

静电场结合自发气调包装对马铃薯贮藏期间的保鲜效果

张敏欢, 王莉梅, 王治洲, 董同力嘎*

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要: 以延长马铃薯的货架期并保持其品质为目的, 选用阻隔性材料聚乳酸 (polylactic acid, PLLA) 薄膜对采后新鲜马铃薯进行自发气调包装, 设置无包装的空白组为对照, 以低温冷藏为前提 (均设置4℃、85%相对湿度), 分别置于电场和无电场两组环境贮藏, 测定贮藏过程中气体组分、感官评分、质量损失率、 a^* 值、干物质质量分数、可溶性固形物质量分数、淀粉质量分数及VC含量。结果表明: 静电场可以显著抑制马铃薯表皮变绿及发芽; PLLA自发气调包装可形成一个相对高CO₂体积分数 (4.2%~8.0%) 和低O₂体积分数 (7.7%~12.3%) 的气体组分; 综合了静电场保鲜与自发气调包装的静电场-气调组保鲜效果最佳, 该组水分、感官品质保持最好, 各项营养成分损失较慢, 贮藏150 d仍具有食用价值。因此, 静电场和自发气调包装联合处理有利于马铃薯的保鲜贮藏。

关键词: 马铃薯; 静电场; 自发气调包装; 保鲜; 聚乳酸

Electrostatic Field Combined with Equilibrium Modified Atmosphere Packaging for the Preservation of Potatoes

ZHANG Minhuan, WANG Limei, WANG Zhizhou, DONG Tungalag*

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Electrostatic field treatment combined with equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) was studied as a potential method for extending the shelf-life of potatoes. Potatoes were packaged in EMAP using polylactic acid (PLLA) composite membrane whereas unpackaged potatoes served as the control. All potatoes were refrigerated at 4℃ and 85% relative humidity either with or without an electrostatic field. The sensory quality, gas composition, mass loss rate, a^* value, dry matter content, total soluble solids content, starch content and VC content were evaluated after 0 to 150 days of storage. Results indicated that electrostatic field could significantly protect potatoes against greenish skins ($P < 0.05$) and sprout. The gas composition of high CO₂ concentration (4.2%–8.0%) and low O₂ concentration (7.7%–12.3%) was formed by EMAP in PLLA membrane. Electrostatic field combined with EMAP revealed the best preservation. The potatoes could still be eaten at the end of the storage period of about 150 days; the sensory score was the highest, the mass loss rate was the lowest, and the nutrients were maintained better. Therefore, the combination of electrostatic field and modified atmosphere packaging are beneficial to the storage and preservation of potatoes.

Keywords: potatoes; electrostatic field; equilibrium modified atmosphere packaging; preservation; polylactic acid

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180429-390

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 09-0269-07

引文格式:

张敏欢, 王莉梅, 王治洲, 等. 静电场结合自发气调包装对马铃薯贮藏期间的保鲜效果[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 269-275. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180429-390. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Minhuan, WANG Limei, WANG Zhizhou, et al. Electrostatic field combined with equilibrium modified atmosphere packaging for the preservation of potatoes[J]. Food Science, 2019, 40(9): 269-275. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180429-390. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2018-04-29

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目 (2015MS0358); 内蒙古草原英才滚动支持项目 (2016)

第一作者简介: 张敏欢 (1992—) (ORCID: 0000-0002-1253-4195), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工与安全。

E-mail: zminhuan@163.com

*通信作者简介: 董同力嘎 (1972—) (ORCID: 0000-0002-7924-3675), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品包装与贮运。

E-mail: dongtlg@163.com

马铃薯营养丰富,素有“地下苹果”和“第二面包”的美称。在世界人口急剧增长的当今,粮食危机不容小觑,作为全球的重要主粮,马铃薯的贮藏保鲜在保障粮食安全和营养安全方面意义重大^[1]。然而,马铃薯的种植和收获有着明显的地域性和季节性,且采收后的马铃薯仍是鲜活的有机体,在其贮藏、运输、销售过程中仍会持续进行着一系列生理代谢活动,导致果蔬自身有机物的消耗,同时由于营养供应被切断,促使其成熟衰老进程加快,极易发生腐败变质^[2],如块茎腐烂、缩水、冻伤、霉变、发芽等,造成了严重的经济损失^[3]。对于马铃薯的采后保鲜,目前我国仍旧大量采用农民自家窖藏^[4]。低温可以有效降低酶活性,从而抑制块茎的呼吸作用,减缓新陈代谢,并有利于延长马铃薯休眠期,抑制病菌感染^[5-6]。适当提高保藏环境中的CO₂浓度并降低O₂浓度可以有效抑制果蔬的呼吸作用^[7-8]和微生物增长,延长马铃薯的休眠期,有利于贮藏^[9]。

自发气调包装是一种新型的气调保鲜技术,其优势是无需充入特定气体,只需选用具有一定气体阻隔性的薄膜封入空气制成密封包装即可,利用包装材料的气体选择透过性与果蔬呼吸速率之间的相互作用自行调节气体保藏环境^[10-12]。聚乳酸(poly(lactic acid), PLLA)薄膜是一种有较高阻隔性的完全可降解材料,原料为乳酸,PLLA薄膜无毒无刺激且生物相容性良好,具有作为生鲜类包装材料的巨大潜力^[10,13-15]。静电场保鲜技术是一种新兴的绿色冷加工技术,具有无热效应、能耗极小,对食品品质、营养风味基本无影响的优势,延缓食物氧化的同时能起到抑菌的作用,应用前景广阔^[16-18],静电场应用于果蔬保鲜发展于近20年,1998年,李里特等^[19]研究高压静电场对黄瓜和豇豆的保鲜,结果表明高压静电场能够抑制蔬菜的呼吸强度,抑制失水并延迟采后衰老,分析认为导致以上的主要原因是外加电场改变了果实的细胞膜电位。随后多位研究者进行了相关研究,丹阳^[20]研究了高压静电场对于番茄采后成熟及衰老过程的调控,发现电场处理能够推迟番茄呼吸高峰并降低乙烯释放量,抑制质量损失及果实颜色转化。蒋耀庭等^[21]研究了高压静电场对于鲜切青花菜的保鲜作用,结果发现高压静电场可明显杀灭鲜切青花菜表面的微生物,处理组保鲜效果优于对照组,由电晕放电产生的臭氧可缓解鲜切青花菜的组织代谢,对蛋白质、VC损失及呼吸强度有较好的控制作用。任何单一的保鲜方式所能达到的保鲜效果有限^[22],本实验选用静电场结合低温冷藏、PLLA自发气调包装对采后马铃薯进行保鲜,以期达到最佳的协同保鲜效果,以支持加快马铃薯贮藏技术的研究和开发,对推动和完善马铃薯主粮化战略、促进马铃薯的产业化发展给予借鉴和启示。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.) (冀张薯8号)购于呼和浩特市美通批发市场,种植于内蒙古呼和浩特市武川县。

PLLA薄膜(自制,厚40 μm,制备方法同文献[23])原料母粒购于Nature Works公司。其余化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

鲜度保持电场装置(功率为3.3 W,频率60 Hz,电场强度2.5 V/m,有效辐射范围8 m³) 电霸鲜(北京)商贸有限公司;UV-2450紫外分光光度计 日本岛津公司;6600顶空气体分析仪 英国Systech 公司;TD-45糖度计 浙江托普仪器有限公司;JA-5003B电子天平 上海精天电子仪器有限公司;101-3A恒温干燥箱 上海乐傲试验仪器有限公司;SC-300立式冷藏柜 青岛海尔特种电冰柜有限公司;CR-20色差计 日本Konica Minolta公司;SC-3610低速离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;DBF-900多功能薄膜封口机 温州市鼎力包装机械制造有限公司;85-2恒温水浴锅 郑州长城科工贸有限责任公司。

1.3 方法

1.3.1 样品的包装及贮藏

选取收获后的新鲜马铃薯,要求成熟度一致、大小均匀、无病虫害、无机械损伤、表皮无芽无霉变。首先进行预冷处理,于4℃冷鲜柜中放置2 h,然后取出分装。首先分别称取每个马铃薯的初始质量并记录,将马铃薯分为两部分,一部分采用PLLA薄膜进行自发气调包装,将每个马铃薯单独包装为一袋,充入空气直接封口,另一部分不加外包装作空白对照。将上述两部分马铃薯分别置于电场(将电源装置放置于立式冷鲜柜外侧,连接电源装置的放电板放置于冷鲜柜内部形成电场冷藏环境,冷鲜柜内均为有效辐射空间)和无电场(不连接电场装置的单独立式冷鲜柜)两组贮藏环境(为保持距离,将两个冷鲜柜放于不同房间),均设置温度4℃、相对湿度85%。将每个马铃薯样品进行编号,将电场结合PLLA薄膜的自发气调包装组的样品记名为电场-气调,电场环境下的空白包装组记为电场-CK,非电场环境下同理可记为非电场-气调和非电场-CK,以上4组每组准备50个样品。并于当日测试初始各项指标,随后分别于贮藏期第10、20、30、50、70、90、120、150天进行指标测定。每次测试时每组随机选取3个平行样,每个平行样重复2次。

1.3.2 包装内气体组分的测定

随机每组取3个自发气调包装的马铃薯样品,应用

顶空气体分析仪测试, 首先通过测试空气对仪器进行校准, 然后将仪器相配套的硅胶垫粘于被测包装袋表面(防止针孔处漏气), 将测试针头穿过硅胶垫进入到包装袋内部, 测定包装袋内 O_2 和 CO_2 的体积分数, 读取并记录数据。

1.3.3 感官评定

选取10名(5男5女)经过培训的食品专业学生依据表1对贮藏期间的马铃薯进行评分, 其中6分为具有销售价值的最低标准。

表1 马铃薯感官评分标准
Table 1 Criteria for sensory evaluation of potatoes

得分	外观、质地、气味	商业价值
8~10	新鲜、个体饱满、质地坚硬, 切开后色泽鲜黄; 无病菌斑、无褐变, 有土豆的正常清香	品质完好, 可出售
6~8	表皮轻微皱缩, 表皮无显著变绿, 稍变软; 切开后色泽较鲜黄, 清香味变淡	品质较好, 可出售
4~6	表皮较明显皱缩, 中度失水, 表皮变绿; 脆度、硬度下降; 切开后色泽变淡变白, 土豆的清香味不明显	出售受限
2~4	表皮开始发芽, 变绿显著; 局部出现病菌斑, 皱缩严重, 萎蔫、变软; 出现腐烂、酸味加重	失去食用价值
0~2	表皮多处发芽, 一半以上表皮面积变绿; 整体失水严重, 外形皱缩变软、萎蔫严重, 病菌斑及霉变明显; 无香味, 有腐败气味产生; 切面变白	完全不可食用

1.3.4 质量损失率的测定

质量损失率的测定采用称质量法, 通过精密电子天平对贮藏前后的质量进行测定, 具体计算见下式。

$$\text{质量损失率}/\% = \frac{\text{贮藏前质量}/\text{g} - \text{贮藏后质量}/\text{g}}{\text{贮藏前质量}/\text{g}} \times 100$$

1.3.5 色度 a^* 值的测定

采用色差计对马铃薯块茎表皮进行测定, 首先使用标准白板进行校准。每种贮藏方式每次随机选取3个平行样, 对其表皮进行10次不同位置的随机测试, 取平均值作为结果。

1.3.6 干物质质量分数的测定

采用常压干燥法测定。将马铃薯样品去皮、切碎, 称取2~5 g试样于恒质量的称量皿中, 精确至0.001 g。将称量皿放入提前升温至103℃的烘箱中, 皿盖倾斜置于称量皿上。2 h后取出于干燥器中冷却至室温(约30 min)后迅速称量, 然后重复干燥、称质量。至前后两次称量值相差不超过0.001 g视为恒质量, 记录数据。

1.3.7 可溶性固形物质量分数的测定

首先将手持糖度计用蒸馏水调零, 然后称取10 g样品于研钵中研碎, 用纱布过滤后吸取适量液体滴于糖度计棱镜面中央, 从一侧轻盖盖板以避免气泡产生, 将仪器进光圈对准光源, 使其刻度清晰可见, 读取视场中明暗分界线上的数值即为可溶性固形物(total soluble solid, TSS)质量分数。

1.3.8 淀粉质量分数的测定

采用碘-淀粉比色法, 参照文献[24]制作标准曲线并进行测定。

1.3.9 VC含量的测定

采用紫外分光光度法, 参照文献[25]制作标准曲线并进行测定。

1.4 数据处理

采用SPSS Statistics 17.0软件进行数据统计分析, 以Duncan's法分析差异显著性, $P < 0.05$ 表示差异显著。使用Origin 7.5软件绘图。

2 结果与分析

2.1 贮藏期间马铃薯气调包装组气体组分的变化

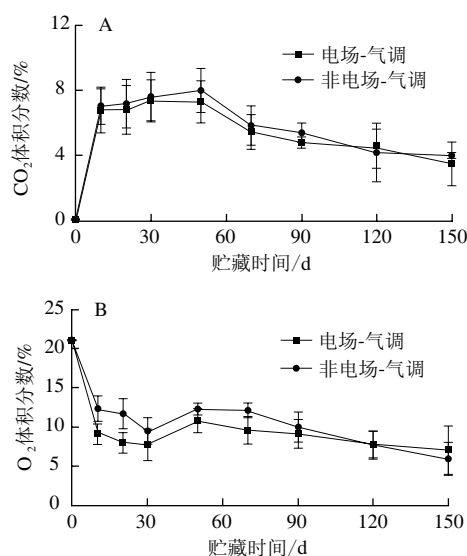


图1 马铃薯贮藏期间气调包装内 CO_2 (A) 和 O_2 (B) 体积分数的变化
Fig. 1 Changes of CO_2 (A) and O_2 (B) concentration in PLLA packages of potatoes during storage

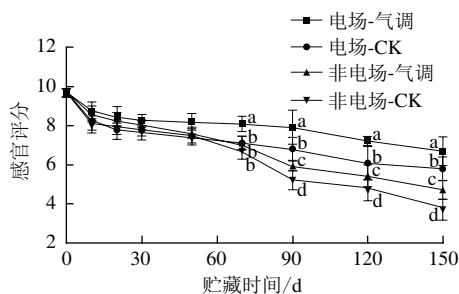
马铃薯的呼吸作用消耗 O_2 的同时产生 CO_2 , 利用气调包装的方式, 适当地提高保藏环境中 CO_2 浓度并降低 O_2 浓度可以有效抑制块茎的呼吸作用, 减缓新陈代谢速度, 延长马铃薯的休眠期, 延缓成熟过程, 同时抑制微生物的生长繁殖, 有利于贮藏^[9,26]; 但也要避免过高 CO_2 体积分数和过低的 O_2 体积分数(低于1.5%), 否则易使马铃薯的气味、口感变差, 并易产生内部变色、生理性病害等腐烂状况。由图1A可以看出, 无论是否施加电场处理, 两组气调包装的 CO_2 和 O_2 变化趋势相似, 包装内 CO_2 体积分数由初始的0.03%(充入空气中所含)逐渐升高, 然后较平稳地维持在4.2%~8.0%范围内, 后期平缓下降。

由图1B可知, O_2 体积分数由初始空气中的21%逐渐下降, 然后持续处于7.7%~12.3%的范围内波动, 贮藏90 d后, O_2 体积分数又开始下降, 这主要是由于此时马铃薯休眠期逐渐解除, 代谢恢复到较为旺盛的水平, 呼吸速率增大, 所以消耗掉了包装袋内较多的 O_2 。而相比非电场-气调组, 电场-气调组 O_2 体积分数的下降速度稍

平缓,这与两组马铃薯后期的生理状态有关,电场-气调组马铃薯块茎休眠期维持时间较长,发芽受到抑制,生理代谢较为缓慢;而非电场-气调组马铃薯在90 d左右休眠期结束,迅速萌芽,呼吸作用较电场-气调组更为活跃,因此 O_2 体积分数下降更为迅速。纵观所有果蔬类,马铃薯属于呼吸较弱的类型,本实验选用40 μm 厚度的PLLA薄膜做自发气调包装材料,达到了降低 O_2 体积分数和提高 CO_2 体积分数的效果,有利于马铃薯的贮藏保鲜。

2.2 不同处理组马铃薯贮藏期间感官评分的变化

马铃薯是一种休眠类蔬菜,进入休眠状态后块茎内营养物质的消耗和水分的蒸发将维持在最低的代谢水平,而当块茎一旦脱离休眠后,休眠器官内部的营养物质将被迅速分解转移,以支持芽的生长,而本身则萎缩干枯,品质急剧下降。通常马铃薯的休眠期持续2~4个月,休眠苏醒后如外界环境适宜则开始萌芽,此时,自然休眠期结束;但若外界环境条件不利于芽的萌发和生长,则可强迫其进入被迫休眠期,继续保持块茎较低的新陈代谢水平,以利于其长期保藏。感官品质是最直接反映食品品质的指标,同时关乎食品的商业价值。



同一处理时间、不同处理组之间小写字母
不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图2 铃薯贮藏期间感官评分的变化

Fig. 2 Changes in sensory evaluation of potatoes during storage

如图2所示,不同处理方式下马铃薯贮藏期间感官评分不同,但整体均呈下降趋势。贮藏0~30 d,各组感官评分差异不显著 ($P > 0.05$);贮藏70~150 d,电场-气调组感官评分显著优于同期其他3组 ($P < 0.05$)。贮藏50~90 d期间,马铃薯的感官品质发生了较大的变化,主要原因是马铃薯的生理休眠期逐渐结束,非电场环境下的两组马铃薯表皮出现部分变绿现象,芽眼处开始萌发。与此同时,电场环境下的马铃薯无此现象出现,随后直至保藏期结束,这种不同现象在两种保藏环境下愈发明显,贮藏后期,非电场环境下的马铃薯逐渐生芽,芽体伸长,表皮变绿的面积由局部小部分蔓延至表皮的绝大部分。而至贮藏期结束,静电场贮藏环境下的马铃薯仍没有出现表皮变绿的现象,且只有个别芽眼萌发生芽,芽体生长缓慢、短小。

由此可推断,静电场对于马铃薯保鲜具有较为明显的抑制表皮变绿和抑芽的效果。分析其可能原理,首先是外加电场能够改变果蔬细胞的跨膜电位,降低酶活性,降低氧化磷酸化水平,延缓细胞的新陈代谢,使果蔬呼吸强度降低,减缓果蔬采后的品质劣变速度;其次,果蔬内部生物电场影响呼吸系统电子传递,减缓了生物体内氧化还原反应,使果蔬呼吸作用减慢,减缓衰老。另外,电场能够电离空气产生离子雾和臭氧,臭氧能够影响细胞膜通透性和酶活性,抑制和杀灭微生物,同时会与果蔬释放的乙烯反应生成 CO_2 和 H_2O ,负离子能够抑制果蔬的新陈代谢,从而推迟后熟和衰老^[16,27-30]。因此静电场贮藏条件有利于延长马铃薯的休眠期,有利于马铃薯的长期贮藏保鲜。

2.3 不同处理组马铃薯贮藏期间质量损失率的变化

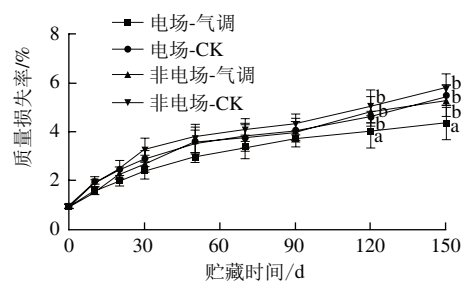


图3 马铃薯贮藏期间质量损失率的变化

Fig. 3 Changes in mass loss rate of potatoes during storage

新鲜马铃薯在贮藏过程中的质量损失主要为呼吸作用引起的有机物消耗以及蒸发作用引起的失水。由图3可以看出,马铃薯在贮藏过程中质量损失率逐渐升高,整体而言,气调组的质量损失小于非气调组,电场组小于非电场组,其中,电场-气调组质量损失率同一时间始终低于其他处理组。贮藏120 d开始,电场-气调组质量损失率显著小于同期其他3组 ($P < 0.05$), Liu Chi'en等^[31]发现高压静电场可以减缓柿子质量损失,丹阳等^[32]研究得出高压静电场处理能够有效抑制黄瓜的质量损失,与本实验结果相一致。另外相对于直接暴露于空气中的CK组,PLLA薄膜具有一定的水蒸气阻隔性,能够很好地抑制果蔬水分的散失。

静电场延缓质量损失的原因与共振原理有关,于冷鲜柜内安装电板,通过静电场产生特殊低频率(50~60 Hz)静电波,使其与食材中水分子产生共振,在电子同频共振环境下,水分子晶体变得细小均匀,使食物细胞内水分子保持活性。任何生命体的主要组成部分都为水,激活水分子相当于激活细胞。处于活跃状态下的水分子与细胞中蛋白质和植物纤维不容易分离,细胞可保持完整的活跃状态,达到抑制失水及有机物损耗的保鲜效果^[33]。

图3中尽管电场-CK组与非电场-气调组的数据较为接近, 但与非电场-CK相比, 其延缓马铃薯贮藏过程中质量损失的原因截然不同, 电场-CK主要是静电场的保水功能, 非电场-气调主要由于密封包装能抑制水分散失; 而非电场-CK组既无包装也无电场保鲜, 加之冷鲜柜内空气流速较大, 自身水分较易被携带散失, 质量损失率最大。贮藏的第150天时, 电场-气调组的质量损失率比电场-CK、非电场-气调、非电场-CK组分别低23.0%、21.1%、29.6%, 表明此贮藏方式起到了很好的抑制失水的效果。

2.4 不同处理组马铃薯贮藏期间色度 a^* 值的变化

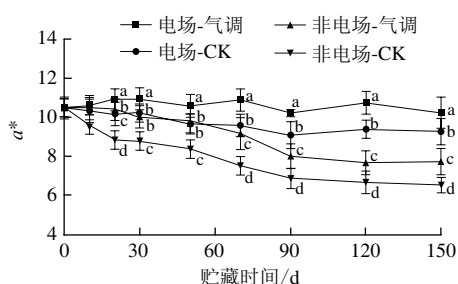


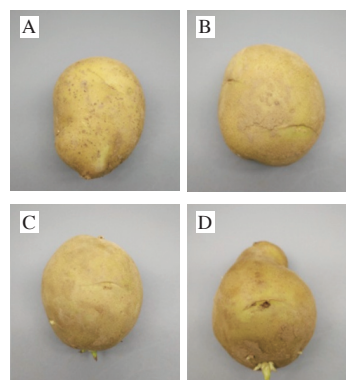
图4 马铃薯贮藏期间色度 a^* 值的变化

Fig. 4 Changes in a^* value of potatoes during storage

a^* 值是反映被测物体绿红程度的色度轴, 即 a^* 值越小, 物体的颜色越偏向绿色, 反之则越红。马铃薯在贮藏期间易出现表皮变绿的变质现象, 为此选用 a^* 值表征块茎表皮颜色变绿程度。由图4可以看出, 电场-气调组马铃薯在贮藏过程中 a^* 值无明显下降, 其余3组整体均呈现不同程度的下降趋势, 电场-CK组下降较为平缓, 而非电场环境下的两组 a^* 值相对下降较为迅速。贮藏前10 d, 不同贮藏方式下的4组马铃薯间 a^* 值差异不显著 ($P>0.05$), 20 d后, 不同处理下 a^* 值逐渐出现差异, 30~50 d时电场-CK与非电场-气调组 a^* 值差异不显著 ($P>0.05$), 其余组间差异显著 ($P<0.05$); 贮藏后期 (70~150 d) 时, 各组 a^* 值变化幅度较大, 无电场贮藏环境下的两组 a^* 值下降剧烈, 所有处理组之间均差异显著 ($P<0.05$)。这是由于刚刚收获的马铃薯不会立即发芽, 首先进入块茎成熟期, 随后逐渐进入休眠期, 贮藏70~90 d时, 马铃薯的自然休眠期结束, 块茎开始苏醒并萌芽, 表皮开始变绿, 但此时如外界环境不适宜芽的萌发和生长, 则可使其被迫休眠。本实验中, 静电场保鲜技术和气调包装均可以在一定程度上形成一个不利于马铃薯休眠苏醒的环境条件, 不利于马铃薯芽的萌发和生长。因此从贮藏第70天开始, a^* 值表现为: 相同包装条件下, 气调组大于非气调 (CK) 组, 电场组大于非电场组。

已有多位学者研究发现静电场保鲜技术对果蔬产品有保护色泽的功效^[34-36], 可能与静电板放电原理有关。处于地球上的绝大多数物质都是电中性的, 但如若受到某种刺激, 电子 (负电荷) 将会跳出或被灌输, 从而带正电或负电。对于每个分子, 缺乏电子的状态称为离子化, 过剩的状态称为负离子化。电场装置可以提供空间电子能, 起到氧化还原保鲜食物的良好效果, 有利于马铃薯原有色泽的保持。

结合图5可以直观地发现, 直到贮藏结束, 非电场组表皮已呈现大面积变绿, 而电场组表皮几乎无变绿现象发生, 且表皮仍保持着新鲜土豆所有的黄色; 因此也可证明静电场能很好地起到抑制马铃薯表皮变绿的效果。与未应用薄膜的马铃薯 (CK) 相比, 应用薄膜的气调包装条件下, a^* 值均有所保持, 表明气调包装能一定程度减缓表皮变绿。由于电场-CK组 a^* 值大于非电场-气调组, 可以初步判断, 仅就抑制表皮变绿效果而言, 静电场技术比气调包装效果更理想。静电场保鲜技术辅以气调包装的共同作用下, 电场-气调组表皮颜色保持最好, 在贮藏期内始终处于极小幅度波动的状态, 贮藏达到150 d时 a^* 值为9.32, 与贮藏初始 (9.56) 差异不显著 ($P>0.05$), 说明电场-气调起到了明显地抑制表皮变绿效果, 有利于马铃薯表皮色泽的保持。



A. 电场-气调; B. 电场-CK; C. 非电场-气调; D. 非电场-CK。

图5 贮藏第150天时各组马铃薯外观

Fig. 5 Visual appearance of potatoes on the 150th day

2.5 不同处理组马铃薯贮藏期间干物质质量分数的变化

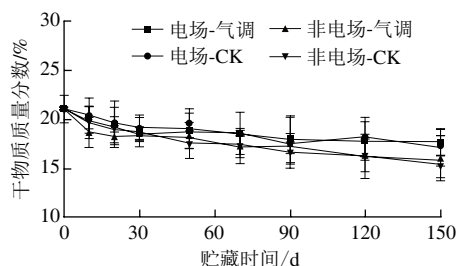


图6 马铃薯贮藏期间干物质质量分数的变化

Fig. 6 Changes in dry matter content of potatoes during storage

干物质质量分数是衡量马铃薯块茎有机物积累、营养成分多寡的重要指标之一。如图6所示,随着贮藏时间延长,各组干物质质量分数整体呈现下降趋势。贮藏初期(0~20 d),干物质质量分数下降较为迅速,20 d后下降较为平缓。这是由于马铃薯在采收后仍是有生命的机体,其首先进入休眠准备期,此时生理活动仍旧较为旺盛,在贮藏过程中不断进行着新陈代谢、呼吸、蒸腾等一系列生物化学反应,进而营养体积蓄的干物质会不断被消耗而减少;随后进入休眠期,此时呼吸作用和各项生理代谢活动微弱,因而干物质质量分数下降缓慢。90 d后非电场组相对于电场组干物质质量分数下降较为迅速,可能是静电场起到了延迟马铃薯休眠期结束的效果;而电场环境的两组马铃薯贮藏90 d左右休眠期结束,生理代谢速度恢复,营养物质从营养储蓄器官块茎转移向生长点,为芽的萌发做准备。直至贮藏结束,各组干物质质量分数下降幅度不同,电场-气调、电场-CK、非电场-气调及非电场-CK的干物质质量分数分别降低了15.9%、18.8%、24.6%和26.5%,但各组之间差异不显著($P>0.05$)。

2.6 不同处理组马铃薯贮藏期间TSS质量分数的变化

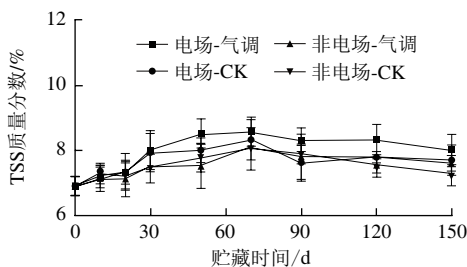


图7 马铃薯贮藏期间TSS质量分数的变化

Fig. 7 Changes in total soluble solids content of potatoes during storage

由图7可知,各组马铃薯贮藏期间TSS质量分数整体均呈先上升后下降的趋势。TSS是果蔬中所有溶解于水的化合物总和,包括糖、酸、维生素、矿物质等,其质量分数是衡量果蔬成熟度的指标之一。贮藏初期,由于马铃薯后熟期间淀粉不断水解转化成单糖和低聚糖,因而TSS质量分数有所上升,70 d后,马铃薯的休眠逐渐解除,尽管淀粉水解为还原糖的量增多,但由于代谢速率提高,呼吸作用消耗大量营养物质,因此TSS质量分数下降。

电场-气调组的TSS质量分数始终保持较高水平,贮藏后期的第120~150天,此阶段非电场组表皮出现明显变绿,芽体生长迅速,故而营养物质发生转移,从之前的储蓄器官块茎转移到了生长点,作为芽生长发育的物质支持,因此后期非电场组TSS质量分数低于电场组。

2.7 不同处理组马铃薯贮藏期间淀粉质量分数的变化

淀粉是马铃薯的主要贮藏物质,其质量分数是评价马铃薯贮藏品质的重要指标。由图8可以看出,各组马铃薯

贮藏期间的淀粉质量分数变化趋势基本一致,均呈先下降后稍有回升,然后持续下降的趋势。马铃薯在贮藏期间要经历3个阶段,即后熟期、休眠期和萌发期,贮藏过程中块茎的淀粉和糖类会不断进行着“低温糖化”的相互转化^[37]。

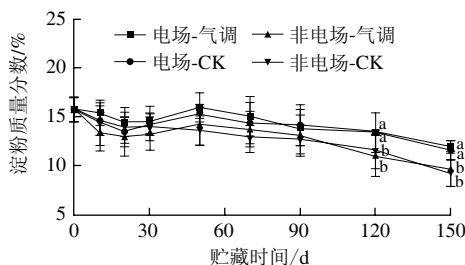


图8 马铃薯贮藏期间淀粉质量分数的变化

Fig. 8 Changes in starch content of potatoes during storage

贮藏初期,马铃薯刚刚收获,生理代谢较为旺盛,淀粉作为主要的营养物质被呼吸、蒸腾等生理作用所消耗,使各组淀粉质量分数下降;随后有所回升,这可能与块茎的后熟作用有关,块茎的还原糖部分转化为淀粉,且此时逐渐进入休眠期,生理代谢减缓,淀粉消耗变少;随后一阶段处于马铃薯的休眠期,此时生理代谢缓慢,营养物质消耗较少,淀粉质量分数下降较为平缓。90 d后,休眠期逐渐解除,生理代谢恢复,淀粉消耗加快,电场组下降较为平缓,而非电场组下降较为剧烈。结合感官评分、干物质质量分数等指标可以推测,静电场可能起到了延长休眠期的作用,在贮藏后期,马铃薯呼吸仍较为微弱、代谢较为缓慢,因而淀粉质量分数下降较为平缓。贮藏结束时,电场-气调、电场-CK、非电场-气调及非电场-CK组淀粉质量分数分别比初始下降23.8%、26.3%、39.0%和41.0%,电场条件下的两组与非电场条件下的两组组间差异显著($P<0.05$),而相同条件下的两组差异不显著($P>0.05$),表明电场保鲜方式对马铃薯的淀粉含量下降有抑制作用。

2.8 不同处理组马铃薯贮藏期间VC含量的变化

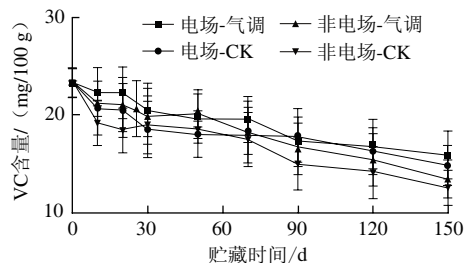


图9 马铃薯贮藏期间VC含量的变化

Fig. 9 Changes in VC content of potatoes during storage

马铃薯是VC含量较高的一种蔬菜,但VC性质不稳定,极易分解。由图9可知,各组的VC含量整体均呈下

降趋势,空白组贮藏环境氧气含量丰富,自发气调的包装组袋内封入的是空气,贮藏初期,氧气含量非常充足,因此VC含量会部分受到氧化而减少。随后,马铃薯进入到休眠期,此段时期各项生理代谢缓慢,营养物质消耗最少,因而表现为VC含量下降缓慢,贮藏70~90 d,各组VC含量下降趋势的差异开始变大,电场组仍保持缓慢下降,这可能是由于电场环境起到了延缓休眠期结束的作用,使得营养物质消耗维持较为缓慢的速度,有研究表示,静电场处理能够抑制果蔬VC含量的降低^[38]。贮藏过程中气调组VC含量整体较非气调组VC含量下降略缓,这与有报道发现适当提高二氧化碳浓度、降低氧气浓度可以抑制VC含量降低^[39]的结论一致。贮藏结束时,电场-气调、电场-CK、非电场-气调及非电场-CK的VC含量分别下降了32.1%、36.5%、42.6%和46.4%。

3 结 论

电场能明显抑制马铃薯表皮变绿和长芽,较好地保持马铃薯的各项营养成分及感官品质,延缓采后衰老,达到长期保鲜的作用效果。PLLA自发气调包装袋内形成了一个相对低O₂体积分数和高CO₂体积分数的气体贮藏环境,抑制了马铃薯的代谢速率,具有一定保持水分、减缓营养物质损失的效果。静电场结合PLLA自发气调包装贮藏下的马铃薯保鲜效果最好,可有效抑制表皮变绿,各项营养物质均损失较慢,贮藏期达150 d时仍具有食用价值。

参考文献:

- [1] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015(3): 1-7. DOI:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2015.03.001.
- [2] HUSSEIN Z, CALEB O J, OPARA U L. Perforation-mediated modified atmosphere packaging of fresh and minimally processed produce: a review[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2015, 6: 7-20. DOI:10.1016/j.foods.2015.08.003.
- [3] 尹江, 张希近, 籍立杰, 等. 如何实现我国的马铃薯安全贮藏与产品增值[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2009(11): 42-44. DOI:10.3969/j.issn.1673-5404.2009.11.018.
- [4] 周长艳. 不同贮藏条件下马铃薯生理特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010: 7-8.
- [5] 马修钰, 王建清, 王玉峰, 等. 果蔬保鲜方法概述[J]. 中国果菜, 2016, 36(6): 4-9. DOI:10.3969/j.issn.1008-1038.2016.06.002.
- [6] 张怀珠, 王立军, 彭涛. “黑美人”马铃薯采后生理及贮藏保鲜技术[J]. 农业科技通讯, 2012(3): 130-132. DOI:10.3969/j.issn.1000-6400.2012.03.050.
- [7] JIANG A L, TIAN S P, XU Y. Effects of controlled atmospheres with high-O₂ or high-CO₂ concentrations on postharvest physiology and storability of “Napoleon” sweet cherry[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 925-930.
- [8] 王羽. 适用于圣女果的自发气调保鲜膜制备及保鲜效果的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016: 4-5.
- [9] 高树成, 赵旭. 我国马铃薯储藏技术的研究与应用现状[J]. 粮食加工, 2018, 43(1): 78-80.
- [10] MISTRIOTIS A, BRIASSOULIS D, GIANNOULIS A, et al. Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 380-389. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.09.022.
- [11] CALEB O J, MAHAJAN P V, AL-SAID A J, et al. Modified atmosphere packaging technology of fresh and fresh-cut produce and the microbial consequences: a review[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(2): 303-329. DOI:10.1007/s11947-012-0932-4.
- [12] YUN X Y, WANG Y, LI M T, et al. Application of permselective poly(ϵ -caprolactone) film for equilibrium-modified atmosphere packaging of strawberry in cold storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41: 1-11. DOI:10.1111/jfpp.13247.
- [13] AHMED J, VARSHNEY S K. Polylactides: chemistry, properties and green packaging technology: a review[J]. International Journal of Food Properties, 2011, 14(1): 37-58. DOI:10.1080/10942910903125284.
- [14] 赵子龙, 王羽, 云雪艳, 等. 高阻隔性PLLA薄膜的制备及其对冷鲜肉保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2015, 40(11): 89-95. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2015.11.019.
- [15] DONG T, YU Z F, WU J X, et al. Thermal and barrier properties of stretched and annealed polylactide films[J]. Polymer Science, 2015, 57(6): 738-746. DOI:10.1134/S0965545X15060073.
- [16] 叶春苗. 高压静电场保鲜技术原理及应用现状研究[J]. 农业科技与装备, 2016(8): 58-59. DOI:10.16313/j.cnki.nykjzb.2016.08.022.
- [17] DASTGHEIB A M, BUNTAT Z, ZAFAR IQBAL S M. Effect of high voltage electric field (AC) on pineapple[J]. Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering), 2012, 58: 85-88.
- [18] 李路遥, 程朝辉, 刘长虹, 等. 鲜切水果品质控制研究进展[J]. 食品工业, 2016, 37(7): 252-255.
- [19] 李里特, 赵朝辉, 方胜. 高压静电场下黄瓜和豇豆的保鲜试验研究[J]. 中国农业大学学报, 1999(2): 107-110. DOI:10.3321/j.issn.1007-4333.1999.02.025.
- [20] 丹阳. 高压静电场对番茄采后成熟、衰老过程的调控及其机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 20-36. DOI:10.7666/d.y835107.
- [21] 蒋耀庭, 常秀莲, 李磊. 高压静电场处理对鲜切青花菜保鲜的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 299-302.
- [22] MA L, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables[J]. Trends in Food Science and Technology, 2017, 64: 23-38. DOI:10.1016/j.tifs.2017.03.005.
- [23] 宋树鑫, 梁敏, 王羽, 等. 聚乳酸/SiO₂薄膜的制备及对气体的透过性和选择性[J]. 高分子材料科学与工程, 2016, 32(11): 135-139. DOI:10.16865/j.cnki.1000-7555.2016.11.026.
- [24] 曹建康, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 80-82.
- [25] 马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素C的含量[J]. 化学与生物工程, 2012, 29(8): 92-94. DOI:10.3969/j.issn.1672-5425.2012.08.026.
- [26] TEIXEIRA G H A, DURIGAN J F. Effect of controlled atmospheres with low oxygen levels on extended storage of guava fruit (*Psidium guajava* L. ‘Pedro Sato’)[J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2010, 45(6): 918-924.
- [27] 蒋耀庭. 果蔬食品静电场保鲜机理研究[J]. 农产品加工(学刊), 2011(1): 65-67; 77. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.01.019.
- [28] KO W C, YANG S YA, CHANG C K, et al. Effects of adjustable parallel high voltage electrostatic field on the freshness of tilapia (*Oreochromis niloticus*) during refrigeration[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 151-157. DOI:10.1016/j.lwt.2015.10.019.
- [29] 王丽平, 李苑, 余海霞, 等. 高压电场对生鲜食品保鲜机理研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 278-283. DOI:10.7506/spkx.2017-03.044.
- [30] SKOG L J, CHU C L. Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2001, 81(4): 773-778. DOI:10.4141/P00-110.
- [31] LIU Chi'en, CHEN Wenjun, CHANG Chaokai, et al. Effect of a high voltage electrostatic field (HVEF) on the shelf life of persimmons (*Diospyros kaki*)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 75: 236-242. DOI:10.1016/j.lwt.2016.08.060.
- [32] 丹阳, 李里特, 张刚. 高压静电场对黄瓜采后品质及细胞膜透性的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(增刊1): 32-35. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2004.z1.007.
- [33] 王伟强, 董丹华, DENBA+静电波保鲜技术应用浅析[J]. 新疆农机化, 2017(2): 25-27. DOI:10.13620/j.cnki.issn1007-7782.2017.02.008.
- [34] 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, 2010, 88(3): 464-470. DOI:10.1002/jsfa.3108.
- [35] 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): 288-293. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.052.
- [36] PARNIAKOV O, LEBOVKA N I, BALS O, et al. Effect of electric field and osmotic pre-treatments on quality of apples after freezing-thawing[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 29: 23-30. DOI:10.1016/j.ifset.2015.03.011.
- [37] 陈华. NPK施用量对马铃薯产量及品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015: 6-7.
- [38] 王愈. 高压电场处理技术在果蔬贮藏与加工中的应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 102-160.
- [39] 雷桥, 陈琼. 气调包装对蘑菇采后品质特性的影响[J]. 保鲜与加工, 2005, 5(1): 23-25. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2005.01.009.