

# 低温低压静电场处理结合微孔 PE 膜包装对不同成熟度灵武长枣贮藏品质的影响

Effects of low temperature and low voltage electrostatic field treatment combined with microporous PE film packaging on storage quality of different maturity Lingwu long jujube

杨亚丽<sup>1,2</sup> 刘慧燕<sup>1,2</sup> 方海田<sup>1,2</sup>

YANG Ya-li<sup>1,2</sup> LIU Hui-yan<sup>1,2</sup> FANG Hai-tian<sup>1,2</sup>

张浩宇<sup>1,2</sup> 李金娜<sup>1,2</sup> 张光弟<sup>1,2,3</sup>

ZHANG Hao-yu<sup>1,2</sup> LI Jin-na<sup>1,2</sup> ZHANG Guang-di<sup>1,2,3</sup>

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏食品微生物应用技术与安全控制重点实验室, 宁夏 银川 750021; 3. 宁夏设施园艺(宁夏大学)技术创新中心, 宁夏 银川 750021)

(1. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Key Laboratory of Microbial Applied Technology and Safety Control, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 3. Ningxia Facilities Horticulture [Ningxia University] Technology Innovation Center, Yinchuan, Ningxia 75002, China)

**摘要:**以不同成熟度(半红期、2/3 红期和全红期)的灵武长枣为研究对象,采用低温低压静电场结合 PE 保鲜膜袋对其进行贮藏保鲜,分析不同成熟度的灵武长枣在贮藏期间抗坏血酸( $V_C$ )、总酸(TA)、可溶性固形物(TSS)、硬度和失重率等理化指标的变化,并进行感官评价。结果表明:全红期和半红期的灵武长枣保鲜期较短,软化、酒化速度快,营养成分损失快,而 2/3 红期的灵武长枣的保鲜效果最佳,果实水分损失最小;保持了较高的果实硬度和  $V_C$  含量;减缓了可溶性固形物和可滴定酸的损耗,保持较好的口感。说明在  $(0.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ , 200 mV 的低压静电场结合微孔 PE 保鲜膜袋的处理下,2/3 红期的灵武长枣的在贮藏 70 d 后,仍然保持了良好的食用品质。

**关键词:**灵武长枣;成熟度;低温;低压静电场;微孔 PE 膜;贮藏品质

**Abstract:** Lingwu long jujube with different maturity levels (semi-red period, 2/3 red period and full red period) as research material, the method of low temperature and low voltage electrostatic field combined with PE film bag was used to preserve the freshness of the jujube fruits. During the storage period, the changes of physical and chemical properties of Lingwu long jujube fruits such as ascorbic acid ( $V_C$ ), total acid (TA), soluble solids (TSS), hardness and weightlessness rate, and sensory evaluation were investigated. As results, Lingwu long jujube fruits in full red and half-red periods had a shorter fresh-keeping period, with a faster softening rate and a faster loss of nutrients, while Lingwu long jujube fruits in 2/3 red periods had the best preservation effect and fruit moisture minimal loss, which maintains high fruit hardness and  $V_C$  content, slows the loss of soluble solids and titratable acid and maintains a good taste. The results showed that the fresh-keeping effects of 2/3 red period Lingwu long jujube fruits were the best, and still kept good edible quality after 70 days storage under the treatment of low temperature  $(0.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  and low voltage electrostatic field (200 mV) combined microporous PE film bags.

**Keywords:** *Zizphus jujube* Mill cv. Lingwu long jujube; maturity; low temperature; low voltage electrostatic field; microporous pe film; storage quality

**基金项目:**宁夏回族自治区重点研发计划项目(编号:2017BY071);宁夏食品微生物应用技术与安全控制重点实验室平台建设项目(编号:2019BDC05009);中央引导地方科技发展专项(编号:2019YDDF0062)

**作者简介:**杨亚丽,女,宁夏大学在读硕士研究生。

**通信作者:**刘慧燕(1977—),女,宁夏大学副教授,硕士。

E-mail: liuhy@nxu.edu.cn

张光弟(1963—),男,宁夏大学教授,学士。

E-mail: zhangguangdi333909@sina.com

收稿日期:2020-03-11

灵武长枣是宁夏特色农业枣产业中地理标志的优质

鲜食枣之一<sup>[1]</sup>,采后易失水皱缩,鲜食期短<sup>[2]</sup>。低温是贮藏灵武长枣最常用的方法之一,但温度过低又会造成果实冷害。目前常采用辅助低温贮藏保鲜的方法,主要是自发气调保鲜与包装材料,但需要相关技术的配套使用才能达到理想的保鲜效果。低压静电场作为一种新兴的高新技术保鲜方法,期初多用于水产品 and 肉类保鲜,近年在果蔬保鲜方面得到了广泛的关注。周英杰等<sup>[3]</sup>研究发现,低压静电场协同低温有利于延长水蜜桃的保鲜贮藏期,能够延缓水蜜桃果实的腐烂变化;李海波等<sup>[4]</sup>研究发现,低压静电场技术协同低温有利于维持舟山杨梅果实的高品质,且在低温环境下大大延长了杨梅的货架期。但是,有关低温低压静电场对不同成熟度灵武长枣贮藏品质的影响鲜有报道。

适宜的采收成熟度亦与果实的耐贮性和贮藏后的商品价值密切相关<sup>[5-6]</sup>。常雪花等<sup>[7]</sup>研究表明,在(0±1)℃、90%~95% RH 的冷库贮藏期间,成熟度 2(白熟期果实)冬枣果实的失重率、呼吸速率、细胞膜渗透率低于成熟度 1(全青果)、3(全熟果)果实,并且腐烂率较低,硬度和可溶性固形物含量较高。孙蕾等<sup>[8]</sup>研究发现,以初红成熟度为冬枣贮藏的最佳采收成熟度。闫超等<sup>[9]</sup>综合比较了灰枣新品种“新郑红 3 号”在不断成熟阶段的各项理化指标和营养物质,发现半红期更加利于保存,可作为鲜枣最适采收时期。

试验拟主要以 3 种不同成熟度的灵武长枣为研究对象,分析贮藏期间低温低压静电场结合微孔 PE 保鲜处理对枣果的物性品质、理化指标及感官指标的影响,确定灵武长枣的最佳采收成熟度及采后果实生理品质的变化规律,提高灵武长枣的保鲜效果,延长灵武长枣的商业保鲜期,推动低温低压静电场技术在灵武长枣贮藏保鲜中的应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

灵武长枣:采自宁夏灵武市大泉林场,依据采收果实成熟度试验设计称取大小一致、无晒斑和病虫害的混样果实;

氢氧化钠:分析纯,新光化工试剂厂;

酚酞指示剂:天津市大茂化学试剂厂;

草酸、2,6-二氯酚靛酚:分析纯,天津市化学试剂一厂。

### 1.2 仪器与设备

硬度计:GY-2 型,德国 Gerhardt 公司;

手持式折光仪:ATC 型,深圳市鼎鑫宜实验设备有限公司;

实验室超纯水器:UPT 型,深圳市广川环保科技有限公司;

电子天平:FB224 型,北京佳源兴业科技有限公司;

DENBA+鲜度保持电场装置:125 mm×175 mm×100 mm,日本 AGUA 商事株式会社。

### 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 基于前期对低压静电场场强强度、温度和包装材料筛选的结果,采用低温[(0.0±0.5)℃]、低压静电场(200 mV)和包装材料(微孔 PE 保鲜膜袋)处理枣果实<sup>[10]</sup>。将枣果实按采收成熟度(半红期、2/3 红期、全红期)分为 3 组,具体标准见图 1。试验共设 3 个处理组,每个处理约(500±10) g/袋,重复 3 次,称好小心放入微孔 PE 保鲜膜袋,再将每个处理按处理类别轻轻放入塑料框,然后放入提前调试好的低温静电场保鲜库(RH 为 90%)贮藏。于采摘当天测初始值,每隔 15 d 取样测量既定指标,枣果腐烂率超过 45%终止试验。

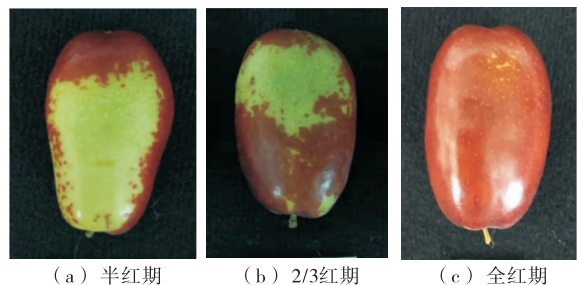


图 1 不同成熟度度的枣果

Figure 1 Jujube fruits with different maturity

### 1.3.2 测定指标及方法

(1) 硬度:根据文献<sup>[11]</sup>修改如下,按灵武长枣果实果肉外种皮(果肉)厚度,将探针用橡皮固定以进入果肉 3 mm 为标准,将插头插入枣果实轴对称的 3 个部位并记录数值,取平均值作为该处理的硬度。

(2) 失重率的计算:

$$R = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R——失重率,%;

$M_1$ ——枣果贮藏质量,g;

$M_2$ ——测量时枣果质量,g。

(3) 感官品质评价方法:结合张继明等<sup>[12]</sup>的方法并稍作修改,通过形态改变、颜色和气味的变化 3 个方面对枣果进行感官评价,满分 10 分。评测小组由 10 名专业人员组成,去掉最高分和最低分得到平均值即为最终得分,具体如表 1 所示,低于 5 分认为无商品价值。

(4) 抗坏血酸( $V_C$ )含量:采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法<sup>[13]</sup>。

(5) 总酸(TA)含量:采用酸碱滴定法<sup>[14]</sup>。

(6) 可溶性固形物(TSS)含量:将枣果切碎,取 30 g 用纱布包裹后放入压蒜器中压取滤液采用手持式折光仪

表 1 枣果感官分析评价标准  
Table 1 Sensory evaluation standard of jujube fruits

| 分值   | 颜色                     | 形态                      | 气味             | 综合    |
|------|------------------------|-------------------------|----------------|-------|
| 8~10 | 颜色鲜红有光泽                | 形似马牙                    | 有特有的风味         | 清脆爽口  |
| 6~8  | 色泽变暗,褐变面积 $\leq 15\%$  | 果皮稍有皱缩                  | 特有风味变淡         | 脆感消失  |
| 4~6  | 色泽暗淡,褐变面积 $\leq 35\%$  | 失水萎蔫                    | 稍有异味           | 商业拒绝点 |
| 2~4  | 颜色变为紫褐色,褐变面积 45%左右     | 果肉酒化软化,有霉点              | 稍有腐烂和酒化        | 食用拒绝点 |
| 0~2  | 紫褐色加深,褐变面积 $\geq 90\%$ | 少部分腐烂变质,可食率 $\leq 40\%$ | 风味和香气近消失,酒化味刺鼻 | 腐烂严重  |

测定可溶性固形物含量<sup>[15]</sup>。

1.4 数据分析

利用 Excel 2007 和 Origin 8.0 进行数据整理作图,用 SPSS 20.0 进行显著性统计分析( $P<0.05$  为差异显著,  $P>0.05$  为差异不显著)。

2 结果与分析

2.1 不同成熟度灵武长枣果实的硬度和失重率

如图 2(a)所示,随着贮藏时间的延长和枣果的成熟,枣果硬度整体呈现下降趋势,其中半红期枣果硬度下降速率最慢,而全熟期的枣果硬度下降较快。贮藏 30 d 时,各组之间枣果硬度下降幅度开始变缓,其中半红期的硬度下降最为缓慢;贮藏 75 d 时,半红期的硬度最高,其值为  $2.41\text{ kg/cm}^2$ ,而全红期的枣果实硬度最低;到贮藏末期(75 d)较贮藏初期分别下降了  $34.94\%$ ,  $43.36\%$ ,这是

因为枣果中的果胶酶随着贮藏时间的延长不断降解枣果实中的果胶,使得果实中的果胶减少,硬度不断降低<sup>[16]</sup>。说明在低温低压静电场条件下,半红期微孔 PE 膜处理贮藏可减缓灵武长枣硬度的下降,抑制果实的后熟软化,在贮藏期间保持较好的质地。

如图 2(b)所示,随着贮藏时间的延长,枣果的失重率逐渐增加,这是因为随着贮藏时间的延长,枣果实内部的呼吸作用和蒸腾作用同时加快,导致失水加快,失水率明显变化<sup>[17]</sup>。贮藏 45 d 时,全红期枣果的失重率与半红期差异显著( $P<0.05$ ),2/3 红期枣果的失重率与半红期失重率之间差异不显著;贮藏 75 d 时,半红期果实失重率最低,仅为  $4.21\%$ ,而全红期的失重率最高,大约是半红期处理的 5 倍。说明在低温静电场条件下,微孔 PE 保鲜包装 2/3 红期枣果能明显降低失重率,保持灵武长枣鲜食品质。

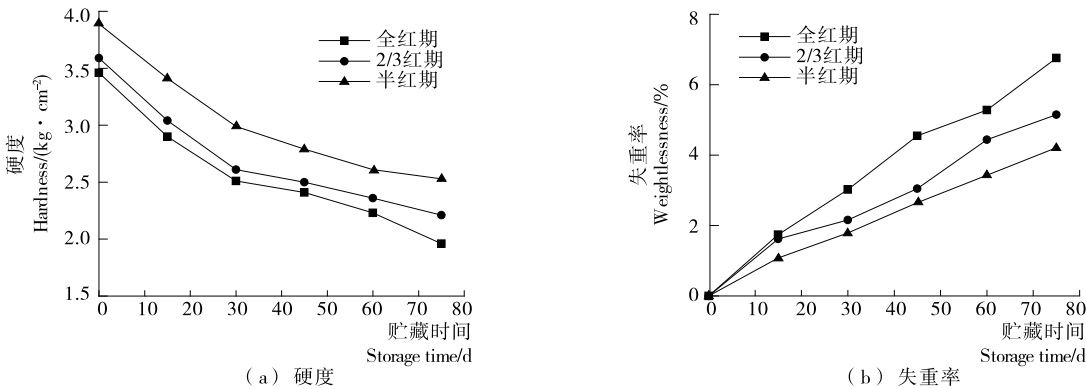


图 2 贮藏期间枣果硬度和失重率的变化

Figure 2 The effect of different maturity levels on the fruit hardness and weight loss rate of jujubes with different maturity levels

2.2 不同成熟度灵武长枣果实的感官品质

由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,枣果实的感官评价呈直线下降的趋势,其中全红期的枣果实感官评价下降速度最快。贮藏前 30 d,全红期处理感官评价高于其他两个成熟度组;贮藏 35 d 时,各处理感官评分,全红期 $>2/3$ 红期 $>$ 半红期;贮藏 45 d 时,各处理感官评分,

$2/3$ 红期 $>$ 全红期 $>$ 半红期。这是因为在整个贮藏过程中,随着贮藏时间的延长,枣果实的后熟和呼吸强度、蒸腾作用的加强,使枣果实中的含水量降低,总酸的降解和可溶性固形物的分解,造成枣果实的风味和口感降低。贮藏 70 d 时各组枣果均达到商业拒绝点,但是仍然可食用,贮藏 75 d 时达到食用拒绝点。

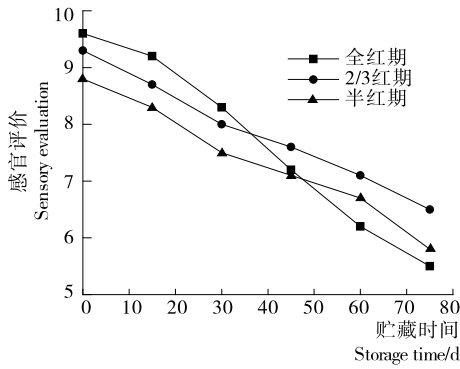


图3 贮藏期间枣果感官品质的变化

Figure 3 The effect of different maturity on the sensory evaluation of jujube fruit

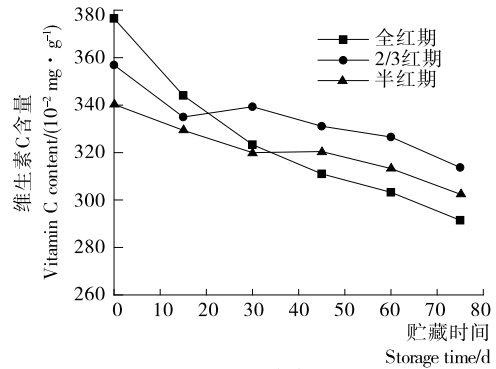
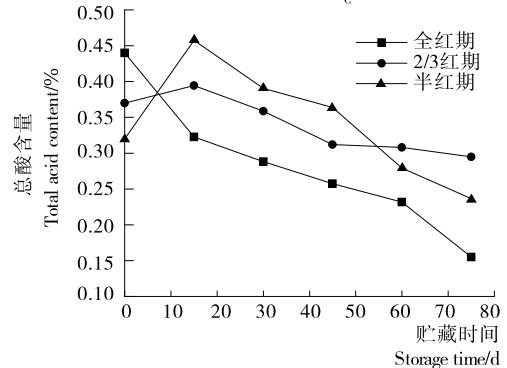
### 2.3 不同成熟度灵武长枣果实的 $V_C$ 和 TA 含量

由图4(a)可知,随着贮藏时间的延长,全红期枣果实的  $V_C$  含量呈直线下降的趋势,而半红期和 2/3 红期的枣果实  $V_C$  含量呈先下降后上升再下降的趋势。贮藏 30 d 时,2/3 红期的  $V_C$  含量显著( $P<0.05$ )高于其他两个成熟度组;贮藏 35 d 后,2/3 红期的  $V_C$  含量均高于半红期和全红期;贮藏 75 d 时,全红期、2/3 红期和半红期的  $V_C$  含量与贮藏初期相比,分别下降了 22.58%, 11.10%, 14.35%, 2/3 红期的枣果  $V_C$  含量下降最慢。表明不同成熟度对灵武长枣的  $V_C$  含量有显著影响,在低温低压静电场条件下,2/3 红期微孔 PE 膜处理下能延缓  $V_C$  含量的下降,提高果实活性氧清除能力和营养价值,延缓果实衰老,保持枣果实较高的营养品质。

由图4(b)可知,随着贮藏时间的延长,半红期和 2/3 红期的枣果 TA 含量呈先上升后下降的趋势,且 2/3 红期的枣果 TA 含量达到最高值后下降的速率最慢,而全红期的枣果实 TA 含量呈直线下降的趋势。贮藏 15 d 时,半红期和 2/3 红期的枣果 TA 含量达到最高,且处理组半红期与全红期处理差异显著( $P<0.05$ ),随后逐渐降低;贮藏 75 d 时,各处理组枣果实的 TA 含量分别为 2/3 红期>半红期>全红期,这是因为随着贮藏时间的延长,果实逐渐衰老,呼吸作用加强,TA 作为有机质被消耗而使 TA 含量降低。说明在低温低压静电场条件下,微孔 PE 膜包装 2/3 红期的枣果实的呼吸作用被有效抑制,延缓了果实的衰老,维持较好的口感。

### 2.4 不同成熟度灵武长枣果实的 TSS 含量

由图5可知,随着贮藏时间的延长,半红期和全红期的枣果 TSS 含量呈不断下降趋势,而 2/3 红期的枣果呈先上升后降低的趋势。贮藏 15 d 时,2/3 红期 TSS 含量达到了最高值,其值为 12.8%;贮藏 30 d,全红期枣果实的 TSS 含量显著( $P<0.05$ )高于其他两个成熟度组;贮藏 75 d 后,处理组 2/3 枣果实的 TSS 含量明显高于其他两

(a)  $V_C$ 

(b) 总酸

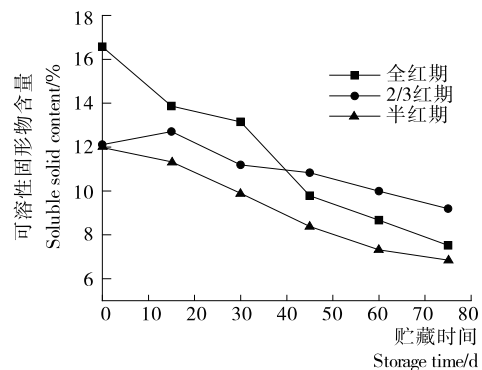
图4 贮藏期间枣果  $V_C$  和 TA 含量的变化Figure 4 Effects of different maturity levels on  $V_C$  and TA content of jujube fruits

图5 贮藏期间枣果 TSS 含量的变化

Figure 5 Effects of two treatments on TSS content and sensory evaluation of jujube fruits

个成熟度组,且下降最为缓慢,与 2/3 红期处理组相比,全红期处理下降了 28.4%。TSS 含量可以反映果实成熟度,在整个贮藏期间,随着贮藏时间的延长,2/3 红期处理的枣果 TSS 含量下降最为缓慢。说明在低温静电场条件下,2/3 红期微孔 PE 膜处理贮藏可以抑制 TSS 的降低,抑制贮藏期间大分子物质的降解和组织的衰老。

## 3 结论

以灵武长枣为试验材料,研究在低温低压静电场结

合微孔 PE 保鲜膜条件下,成熟度对灵武长枣贮藏品质的影响。在低温低压静电场条件下,微孔 PE 保鲜膜袋包装半红期的枣果实硬度在整个贮藏过程中明显高于全红期 ( $P<0.05$ ),贮藏 60 d 时,2/3 红期处理组抗坏血酸含量比全红期处理组高 10.45%,2/3 红期处理组可溶性固形物含量比半红期处理组高 28.05%。与贮藏初期相比,2/3 红期处理组的总酸降幅为 20%,半红期处理组的失重率仅为 3.43%。整个贮藏过程中,全红期的枣果实失重率和硬度下降最为迅速,贮藏保鲜品质最差,半红期的枣果由于发育不良,虽然枣果硬度和失重率下降最为缓慢,也能很好地维持总酸含量的下降,延长贮藏时间,但可溶性固形物、抗坏血酸含量和感官评价与 2/3 红期相比均较低,缺乏应有的风味,而 2/3 红期处理组的枣果实整个贮藏过程中保持良好的感官性状,贮藏 70 d 仍能保持良好的食用状态和贮藏品质,更有利于贮藏保鲜。下一步研究低压静电场技术和成熟度在其他水果保鲜方面的应用提供了广阔的市场应用前景。

### 参考文献

- [1] 贾昊,李玲,曹兵. 磁化水灌溉对设施灵武长枣生长与果实品质的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(11): 2 280-2 286.
- [2] ZHOU He-ying, JIA Ji-peng, KONG De-can, et al. Genome-wide identification and analysis of the DREB genes and their expression profiles under abiotic stresses in Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.)[J]. Journal of Forestry Research, 2019, 30(4): 1 277-1 287.
- [3] 周英杰,谢超,梁佳,等. 低压静电场协同低温对水蜜桃储藏保鲜过程中品质的影响[J]. 浙江海洋大学学报: 自然科学版, 2019, 38(5): 429-435.
- [4] 李海波,谢超,梁瑞萍,等. 基于低压静电场技术(LVEF)协

- 同低温对舟山杨梅保鲜过程中品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 265-270.
- [5] JING Yuang-yuang, MA Xuan, JIN Peng, et al. Effects of harvest maturity on chilling injury and storage quality of apricots[J]. Journal of Food Quality, 2018(1): 1-7.
- [6] 徐燕红,宋倩倩,胡斌,等. 采收成熟度对毛花猕猴桃华特果实采后品质和贮藏性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 521-531.
- [7] 常雪花,王振菊,陈振涛,等. 不同成熟度对冬枣采后贮藏品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(6): 890-895.
- [8] 孙蕾,王太明,刘元铅,等. 冬枣不同采收成熟度对贮藏品质的影响[J]. 经济林研究, 2004(2): 33-34.
- [9] 闫超,苏彩霞,刘晓红,等. 不同成熟度“新郑红 3 号”营养品质的研究[J]. 北方园艺, 2019(5): 65-69.
- [10] 李金娜. 温度结合低压静电场对灵武长枣贮藏保鲜效果的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019: 4-6.
- [11] 崔宽波,范新光,杨忠强,等. 近冰点贮藏对小白杏采后品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(3): 247-253.
- [12] 张继明,张新,李喜宏,等. 枣果简约冷链物流中蓄冷保温关键参数研究[J]. 食品工业, 2018(1): 132-135.
- [13] 张哲,张秋月,王怀文,等. 冰温贮藏对采后葡萄果实品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 156-159.
- [14] 韩昌烨,赵丽,曹兵,等. 喷施氮肥对灵武长枣营养生长和果实品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 106-112, 117.
- [15] 罗冬兰,林明俊,尤勇刚,等. 李子贮藏保鲜技术研究进展[J]. 南方农业, 2018, 12(34): 56-58.
- [16] 梁琪琪,张润光,刘皓涵,等. 低温结合薄膜包装对石榴果实采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 187-191.
- [17] 付云云,蒋成,闫小倩,等. 水杨酸处理对仔姜保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 157-162.

(上接第 115 页)

## 6 结论

(1) 试验设计的袋装码垛机依靠堆叠机构以同步传动的方式按照场合要求逐层堆叠码放袋装物料,这种传动方式由伺服电机驱动,通过模块化设计为袋装物料的码垛提供一种可以实现自动堆垛且能根据袋装物料形状的不同来合理调整摆放位置,能够满足码垛行业的实际生产要求,轻松实现码垛的各种垛型需求。

(2) 设计仍然有一些不足,例如整机设计的重量较大,对于产能小的企业仓库并不适用。但在机构设计方面考虑了其在自动立体仓库的实用性价值,以及码垛机的应用方法当中,依靠高位袋装自动堆垛的方法解决袋装物料分类码垛问题。

### 参考文献

- [1] 鄢腊梅. 工程图学在堆垛方式与堆垛强度研究中的应用[J]. 包装工程, 2000(5): 41-43.

- [2] 管小清,罗庆生. 码垛机器人交错式码放样式算法的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 83-86.
- [3] 关慧贞. 机械制造装备设计[M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2014: 5.
- [4] 戚昌滋. 机械现代化设计方法学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987: 138.
- [5] 孔祥. 电机与拖动[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2016: 269.
- [6] 欧云金. 同步带轮的设计与制造[J]. 机械设计与制造, 1988(6): 39-40.
- [7] 濮良贵,陈国立,吴立言. 机械设计[M]. 9 版. 北京: 高等教育出版社, 2013: 140.
- [8] 庄工. 同步带传动的设计计算和使用[J]. 机械制造, 1989(12): 9-12.
- [9] 江洪. SolidWorks 有限元分析实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 93.
- [10] 秦雪梅,李冬冬. 工程力学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013: 166.
- [11] 王伟,张秀梅. SolidWorks2016 工程应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2016: 330.