DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250908006
引用格式: 晏发斌, 刘慧燕, 杨和梅, 等. 马铃薯贮运管理与切片厚度和浸泡时间对薯片品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(3): 14–21.
YAN FB, LIU HY, YANG HM, *et al*. Effects of *Solanum tuberosum* L. storage and transportation management, slicing thickness and soaking time on the quality of potato chips [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(3): 14–21. (in Chinese with English abstract).

马铃薯贮运管理与切片厚度和浸泡时间对薯片品质的影响

晏发斌[1,2], 刘慧燕[1], 杨和梅[3], 李山云[4], 叶 彤[1], 吴 婷[1,5], 方海田[1*]

[1. 宁夏大学食品科学与工程学院, 银川 750021; 2. 日清食品(中国)投资有限公司, 上海 200235; 3. 南京农业大学工学院, 南京 210095; 4. 云南省农业科学院农业经济与信息研究所, 昆明 650205; 5. 平罗县农产品质量安全中心, 石嘴山 753499]

摘 要: 目的 探明马铃薯贮运管理(包装方式、贮藏温度、抑芽措施)、切片厚度及浸泡时间对薯片综合品质的影响机制, 并确定最优工艺参数组合。**方法** 通过设置不同的马铃薯装袋方式、贮藏温度、抑芽剂(氯苯胺灵)用量、硬度水平以及切片厚度和浸泡时间进行实验, 系统评估上述因素对马铃薯贮藏性状及最终薯片品质指标的影响。**结果** 采用吨包装袋、将贮藏温度控制在 9~11 ℃、并喷施 43 mL/t 的抑芽剂氯苯胺灵, 可有效延缓马铃薯发芽, 减少机械损伤与贮藏损耗。同时, 马铃薯在收获后 30 d 内硬度保持最佳, 在此阶段进行加工, 并控制切片厚度不低于 2.7 mm, 能获得色泽、酥脆度及含油率等指标俱佳的薯片产品。**结论** 该工艺参数组合能有效保障马铃薯贮运期间的品质, 并显著提升最终薯片的食用品质与安全性。对实际生产具有明确的指导意义, 有助于企业降低原料损耗, 并改善薯片产品质量。

关键词: 马铃薯; 供应链; 加工工艺; 薯片; 品质

Effects of *Solanum tuberosum* L. storage and transportation management, slicing thickness and soaking time on the quality of potato chips

YAN Fa-Bin[1,2], LIU Hui-Yan[1], YANG He-Mei[3], LI Shan-Yun[4], YE Tong[1], WU Ting[1,5], FANG Hai-Tian[1*]

[1. *College of Food Science and Engineering*, *Ningxia University*, *Yinchuan* 750021, *China*; 2. *Nissin Food* (*China*) *Investment Co*., *Ltd*., *Shanghai* 200235, *China*; 3. *College of Engineering*, *Nanjing Agricultural University*, *Nanjing* 210095, *China*; 4. *Institute of Agricultural Economics and Information*, *Yunnan Academy of Agricultural Sciences*, *Kunming* 650205, *China*; 5. *Pingluo County Agricultural Product Quality and Safety Center*, *Shizuishan* 753499, *China*]

ABSTRACT: Objective To identify the influence mechanisms of *Solanum tuberosum* L. storage and transportation

收稿日期: 2025-09-08
基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2024BBF02026); 宁夏回族自治区自然科学基金项目(2022AAC03020)
第一作者: 晏发斌(1983—), 男, 硕士, 高级农艺师, 主要研究方向为马铃薯供应链与品质管理。E-mail: 26996202@qq.com
***通信作者:** 方海田(1978—), 男, 教授, 主要研究方向为健康食品生物制造。E-mail: fanght@nxu.edu.cn

management (packaging method, storage temperature and sprout inhibition measures), slice thickness and soaking time on the comprehensive quality of potato chips, and determine the optimal combination of process parameters. **Methods** Experiments were conducted by varying *Solanum tuberosum* L. bagging methods, storage temperatures, sprout inhibitor (chlorobenzylamine) dosage, firmness levels, slice thickness and soaking time. These factors were systematically evaluated for their effects on *Solanum tuberosum* L. storage traits and final potato chip quality indicators. **Results** Experimental results indicated that using ton-sized packaging bags, maintaining storage temperatures between 9–11 ℃, and applying 43 mL/t of chloramphenicol as a sprout inhibitor effectively delayed *Solanum tuberosum* L. sprouting while reducing mechanical damage and storage losses. Additionally, *Solanum tuberosum* L. maintained optimal firmness within 30 days post-harvest. Processing during this period, combined with maintaining a slice thickness of no less than 2.7 mm, yielded potato chips with excellent color, crispness and oil absorption rates. **Conclusion** This combination of process parameters effectively safeguards *Solanum tuberosum* L. quality during storage and transportation while significantly enhancing the edible quality and safety of the final potato chips. It provides clear guidance for practical production, helps enterprises reduce raw material losses and improves potato chip product quality.

KEY WORDS: *Solanum tuberosum* L.; supply chain; processing technology; potato chips; quality

0　引　言

马铃薯供应链管理对于种植户、企业和消费者来说都至关重要。优化马铃薯供应链管理可以提高产量、保证产品质量和安全, 满足消费者的需求的同时也能提高种植户的收益。国外研究表明, 在整个马铃薯供应链中, 大约53%~55%的初始新鲜马铃薯产量和 41%~46%的初始加工马铃薯产量最终损失[1], 由于缺乏有效和高效的供应链管理实践, 印度每年大约有三分之一的水果和蔬菜被浪费[2]。我国马铃薯也存在 4 个方面的损耗: (1)收获环节, 马铃薯实物损耗率为 5.12%; (2)运输环节, 马铃薯实物损耗率为 1.68%; (3)储存环节, 马铃薯实物损耗率为 9.13%; (4)销售环节, 马铃薯实物损耗率为 1.74%, 4 个环节总损耗为17.67%[3]。在薯片加工环节, 鲜切马铃薯片的品质取决于马铃薯原料的质量和适宜的生产工艺。国外学者研究测定了与薯片和油炸介质相关的传热和介质参数, 以及薯片在175 ℃油炸过程中的理化指标变化[4]。国内原味薯片最佳工艺条件为: 烫漂温度 90 ℃, 烫漂时间 180 s; 切片厚度为 1.5 mm, 油炸温度为 200 ℃, 油炸时间 150 s[5]。从健康安全的角度出发, 低含油量和低丙烯酰胺含量的薯片才是健康的[6]。在马铃薯产业转型升级的背景下, 深入研究新兴技术对马铃薯最终产品品质的影响, 为不同的加工目标选择适合的加工工艺, 对于优化产品品质、提升产业价值具有重要的科学意义与实践价值[7]。

马铃薯供应链管理是一个复杂而重要的工作, 涉及多个环节。只有通过合理的农业生产、优质的加工技术、高效的物流和配送系统, 才能确保马铃薯原料的质量和安全, 生产出合格的产品。马铃薯原料的质量由机械伤程度、新鲜度、还原糖、失重、硬度等指标构成, 而生产工艺则应根据产品需求和原料状态来进行调整。本研究就鲜切马铃薯片生产相关的原料问题和工艺问题, 从收获后装袋运输方式、贮藏条件、生产工艺等方面进行研究。以期在供应链和工艺的协同作用中来寻找最佳的方案, 来阐释供应链管理和生产工艺微调对优质薯片生产的重要性。

1　材料与方法

1.1　材料、试剂与仪器

1.1.1　实验材料

原料采购自供应商订单种植的大西洋马铃薯, 种植基地位于黑龙江省齐齐哈尔市。马铃薯收获后分别装网眼袋和吨包袋运到广东省佛山市顺德区薯片加工厂, 基地距离工厂 3656 km。

1.1.2　试剂与设备

氯苯胺灵(chlorpropham, CIPC)(美国仙农有限公司)。

R-1000 马铃薯比重计量机(日本 ASAHIKAWA SCALE 公司); XK-L 电子秤(精度 10 g, 广东山和智能称重系统有限公司); Z12-LZ566 榨汁机(九阳股份有限公司); EZ-SX 500N 质构仪(日本岛津仪器有限公司); ACCU-CHEK 血糖仪[罗氏诊断产品(上海)有限公司]; M-Series II 色泽光谱分析仪(美国 Agtron Inc 公司); EF-904 油炸锅(广东粤海电器有限公司)。

1.2　实验方法

1.2.1　不同装袋方式对马铃薯机械伤的影响

马铃薯装袋方式有两种, 分别为网眼袋装和吨包集装袋装。每种装袋方式分别测试 5 个处理(即 5 卡车, 每车装运 32~35 t)。网眼袋以聚乙烯或聚丙烯为原料, 经挤出拉

伸成扁丝后编织而成的包装袋，每袋可装马铃薯 30~45 kg，分别编号为 W1、W2、W3、W4、W5；吨包集装袋采用高强度聚丙烯编织布制作而成，每袋可装马铃薯 600~800 kg，分别编号为 T1、T2、T3、T4、T5。马铃薯到达工厂后从车厢前部、中部和后部各随机抽取 2 袋马铃薯计算机械伤比例，机械伤比例=(抽样带机械伤马铃薯的重量/抽样马铃薯总重量)×100%。

1.2.2 不同温度贮藏和抑芽剂处理对马铃薯休眠期的影响

研究通过喷施有效成份为 49.65%的抑芽剂 CIPC，使用量为 43 mL/t 马铃薯。喷施后在 13 ℃下贮藏，与对照组及在 10、8、6 ℃下贮藏来观察和记录马铃薯的发芽情况，第 25 d 开始记录，之后每隔 15 d 测量一次。

1.2.3 不同温度贮藏对还原糖的影响

研究通过不同贮藏温度和贮藏时间，来记录马铃薯还原糖的变化和对薯片色度值的影响。贮藏温度分别设置为 7、9、11、13 和 15 ℃，从贮藏后第 30 d 开始检测还原糖和色度值，至第 300 d 实验结束，一共检测 10 次。

1.2.4 贮藏时间对马铃薯硬度的影响

研究以大西洋马铃薯为样品，每次分别取 100 g 以下，100~300 g 和 300 g 以上的 3 组样品各 5 个马铃薯，通过质构仪来检测不同规格大小的大西洋马铃薯在贮藏过程中的硬度变化，取平均值并记录数据。

1.2.5 浸泡时间对还原糖和色度值的影响

对于贮藏不当导致还原糖升高不利于加工的原料，本研究通过清水浸泡处理来降低还原糖含量，改善薯片的色泽。浸泡时间分别设置为 4、8、12、16、20 和 24 h。水量以漫过薯片为宜，浸泡期间不换水，油炸前清洗干净薯片表面淀粉并吹干表面的水分。

1.2.6 切片厚度对薯片含油量的影响

在不改变油炸温度的条件下，通过不同切片厚度来检测薯片的含油量，薯片的切片厚度分别为 T1: 1.4 mm、T2: 2.7 mm 和 T3: 3.3 mm，从而分析厚度与含油量的关系。

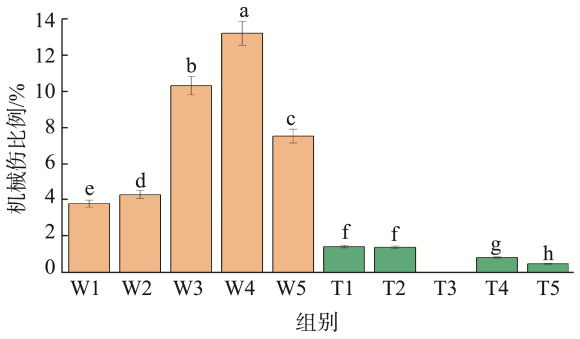
1.3 数据处理

所有实验检测均重复 3 次，实验结果利用 Excel Office 365 统计分析实验数据，取平均值来表示。利用 Origin 2021 进行绘图。不同处理间比较采用单因素方差分析，多重比较采用 Duncan 法，当 $P<0.05$ 时，判定为显著性差异，$P<0.01$ 时，判定为极显著差异。

2 结果与分析

2.1 包装与运输方式对马铃薯机械损伤的影响结果

马铃薯包装与搬运方式是决定运输途中机械损伤率的关键[8]。分析结果表明，网眼袋包装组(W 组)的平均机械伤比例高达 7.89%(范围 3.82%~13.30%)，而吨包集装袋包装组(T 组)的平均机械伤比例仅为 0.83%(范围 0.00%~1.44%)，二者存在极显著差异($P<0.05$)，如图 1 所示。该结果直接归因于装卸流程的差异：网眼袋需经历多次人工搬运，显著增加了碰撞与挤压风险；而吨包则实现了从田间到工厂的机械化吊运，最大限度减少了人为干预环节。因此，推广吨包集装袋是供应链前端控制原料损耗、保障加工品质的有效策略。



注: W 代表网眼袋包装, T 代表吨包集装袋包装。不同小写字母表示不同处理组间具有显著性差异($P<0.05$)。图 7~9 同。

图 1 马铃薯装袋方式与机械伤比例

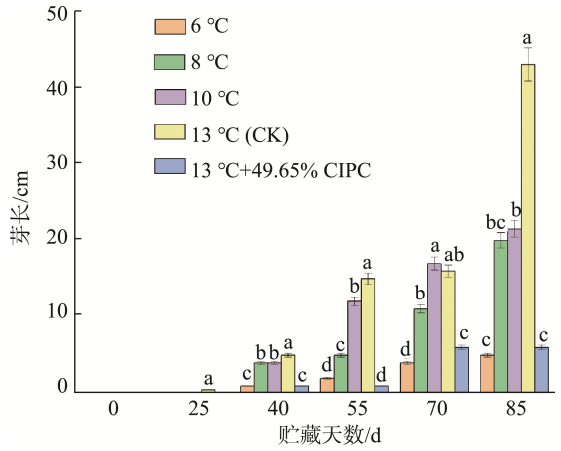
Fig.1 *Solanum tuberosum* L. bagging method and mechanical injury ratio

2.2 不同温度贮藏和抑芽剂处理对马铃薯休眠期的影响结果

低温贮藏对延长马铃薯休眠期，防止马铃薯发芽具有一定的作用，使用抑芽剂 CIPC 也能延长马铃薯的休眠期[8]。本研究以 13 ℃贮藏的大西洋马铃薯作为对照，与 6、8、10 ℃贮藏和使用 CIPC 49.65%处理 13 ℃贮藏的大西洋进行对比。

马铃薯休眠期的长短根据品种和环境条件的不同而有所变化，马铃薯休眠期对于种植者和生产加工企业来说都非常重要[9]。在种植过程中，马铃薯休眠期决定了播种时间，从而对生长期和产量，以及品质产生影响，种植者可以根据不同品种的特点和环境条件要求，采取适当的措施来管理马铃薯的休眠期，以达到良好的种植效果。对于加工企业来说，则应适当延长马铃薯休眠期，减少贮藏过程中的损耗，以确保加工原料的品质。通过图 2 可知，在所有未使用 CIPC 处理的条件下(6、8、10、13 ℃)，马铃薯的发芽长度均随着贮藏天数的增加而增长，13 ℃ (CK)在贮藏 40 d 时芽长已达到 5 cm，贮藏 85 d 时，芽已长到 43 cm。表明贮藏时间延长是促进马铃薯发芽的关键因素[10]。其次，温度对发芽也有明显的促进作用，在相同的贮藏时间内，温度越高，发芽速度越快，发芽长度也越长[11]。在 6 ℃的低温条件下，即使贮藏 85 d，发芽长度也仅为 5 cm，抑制效果非常显著。另外，49.65% CIPC 表现出显著的发芽抑制效果，经过 CIPC 处理的马铃薯，在相同的 13 ℃下贮藏，其发芽

长度在整个贮藏期内(直至 85 d)都被有效抑制在极低水平(最长仅为 6 cm)。与未处理的 13 ℃对照组(85 d 时发芽长度达 43 cm)相比, CIPC 处理组的发芽长度仅为对照组的七分之一，抑制效果极其明显。表明贮藏温度和贮藏时间对马铃薯还原糖影响较大，尤其作为薯片加工的原料，需要保持还原糖处于极低的含量，既不能高温贮藏，也不能长期贮藏。



注：不同小写字母表示同一贮藏天数不同处理条件下具有显著性差异(P<0.05)，图 3~6 同。

图 2　不同温度贮藏与 CIPC 处理对马铃薯休眠期的影响

Fig.2　Effects of different temperature storage and CIPC treatment on the dormancy period of *Solanum tuberosum* L.

2.3　不同贮藏温度和贮藏时间对还原糖和色度值的影响结果

鲜切薯片加工原料的还原糖含量应控制在 0.1%以下，但随着贮藏温度的降低和贮藏时间的延长，马铃薯淀粉会在低温下转化为还原糖，导致含糖量上升，超过标准而无法使用[12]。马铃薯在不同温度下贮藏 300 d 的还原糖变化见图 3。

贮藏温度不仅影响马铃薯休眠期，对贮藏期间马铃薯还原糖的影响更加重要，还原糖含量直接决定了马铃薯片的色泽和品质[13]。在低温条件下，马铃薯的代谢过程受到抑制，导致其中的淀粉分解速率减缓，马铃薯开始将淀粉逐渐转化为还原糖，以满足其生存和生长的需要。与此同时，马铃薯内部的酶活性也受到影响。通常情况下，淀粉酶会催化马铃薯中的淀粉分解生成还原糖，形成甜味。但在低温条件下，淀粉酶的活性下降，导致淀粉分解速率减缓，从而导致马铃薯中还原糖的含量较高[14]。因此，在马铃薯加工过程中，合理控制温度是确保马铃薯还原糖和加工产品品质的重要因素。图 3 表明贮藏温度和时间对马铃薯还原糖含量的影响是一个动态、非线性的复杂过程。其变化规律可概括为 3 个主要阶段：贮藏初期(30~90 d)，过低温度会显著促进还原糖的积累，对于加工型马铃薯(生产薯片、薯条)极其不利，高还原糖会导致成品颜色过深、口感变苦。贮藏中期从 120 d 开始，在 9、11、13 ℃条件下，还原糖含量低于检出值，这种低水平状态一直维持到 240 d 左右。在 9~13 ℃的适宜温度下，马铃薯进入一个生理休眠期，新陈代谢降至极低水平。前期积累的还原糖可能被缓慢消耗或转化为其他形态，导致含量降至检测不出的水平，这个阶段是马铃薯品质相对稳定的时期。贮藏末期(270~300 d)休眠被打破，还原糖开始爆发性增长，尤其是 300 d 时，所有温度条件下的还原糖含量均出现急剧、大幅度的回升，除 15 ℃下贮藏的马铃薯，还原糖值均超过 0.1%。马铃薯的还原糖值与油炸后薯片的色度值呈负相关，还原糖值越高，色度值越低。马铃薯片色度值通过 M-Series II 色泽光谱分析仪进行测定，测得值越高，表明品质越好。根据企业标准，油炸后马铃薯片的色度值需要达到 48 以上，才是合格产品。马铃薯在 7、9、11、13、15 ℃贮藏 270 d，每隔 30 d 取样进行炸片，并检测色度值，检测结果见图 4。

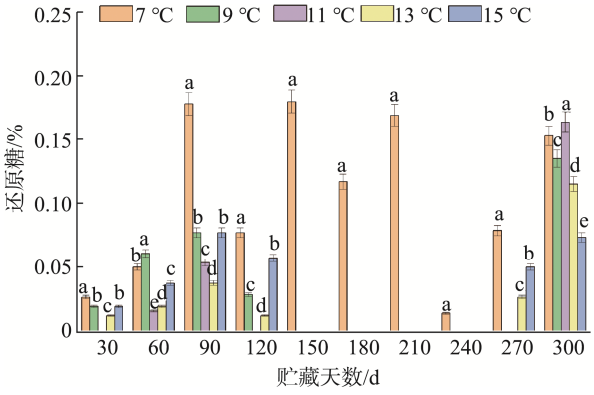


图 3　贮藏温度与贮藏时间对马铃薯还原糖的影响

Fig.3　Effects of storage temperature and storage time on reducing sugar of *Solanum tuberosum* L.

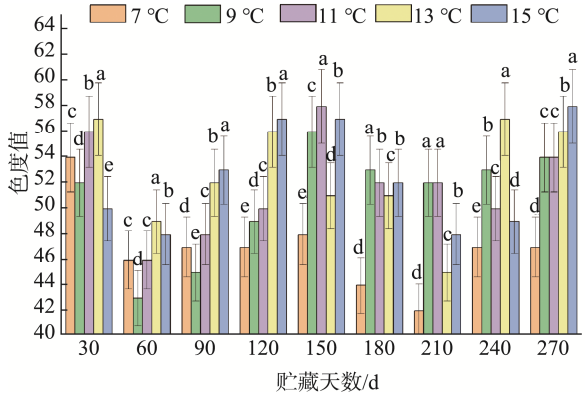


图 4　贮藏温度和贮藏时间对马铃薯色度值的影响

Fig.4　Effects of storage temperature and storage time on chromatic value of *Solanum tuberosum* L.

从图 4 可以看出，贮藏温度是影响马铃薯片色度值的最关键因素。过低的贮藏温度会显著加速马铃薯在加工过程中的颜色劣变，使薯片的颜色变深、色度值降低。这很可能与其诱发的“低温糖化”现象有关，低温促进了淀粉向还原糖的转化，为后续加工中的非酶褐变反应(美拉德反应)提供了更多底物[15]。为了生产出色泽浅亮、品质优良的马铃薯片，应避免在 7 ℃低温环境下长期贮藏马铃薯原料。相比之下，9 ℃至 11 ℃是更理想的长期贮藏温度，在 120~270 d 之间均能保持薯片的色度值稳定在 48 以上。而 13 ℃和 15 ℃，则波动性较大，需要更精确地监控和管理，以确保最终产品质量的一致性。贮藏温度和贮藏时间长短除了影响马铃薯的还原糖外，还会导致马铃薯失重，即水分自然蒸发。

2.4 不同贮藏温度和贮藏时间对马铃薯失重的影响结果

马铃薯块茎在贮藏期间的重量损失是不可避免的，引起损失的原因主要是水分蒸发[16]。马铃薯块茎含有 80%的水分，薯块、薯皮受伤未愈或薯块发芽，都会引起严重的蒸发损失[17]。刚收获的马铃薯呼吸作用旺盛，在温度增高或块茎受伤染病等情况下呼吸强度更高。在贮藏期间，块茎水分散发，经过贮藏，块茎约损失总量的 6.5%~11.0%[18]。本研究中马铃薯失重率见图 5。

通过图 5 可知，无论处于何种温度下，马铃薯的重量损失都随着贮藏天数的增加而增加，且是一个持续动态进行的过程，发生失重的主要原因是块茎的蒸腾作用(水分流失)和呼吸作用(消耗干物质)。其次，温度也是影响重量损失速率的关键因素。在相同的贮藏时间下，较高的贮藏温度通常会导致更大的重量损失。在贮藏开始时各温度间的损失差异相对较小，但在贮藏中后期，高温会极大地加速水分的散失和干物质的消耗，使马铃薯变软，硬度降低。

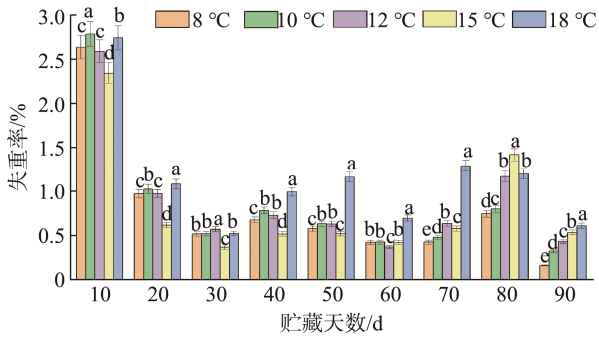


图 5 贮藏温度和贮藏时间对马铃薯失重的影响

Fig.5 Effects of storage temperature and storage time on weight loss of *Solanum tuberosum* L.

2.5 贮藏时间对马铃薯硬度的影响结果

随着贮藏时间延长，马铃薯的硬度普遍呈下降趋势。低温能有效抑制呼吸作用，减缓硬度下降；高温会加速呼吸作用和代谢活动，导致水分蒸发加快、淀粉等营养物质消耗和分解加剧，组织结构软化显著；尤其进入萌芽期后，马铃薯的硬度会显著下降[19]。此外，本研究所选用马铃薯均已完全成熟，但规格大小不同，会导致硬度也有所差异。马铃薯贮藏中的硬度变化见图 6。

由图 6 可知，3 个不同规格(>300 g、100~300 g、<100 g)的马铃薯硬度在贮藏后 30 d 内，硬度变化并不大。贮藏 40 d 后，>300 g 的马铃薯硬度整体呈现下降趋势，尤其在贮藏时间超过 50 d 后，硬度明显降低，表明长时间贮藏对较大马铃薯的硬度影响较大。100~300 g 的马铃薯在贮藏 40~60 d 时硬度也缓慢下降。<100 g 的马铃薯硬度在贮藏 60~70 d 时大幅下降。总体而言，不同规格重量的马铃薯硬度在贮藏 30 d 内都没有一致的上升或下降趋势，这可能与马铃薯的个体差异、贮藏条件或测量误差有关。在贮藏 40~70 d 时，所有规格的马铃薯硬度均出现下降，贮藏 70 d 时达到最低点，表明超过 30 d 的长时间贮藏会导致马铃薯硬度明显降低。贮藏 80 d 时的硬度有所回升，但除<100 g 的马铃薯，其他仍未恢复至初期水平。这种回升可能源于马铃薯自身的生理反应，但需要更多数据确认。

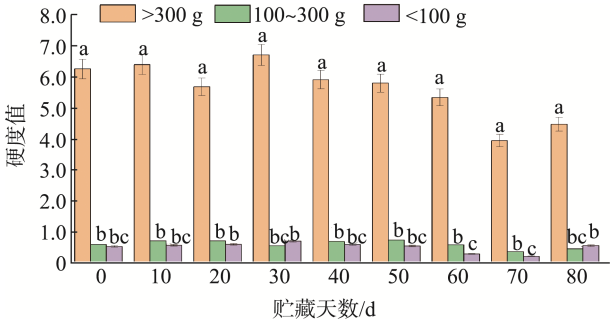


图 6 贮藏时间对马铃薯硬度的影响

Fig.6 Effects of storage time on hardness of *Solanum tuberosum* L.

2.6 浸泡对马铃薯还原糖和薯片颜色的影响结果

经过长期贮藏导致还原糖超过 0.3%的马铃薯，可通过切片后浸泡的方式来降低还原糖。本研究将还原糖超过 0.3%的马铃薯，切片为厚度 1.4 mm 的薯片，分别浸泡 4、8、12、16、20、24 h 检测还原糖的变化情况，并在油炸后检测薯片的色度值。还原糖检测结果见图 7，薯片色度值结果见图 8。

图 7 显示，初始还原糖含量为 0.3%的薯片，经过 24 h 浸泡后降至 0.01%，降幅达 96.67%。在最初的 4 h 内，还原糖含量从 0.3%迅速降至 0.1%，降幅达 66.67%；在浸泡 16 h 后，还原糖含量稳定在 0.01%，不再继续下降。研究表

明清水浸泡处理能有效降低还原糖含量，且大部分还原糖的去除发生在浸泡后 4 h 内，之后去除速率明显放缓。根据还原糖值来判断，最佳浸泡时间为 16 h，在浸泡 16 h 时的还原糖含量已降至0.013%，继续延长浸泡时间至24 h还原糖的下降非常有限。

从图 8 可以看到，薯片的色度值随浸泡时间延长逐渐升高，还原糖为 0.3%的马铃薯切片油炸后的色度值为 33，切片后经过 24 h 浸泡后色度值从 33 提升至 41。在整个实验过程中，浸泡前 8 h 薯片色度值变化缓慢，在浸泡 12 h 后色度值达到 36，20 h 后显著提升至 39，24 h 达到最高值 41。说明浸泡时间与色度值呈正相关关系：随着浸泡时间的延长，油炸薯片的色度值持续提升，浸泡处理能有效改善油炸薯片的色泽，尤其对于还原糖含量超过0.3%的薯片，通过适当的清水浸泡可以显著提高油炸后薯片的色度值，从而改善产品外观品质[20]。

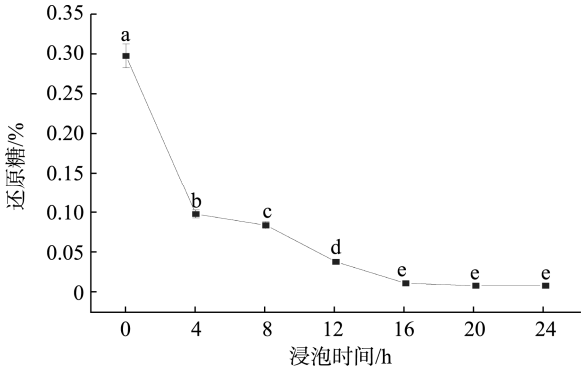


图 7　浸泡时间对马铃薯还原糖的影响

Fig.7　Effects of soaking time on reducing sugar of *Solanum tuberosum* L.

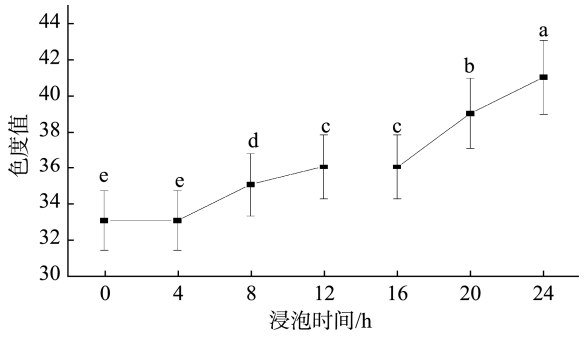
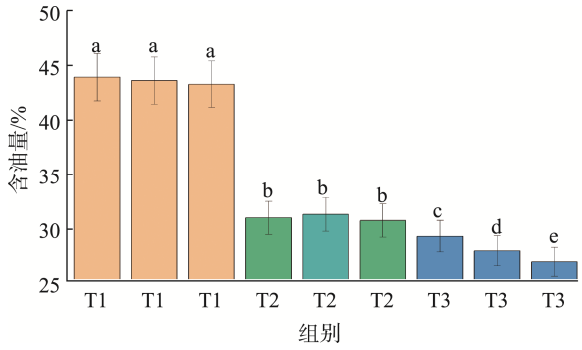


图 8　浸泡时间对马铃薯片色度值的影响

Fig.8　Effects of soaking time on chromatic value of potato chips

2.7　切片厚度对薯片含油量和品质的影响结果

实验薯片均为平切薯片，油炸温度为 168 ℃，实验分为 3 组：第一组厚度 1.4 mm、油炸 144 s；第二组厚度 2.7 mm、油炸 300 s；第三组厚度 3.3 mm、油炸 360 s，各组分别重复 3 次油炸来进行实验测试。实验结果见图 9。从图 9 可知，薯片厚度与含油量呈负相关关系，随着切片厚度的增加，薯片的平均含油量呈现下降趋势[21]。切片厚度 1.4 mm 的薯片平均含油量为43.38%；切片厚度为2.7 mm 的薯片平均含油量为 30.71%，切片厚度为 3.3 mm 的薯片平均含油量为 27.77%。厚度从 1.4 mm 增加到 2.7 mm，含油量显著降低了约 29.3%；从 2.7 mm 增加到 3.3 mm，含油量进一步降低了约 9.6%。虽然 3.3 mm 厚度的薯片平均含油量最低，但其数据波动相对较大(标准偏差为 1.18)，可能与样品间差异有关。



注：T1 切片厚度为 1.4 mm；T2 切片厚度为 2.7 mm；T3 切片厚度为 3.3 mm。

图 9　切片厚度对薯片含油量的影响

Fig.9　Effects of slice thickness on the oil content of potato chips

3　讨论与结论

3.1　讨　论

3.1.1　马铃薯供应链前端管理对原料品质的影响

实验结果表明，网眼袋装方式是影响马铃薯运输过程中机械伤发生率的决定性因素。吨包集装袋包装能将机械伤比例控制在 2%以下，低于网眼袋包装，这与 FERDOUSI 等[22]的研究结果一致，即减少搬运次数是降低果蔬采后损伤的关键。吨包包装通过机械化作业替代人工搬运，从根本上减少了装卸环节，有效避免了碰撞、挤压等物理伤害。这一发现具有重要的实践价值：在马铃薯供应链前端推广吨包集装袋，不仅可以降低原料损耗，还能为后续加工提供更优质的原料基础，这与 COLLINS[23]提出的“从田间到工厂”的全程质量控制理念相契合。

3.1.2　贮藏条件对马铃薯生理特性的调控作用

贮藏温度和抑芽剂处理显著影响马铃薯的休眠期、还原糖含量和硬度变化。本研究发现，6 ℃低温贮藏和 CIPC 处理均能有效抑制马铃薯发芽，这与 CUNNINGTON[24]的研究结论相符。然而，过低的贮藏温度(7 ℃)会诱发“低温糖化”现象，导致还原糖异常积累，严重影响薯片加工品质。这一发现支持了 BANDANA 等[25]提出的“温度双刃剑”效应：低温虽能抑制发芽，但可能加剧糖化反应。9~11 ℃是马铃薯中长期贮藏的适宜温度区间，在此温度下贮藏

210 d 内，还原糖含量能稳定控制在 0.1%以下，薯片色度值维持在 48 以上，符合加工要求。这一结果与 GIKUNDI 等[26]提出的“临界温度窗口”理论相吻合，为加工企业制定科学的贮藏方案提供了具体参数依据。

3.1.3 加工工艺对最终产品品质的改良效果

针对贮藏后期还原糖升高的原料，本研究探索了浸泡处理和切片厚度调整两种工艺改良方法。清水浸泡能有效降低薯片还原糖含量，改善产品色泽，这与 NAM[27]的研究结果一致。浸泡 24 h 后，还原糖降幅达 96.67%，色度值从 33 提升至 41。特别值得注意的是，大部分还原糖的去除发生在浸泡前 4 h 内(降幅 66.67%)，这一发现为优化生产工艺、提高效率提供了重要参考。切片厚度显著影响薯片含油量，厚度从 1.4 mm 增加至 3.3 mm，含油量从 43.38%降至 27.77%。这一结果验证了 MOYANO 等[28]提出的“厚度-含油量负相关”理论。较薄的切片由于比表面积大，在油炸过程中吸油更多，而较厚的切片能有效降低产品含油量，符合当前健康饮食的消费趋势。然而，厚度增加也意味着油炸时间延长和口感变化，因此需要根据产品定位进行合理选择。

3.1.4 供应链管理与生产工艺的协同优化

本研究最重要的发现在于揭示了供应链管理与生产工艺之间存在显著的协同效应。原料的初始品质(如机械伤程度、还原糖含量)直接影响后续加工工艺的选择和最终产品质量。这一发现拓展了 CHHAING[29]提出的供应链协同理论，首次将加工工艺参数纳入马铃薯供应链优化体系。具体而言，当供应链前端管理得当(采用吨包运输、适宜温度贮藏)时，原料品质优良，可直接采用标准工艺进行加工；而当原料因贮藏时间过长或温度不当出现品质下降时，则需通过调整浸泡时间、切片厚度等工艺参数进行补偿性加工。这种“监测-评估-调整”的动态优化模式，为实现马铃薯供应链的精细化管理提供了新思路[30]。

3.1.5 研究局限与未来展望

本研究的局限性在于浸泡实验的样本量较小，需要进一步扩大样本验证；未系统研究不同品种马铃薯的变化差异；供应链各环节的交互效应需要更深入的研究。未来研究可结合物联网技术，建立从田间到车间的全程品质监控系统，实现更加精准的供应链协同管理。

综上所述，通过优化装袋方式、控制贮藏条件、调整加工工艺，建立贯穿马铃薯供应链各环节的协同管理体系，能够有效降低损耗、提升品质，为马铃薯加工产业的可持续发展提供技术支撑。

3.2 结 论

优质鲜切薯片的生产依赖于供应链管理与加工工艺的协同优化。在供应链端，采用吨包集装袋和在 9~11 ℃条件下贮藏，是保证原料低损伤、低还原糖和延长休眠期的关键。在加工端，应根据原料的还原糖含量等情况，灵活调整工艺参数进行补偿性加工。本研究构建的“监测-评估-调整”动态优化模式，为实现从田间到车间全程品质可控的马铃薯供应链管理提供了重要的理论依据和实践方案。

参考文献

[1] WILLERSINN C, MACK G, MOURON P, *et al*. Quantity and quality of food losses along the swiss potato supply chain: Stepwise investigation and the influence of quality standards on losses [J]. Waste Management, 2015, 6(DEC.): 120–132.

[2] KUMAR A, AGRAWAL S. Challenges and opportunities for agri-fresh food supply chain management in India [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2023, 212: 108161.

[3] 张敏. 马铃薯供应链主要环节实物及其价值损耗研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
ZHANG M. Research on the physical and value losses of major links in potato supply chain [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.

[4] SAINI R, KAUR S, AGGARWAL P, *et al*. Conventional and emerging innovative processing technologies for quality processing of potato and potato-based products: A review [J]. Food Control, 2023, 153: 109933.

[5] 李山云, 林奇, 杨琼芬, 等. 原味油炸马铃薯薯片加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(21): 38–41.
LI SY, LIN Q, YANG QF, *et al*. Research on the processing technology of original flavored fried potato chips [J]. Food Research and Development, 2013, 34(21): 38–41.

[6] 李军. 复合马铃薯粉油炸及膨化休闲食品工艺研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
LI J. Research on the technology of compound potato powder frying and puffing leisure food [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.

[7] AGCAM E. Modeling of the changes in some physical and chemical quality attributes of potato chips during frying process [J]. Applied Food Research, 2022, 2(1): 100064.

[8] 朱江, 叶开梅, 樊祖立, 等. 植物生长调节剂和贮藏方式对马铃薯品质及生长的影响[J]. 现代农业科技, 2025(11): 66–70.
ZHU J, YE KM, FAN ZL, *et al*. The effects of plant growth regulators and storage methods on the quality and growth of potatoes [J]. Modern Agricultural Technology, 2025(11): 66–70.

[9] 张志良, 和志豪, 茹晓雅, 等. 未来气候变化对中国马铃薯种植气候适宜性的影响[J]. 中国农业科学, 2023, 56(18): 3530–3542.
ZHANG ZL, HE ZH, RU XY, *et al*. The impact of future climate change on climate suitability for potato planting in China [J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2023, 56(18): 3530–3542.

[10] 尹旺, 邓仁菊, 陈明俊, 等. 耐低温糖化马铃薯资源筛选与评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1): 104–110.
YIN W, DENG RJ, CHEN MJ, *et al*. Screening and evaluation of low temperature resistant saccharified potato resources [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2023, 51(1): 104–110.

[11] 李守强, 田甲春, 葛霞, 等. 不同保鲜袋包装对雾培马铃薯微型种薯贮藏保鲜效果的影响[J]. 河南农业科学, 2024, 53(4): 152–160.
LI SQ, TIAN JC, GE X, *et al*. The effect of different fresh-keeping bags on the storage and preservation of micro seed potatoes in foggy cultivation

[J]. Henan Agricultural Science, 2024, 53(4): 152–160.

[12] 巩慧玲, 赵萍, 杨俊丰. 马铃薯贮藏期间淀粉和还原糖含量的变化及回温处理的影响[J]. 食品工业科技, 2008(2): 277–279, 316.
GONG HL, ZHAO P, YANG JF. Changes in starch and reducing sugar content during potato storage and the effect of reheating treatment [J]. Food Industry Science and Technology, 2008(2): 277–279, 316.

[13] 覃海元, 杨昌鹏, 潘嫣丽, 等. 不同包装材料对鲜切马铃薯的保鲜效果[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(33): 16527–16528, 16585.
QIN HY, YANG CP, PAN YL, *et al*. The preservation effect of different packaging materials on fresh cut potatoes [J]. Anhui Agricultural Science, 2009, 37(33): 16527–16528, 16585.

[14] 康朵兰. 马铃薯大西洋块茎在休眠萌发和低温贮藏期的生理生化变化[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
KANG DL. Physiological and biochemical changes of potato Atlantic tubers during dormancy germination and low-temperature storage [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008.

[15] 杨旭凤, 贾晓东, 许梦洋, 等. 褐变机理及其防治技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2023(13): 137–145.
YANG XF, JIA XD, XU MY, *et al*. Research progress on browning mechanism and its prevention and control technology [J]. Chinese Agricultural Bulletin, 2023(13): 137–145.

[16] 杨明, 包媛媛, 张新永, 等. 不同贮藏温度对云薯 105 马铃薯生理品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(5): 189–193.
YANG M, BAO YY, ZANG XY, *et al*. The effect of different storage temperatures on the physiological quality of Yunshu 105 potato [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2020, 48(5): 189–193.

[17] 郭瑞金. 马铃薯机械化收获跌落碰撞损伤试验研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
GUO RJ. Experimental study on drop and collision damage of potato mechanized harvesting [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2023.

[18] 陈熙, 苏宇萌, 郭家如, 等. 基于能量代谢探究不同温度下马铃薯贮藏品质变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(6): 159–168.
CHEN X, SU YM, GUO JR, *et al*. Exploring the changes in potato storage quality at different temperatures based on energy metabolism [J]. Food & Fermentation Industries, 2024, 50(6): 159–168.

[19] 刘素军, 蒙美莲, 苏日古嘎. 干旱胁迫及复水对马铃薯糖代谢途径中基因表达影响的研究[J]. 作物杂志, 2023(1): 38–45.
LIU SJ, MENG ML, SU RGG. Study on the effects of drought stress and rehydration on gene expression in potato sugar metabolism pathway [J]. Crop Journal, 2023(1): 38–45.

[20] 谢国芳, 刘晓燕, 王瑞, 等. 加工工艺对油炸马铃薯片品质的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(7): 1651–1654.
XIE GF, LIU XY, WANG R, *et al*. The influence of processing technology on the quality of fried potato chips [J]. Modern Food Technology, 2013, 29(7): 1651–1654

[21] 王辉, 欧阳岁燕, 黄珊, 等. 马铃薯干片干燥工艺参数优化[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(12): 33–38.
WANG H, OUYANG SY, HUANG S, *et al*. Optimization of drying process parameters for dried potato slices [J]. Food Research and Development, 2018, 39(12): 33–38.

[22] FERDOUSI J, HOSSAIN MI, SAHA SR, *et al*. Postharvest physiology of fruits and vegetables and their management technology: A review [J]. JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences, 2024, 34(2): 291–303.

[23] COLLINS R. Value chain management and postharvest handling [J]. Postharvest Handling (Third Edition), 2014: 123–145. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408137-6.00006-5

[24] CUNNINGTON A. Developments in automated potato storage management [J]. Potato Research, 2023, 66(4): 1305–1314.

[25] BANDANA, KUMAR D, SINGH B. Post-harvest management of potatoes [J]. Indian Farming, 2024(5): 74.

[26] GIKUNDI EN, BUZERA A, ORINA I, *et al*. Impact of the temperature reconditioning of cold-stored potatoes on the color of potato chips and french fries [J]. Foods, 2024, 13(5): 652.

[27] NAM KA. Reducing sugar contents of potato tubers and potato chip color by pretreatment methods [J]. Korean Agricultural Chemical Society, 1992, 35(6): 437–442.

[28] MOYANO PC, PEDRESCHI F. Kinetics of oil uptake during frying of potato slices: Effect of pre-treatments [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(3): 285–291.

[29] CHHAING H. Studies on supply chain coordination models [Z]. 2008.

[30] 魏艳娜, 张艳荣. 甘肃定西马铃薯加工业供应链管理的可行性与必要性分析[J]. 广东农业科学, 2008(1): 105–108.
WEI YN, ZHANG YR. Feasibility and necessity analysis of supply chain management in potato processing industry in Dingxi, Gansu Province [J]. Guangdong Agricultural Science, 2008(1): 105–108.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)