰胺显色后测定276 nm处吸光度值,以D-葡萄糖做标准曲线,单位用U·g⁻¹FW·h⁻¹表示。

1.4 数据分析

试验数据用Excel 2003进行统计分析并计算标准偏差,应用SPSS 16软件对数据进行方差分析($P < 0.05$ 表示差异显著),用Origin 7.5绘图。

2 结果与分析

2.1 高压静电场预处理对果实硬度的影响

由图2可以看出,贮藏过程中番茄果实硬度逐渐下降,贮藏至12 d时番茄果实硬度明显下降,对照组果实硬度从采收时的11.1 kg/cm²,下降到12 d和24 d时分别为6.2 kg/cm²和3.8 kg/cm²。与对照相比,2种高压静电场处理均可延缓果实硬度下降,维持番茄果实在贮藏过程中硬度($P < 0.05$)。果实硬度是衡量番茄果实成熟状况的重要指标之一,2种不同方向的高压静电场处理对番茄果实硬度下降都有较好的抑制作用,尤其贮藏中期,但2种高压静电场处理之间的效果未见显著差异。

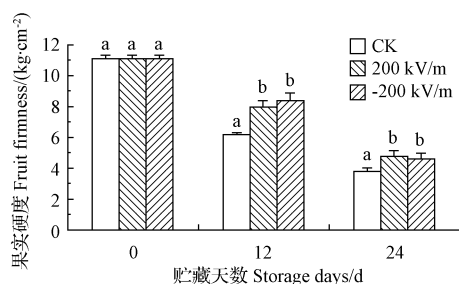


图2 贮藏过程中番茄果实硬度的变化

Fig. 2 Change of firmness of tomato fruit during storage

2.2 高压静电场处理对番茄果实可溶性果胶含量的影响

一般来说,果品蔬菜在成熟过程中,随着果实中可溶性果胶含量的增加,果实的硬度会逐渐下降,如图3所示,对照和处理的番茄果实成熟过程中可溶性果胶含量均呈逐渐上升的趋势。但是对照果实可溶性果胶是在贮藏至第8天开始升高的,而200 kV/m和-200 kV/m处理果实分别在第12天和第16天才开始上升。同时从第8天开始对照果实的可溶性果胶含量显著高于2个处理组。200 kV/m处理组果实的可溶性果胶在贮藏至第16天时显著高于-200 kV/m处理组,但是其余时间差异不明显。

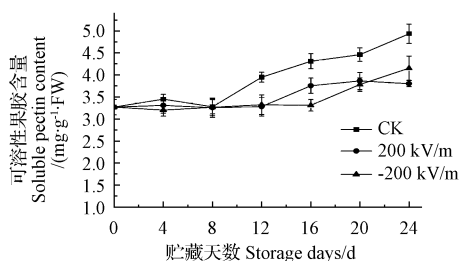


图3 高压静电场处理对果实可溶性果胶变化的影响

Fig. 3 Effect of high electric field treatment on soluble pectin content of tomato fruit

2.3 高压静电场处理对番茄果实原果胶含量的影响

果实成熟过程中原果胶逐渐水解为可溶性果胶,同时伴随着果实硬度的下降。如图4所示,在贮藏过程中果实原果胶含量均呈下降趋势,尽管贮藏前期变化不大,对照和处理之间也未见显著差异;但是从贮藏至第8天开始对照果实原果胶快速下降并且显著低于2个处理组,而2个处理组果实原果胶是在第12天表现为明显下降的,而处理组之间差异不显著。

2.4 高压静电场处理对番茄果实多聚半乳糖醛酸酶活性的影响

果实多聚半乳糖醛酸酶活性在贮藏过程中的变化

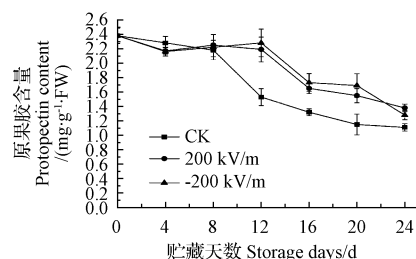


图4 贮藏过程中番茄果实原果胶含量变化

Fig. 4 Change of protopectin content of tomato fruit during storage

见图5,采收时其活性较高,贮藏后迅速下降,然后逐渐升高后处于平缓下降趋势,但也维持在较高水平,处理和对照的表现趋势是一样的,可能是由于该试验中采收时果实温度较高的原因。研究结果表明,对照组果实多聚半乳糖醛酸酶活性在贮藏过程中显著高于2个处理组;贮藏第4天时-200 kV/m处理组果实多聚半乳糖醛酸酶活性高于200 kV/m的正极输出的高压静电场处理组,而贮藏后期则显著低于正极输出的电场处理组。

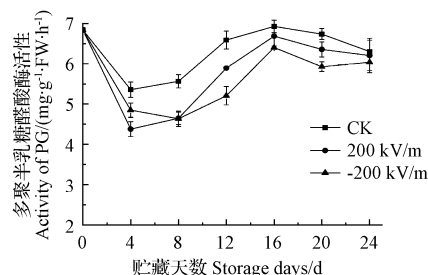


图5 贮藏过程中果实多聚半乳糖醛酸酶活性的变化

Fig. 5 Change of PG activity of tomato fruit during storage

2.5 高压静电场处理对番茄果实羧甲基纤维素酶活性的影响

图6为果实羧甲基纤维素酶活性在贮藏过程中的变化,采收时其活性较高,贮藏后迅速下降,然后逐渐升高后处于平缓下降趋势,但也维持在较高水平,处理和对照的表现趋势是一样的,这和多聚半乳糖醛酸酶活性的变化趋势是一样的。研究结果表明,对照组果实的羧甲基纤维素酶活性在贮藏前期显著高于2个处理组,而贮藏后期则低于2个处理组果实;整体上看在整个贮藏期内,200 kV/m的正极输出的高压静电场处理组果实的羧甲基纤维素酶活性高于-200 kV/m的负极输出的高压静电场处理组。

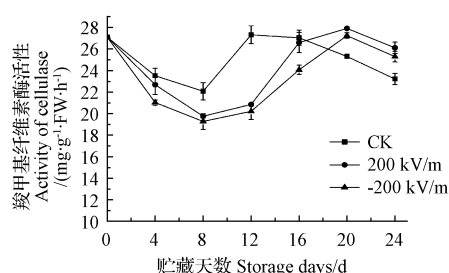


图6 贮藏过程中番茄果实羧甲基纤维素酶活性的变化

Fig. 6 Change of cellulase activity of tomato fruit during storage

3 结论与讨论

高压静电场预处理显著降低了番茄果实 PG 的活性,这与果实原果胶和可溶性果胶的变化规律是一致的,试验中处理组的原果胶含量高于对照,而可溶性果胶含量则低于对照,而且纤维素酶的活性高峰也比对照推迟出现,说明高压静电场应激处理能够延缓果实软化的进程,保持果实硬度和鲜度。多聚半乳糖醛酸酶和纤维素酶在番茄果实成熟中起着重要作用^[17],PG 在细胞壁结构的改变中起重要作用,PG 是果实软化的主要酶类可以催化果胶分子水解,生成半乳糖醛酸,使果实软化。而纤维素酶具有催化分解纤维素、木葡聚糖等分子的作用,研究表明纤维素酶对草莓和肥城桃果实成熟衰老的调控机理起主要作用^[18],而芒果中纤维素酶活性与果实硬度呈显著负相关^[19]。

番茄果实进入成熟期后细胞壁发生明显变化:在果实后熟初期细胞壁比较致密,随着细胞壁逐渐解体,壁间产生空隙导致果肉变软。果实成熟过程中,细胞壁的解体与细胞壁分解酶活性有关,没有成熟的果实中胶层中含有不溶态的原果胶,因而细胞结构完整、果肉质地坚硬^[20],随着果实成熟,PG 加速了番茄果实的果胶水解,使细胞间的凝聚力丧失,导致组织松软^[21]。同时细胞壁纤维素也在纤维素酶的作用下分解,最终细胞壁组分降解、细胞壁结构被破坏,引起果肉组织软化、硬度下降^[22]。

参考文献

[1] MURR L E. Plant growth response in a simulated electric field-environment [J]. Nature, 1963, 200: 490.
 [2] NISHIYAMA Y, ATUNGULU G. Use of an electric field to extend shelf life of apples [J]. Biosystems Eng, 2003, 85(1): 41-49.
 [3] HASHINAGA G P, KHAREL F. Effect of high electric field on some fruits and vegetables [J]. Journal of the Japanese Society for Cold Preservation of Food, 1996, 22(1): 17-22.

[4] 王愈, 王宝刚, 李里特. 不同电场处理方式对绿熟番茄贮藏效果的影响 [J]. 食品科学, 2010, 31(20): 343-438.
 [5] WANG Y, WANG B, LI L. Keeping quality of tomato fruit by high electrostatic field pretreatment during storage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(3): 464-470.
 [6] HASHINAGA F, ISOBE S, BAJGAI T R. Application of high field on the shelf-life extension of emblic fruit (*Phyllanthus emblica* L.) [J]. J Food Eng, 2006, 74(2): 308-313.
 [7] RAJKUMAR P, ORSAT V, PALANIMUTHU V. Improving cranberry shelf-life using high voltage electric field treatment [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(2): 365-371.
 [8] 李里特, 方胜. 对静电场下果蔬保鲜机理的初步分析 [J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(2): 62-65.
 [9] 王颖, 李里特, 丹阳, 等. 高压静电场处理对鸭梨采后生理的影响 [J]. 园艺学报, 2003, 30(6): 722-724.
 [10] ATUNGULU G, NISHIYAMA Y, KOIDE S. Respiration and climacteric patterns of apples treated with continuous and intermittent direct current electric field [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63(1): 1-8.
 [11] 王愈, 王宝刚, 李里特. 静电场处理对贮藏番茄品质及生理变化的影响 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 288-292.
 [12] 赵瑞平, 范三红, 刘福虎, 等. 高压静电场处理对香蕉果实成熟生理的影响 [J]. 食品科学, 2011, 32(20): 274-278.
 [13] 王颖, 李里特, 丹阳, 等. 高压静电场处理对果实呼吸作用的影响机理研究 [J]. 食品工业科技, 2003, 24(12): 81-84.
 [14] ZHAO R P, HAO J X, XUE J, et al. Effect of high voltage electrostatic field pretreatment on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(9): 1680-1686.
 [15] 韩雅珊. 食品化学实验指导 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992.
 [16] ANDREWS P K, LI S L. Cell-wall hydrolytic enzyme-activity during development of nonclimacteric sweet cherry (*Prunus avium* L.) fruit [J]. Journal of Horticultural Science, 1995, 70(4): 561-567.
 [17] BARKA E A, KALANTARI S, MAKHLOUF J, et al. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(3): 667-671.
 [18] 茅林春, 张上隆. 果胶酶和纤维素酶在桃果实成熟和贮藏中的作用 [J]. 园艺学报, 2001, 28(2): 107-111.
 [19] 石海燕, 冯双庆. 气调贮藏对‘紫花’芒果 PG、纤维素酶及果实硬度的影响 [J]. 园艺学报, 1997, 24(4): 96-98.
 [20] SUTTLE J C, KENDE H. Ethylene action and loss of membrane integrity during petal senescence in tradescantia [J]. Plant Physiology, 1980, 65(6): 1067-1072.
 [21] BLACKBOURN H D, JEGGER M J, JOHN P, et al. Inhibition of de-greening in the peel of bananas ripened at tropical temperatures. 3. changes in plastid ultrastructure and chlorophyll-protein complexes accompanying ripening in bananas and plantains [J]. Annals of Applied Biology, 1990, 117(1): 147-161.
 [22] CHIPLIN G R. Differential softening and physicochemical changes in the mesocarp of ripening mango fruit [J]. Acta Hort, 1990, 269(2): 233-239.

DOI:10.11937/bfyy.201515008

生长调节剂输液滴干对核桃采收及综合效应的影响

田自武¹, 刘贵巧¹, 刘子英¹, 杨青芹¹, 赵风平¹, 张鹤华², 薛进军^{1,2}

(1. 河北工程大学 农学院, 河北 邯郸 056021; 2. 广西大学 农学院, 广西 南宁 530005)

摘 要:以“辽核”为试材,使用不同浓度的乙烯利、萘乙酸混合液进行输液滴干,旨在找到使用调节剂促进核桃青皮开裂的最合适时期和浓度,以节省采收劳力,集中收果,同时不对树体造成损坏而影响第2年的果实产量。结果表明:收果前18 d输液滴干10 L的300 mg/L乙烯利+600 mg/L萘乙酸混合溶液,可使青皮开裂率达83%;在收果前6 d输液滴干10 L的500 mg/L乙烯利+1 000 mg/L萘乙酸混合溶液,可使青皮开裂率达78%,而且没有加重落叶,多项品质得到了一定提高。试验表明,调节剂输液滴干促进核桃采收可以在生产上推广应用。

关键词:核桃;输液滴干;调节剂

中图分类号:S 664.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2015)15-0036-04

目前核桃收果方式普遍是用棍棒打落,这样不仅伤害了树体,而且采收难度较大,需要耗费大量的人力。常常因为人力不足,不能及时采收果实,或者采收后进行堆积腐烂,使得核桃产量和品质大大降低。国内外在利用调节剂采收核桃方面都进行了一些研究。KHIR等^[1]表明,在核桃采收2周前用乙烯利处理可以加速成熟。汪咸吉等^[2]用 30×10^6 mg/L乙烯

利注射山核桃树体,在山核桃果实接近成熟时施药,果实催落率可达90%,为对照组10%~15%的6~9倍。由于注射操作比较费工,在生产上推广存在一定难度。课题组通过反复试验,利用薛进军等^[3]输液技术,将调节剂输入树体,促进了核桃果实青皮的开裂、采收,而且极为省工。该试验旨在找到使用调节剂促进核桃青皮开裂的最合适时期和浓度,以期为输液滴干技术在促进核桃采收中的应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试核桃品种“辽核”于2007年定植,株行距4.0 m×5.0 m。

第一作者简介:田自武(1968-),男,本科,副教授,现主要从事园林植物与设计研究等工作。E-mail:hdtzw@qq.com.

责任作者:薛进军(1956-),男,博士,教授,现主要从事果树栽培及生理研究等工作。E-mail:xuejinjun@163.com.

基金项目:河北省科技计划资助项目(13226814D)。

收稿日期:2015-03-16

Effect of High Voltage Electrostatic Field Treatment on Physiology Properties of Firmness in Stored Green Mature Tomatoes

ZHAO Ruiping, SUN Fengmei, BAI Dianhai, HE Kuo

(Food Science Institute, Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000)

Abstract: Taking green mature tomatoes as test materials, and were exposed to HVEF (-200 kV/m and 200 kV/m) for 2 hours, after that stored for 24 days at $(13 \pm 1)^\circ\text{C}$, 85%–90% RH. The activity of carboxymethylcellulase and polygalacturonase and the protopectin content and soluble pectin content of tomato fruit during storage were investigated. The results showed that HVEF pre-treatment could significantly inhibit the activity of polygalacturonase and carboxymethylcellulase, delay the decline in protopectin content and increase the soluble pectin content of tomato fruit during storage, consequently 200 kV/m and -200 kV/m HVEF treatments could delay the decline in firmness, which explained the firmness-keeping mechanism of HVEF.

Keywords: tomato; high voltage electrostatic field (HVEF); storage physiology; firmness