

不同贮藏温度对冷凉地区甘薯块根品质的影响

张毅¹, 庞林江², 岳瑞雪¹, 张文婷¹, 马晨¹, 邓少颖¹, 于涛^{3*}, 孙健^{1*}

(1. 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 徐州 221131; 2. 浙江农林大学农业与食品科学学院, 杭州 311300; 3. 辽宁省农业科学院, 沈阳 110161)

摘要: 目的 研究不同贮藏温度对冷凉地区甘薯块根品质的影响, 为当地因地制宜建设地下或半地下贮藏窖的短期贮藏筛选适宜品种。**方法** 以腐烂率、失重率、淀粉含量、可溶性糖含量、抗坏血酸含量、谷胱甘肽含量、果胶含量、 α -淀粉酶活性及薯块硬度变化为指标, 考察了12个甘薯品种在6、9和12°C 3个不同贮藏温度中块根品质随时间的变化规律。**结果** 相同品种间, 随着贮藏温度的降低, 甘薯腐烂率、 α -淀粉酶活性、可溶性糖、果胶含量和硬度波动明显, 总体呈上升趋势, 失重率、淀粉含量呈下降趋势, 抗坏血酸和谷胱甘肽含量均随着贮藏时间而缓慢下降。不同品种间耐贮性存在较大差异, 12°C贮藏条件下, 各品种腐烂率较低, 但失重率相对较高; 9°C贮藏条件下, 部分品种腐烂率上升, 但抗坏血酸和谷胱甘肽等营养物质损失较小; 6°C低温贮藏条件下, 失重率及腐烂率较低的品种是商薯19、苏薯28号和徐紫薯8号; α -淀粉酶活性较弱的品种是徐紫薯8号、济薯26号、心香和商薯19; 而济薯26号、徐薯32号、商薯19号和徐紫薯8号贮藏35 d后, 淀粉含量损失较少。**结论** 通过贮藏特性评价, 掌握不同品种的品质随贮藏温度变化规律, 筛选出商薯19、徐紫薯8号和苏薯28号3个适宜6°C低温贮藏的品种。

关键词: 甘薯; 贮藏温度; 贮藏特性; 冷凉地区

Effects of different storage temperature on the quality of sweet potato tubers in cold regions

ZHANG Yi¹, PANG Lin-Jiang², YUE Rui-Xue¹, ZHANG Wen-Ting¹,
MA Chen¹, DENG Shao-Ying¹, YU Tao^{3*}, SUN Jian^{1*}

(1. Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Xuhuai District, Xuzhou 221131, China;
2. College of Agriculture and Food Science, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China;
3. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China.)

ABSTRACT: Objective To study the effects of different storage temperatures on the quality of sweet potato in cold regions and screen suitable varieties for short-term storage of underground or semi-underground storage pits according to local conditions. **Methods** With rot rate, weight loss rate, starch content, soluble sugar content, ascorbic acid content, glutathione content, pectin content, α -amylase activity and potato hardness as indicators, the

基金项目: 国家自然科学基金项目(M2242001)、国家甘薯产业技术体系项目(CARS-10)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (M2242001), and the National Sweet Potato Industrial Technology System (CARS-10)

*通信作者: 于涛, 硕士, 研究员, 主要研究方向为甘薯分子遗传育种。E-mail: 18802421111@139.com

孙健, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。E-mail: sjsg9902@126.com

*Corresponding author: YU Tao, Master, Professor, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, No.84 Dongling Road, Shenhe District, Shenyang 110161, China. E-mail: 18802421111@139.com

SUN Jian, Ph.D, Professor, Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Xuhuai District, No.2 Kunpeng North Road, Economic and Technological Development Zone, Xuzhou 221131, China. E-mail: sjsg9902@126.com

changes of root quality of 12 sweet potato varieties at 3 kinds of different storage temperatures of 6, 9 and 12°C were investigated. **Results** Among the same varieties, as the storage temperature decreased, the rot rate, α -amylase activity, soluble sugar, pectin content and hardness fluctuated greatly, but these increased in general. The weight loss ratio and starch content showed the trend to decrease. The content of ascorbic acid and glutathione slowly decreased with storage time. There were significant differences in storage tolerance among different varieties. The rot rates of each variety were relatively low, but the weight loss was relatively high at 12°C. The rot rates of some varieties increased, but the loss of nutrients such as ascorbic acid and glutathione was relatively low at 9°C. The weight loss and rot rates of Shangshu 19, Sushu 28, and Xuzishu 8 were relatively low at 6°C, the α -amylase activity of Xuzishu No.8, Jishu 26, Xinxiang and Shang19 was weak, while the starch content of Jishu 26, Xushu 32, Shangshu 19, and Xuzishu 8 showed less loss after storage for 35 days. **Conclusion** By evaluating the storage characteristics and analyzing the quality of different varieties, three varieties suitable for low temperature storage at 6°C, namely Shangshu 19, Xuzishu 8, and Sushu 28 are selected.

KEY WORDS: sweet potato; storage temperature; storage property; cold regions

0 引 言

甘薯不仅营养美味,而且种植效益突出,是助力乡村振兴的优势作物^[1]。奈曼旗地处北温带大陆性半干旱季风气候区,四季分明,秋季降温速度快,年平均气温较低^[2]。虽水资源有限,但地理和气候条件非常适合甘薯种植。甘薯作为奈曼旗地区重点发展的三大产业之一,在脱贫攻坚与乡村振兴中发挥重要作用。

甘薯皮薄、肉嫩,水分含量高达 65%~75%,收获后极易失水萎蔫;同时对贮藏温度十分敏感^[3],贮藏温度较高时薯块呼吸旺盛,营养消耗大,抗病性降低,易引起发芽;贮藏温度较低时薯块呼吸强度很弱,甚至失去活力,易发生冷害冻害^[4-5]。每年甘薯因贮藏不当甚至会造成经济损失达 30%以上^[6]。作为起源于热带的农作物,甘薯抗寒能力较弱^[7],而与奈曼旗相类似的广大冷凉地区,收获后较低的温度严重影响甘薯品质,因此,低温条件下能否安全贮藏成为制约冷凉地区甘薯产业发展的重要因素。

不同的甘薯品种最佳贮藏温度不同^[8]。一般高于发芽温度(15°C)和低于临界温度(9°C),甘薯都难以贮藏^[9]。但也有研究表明在 5~8°C 左右甘薯能较好地保存主要营养物质^[10]。目前国内外对甘薯贮藏的研究多集中在特定品种的水分及淀粉、可溶性糖等主要营养物质变化趋势^[10-12],涉及到的甘薯品种较少,鲜有对不同品种在不同贮藏温度下品质变化的系统比较。因此,通过对冷凉地区主栽品种贮藏过程中品质变化的全面研究,可以总结共性规律,筛选出低温耐贮的优质品种,对冷凉地区甘薯的保质保鲜和安全贮藏具有重要意义。

基于上述问题和研究背景,本次研究以奈曼旗地区推广的 12 个甘薯品种为研究对象,对不同品种在 3 个不同温度中的贮藏特性开展比较,综合多品质性状进行评价,为冷凉地区筛选出适宜种植和推广的低温耐贮品种,同时

也为配套的甘薯贮藏技术奠定理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

12 份甘薯种质资源由江苏徐淮地区徐州农业科学研究所提供,本次试验于 2022 年在奈曼旗(121.04°E, 42.40°N)开展,奈曼旗位于内蒙古自治区通辽市西南部,属北温带大陆性季风干旱气候,年平均气温 6.5°C,年平均降水量 345~350 mm,草甸土占 64.8%,褐土占 17.9%,栗钙土占 10.5%,风沙土占 6.8%,全旗 86.0%的耕地土壤全氮含量在低水平以下^[2]。本次试验田土壤肥力中等,以当地最适播期种植,相同栽培及管理条件下统一收获和贮藏。

1.2 仪器与设备

DHG-9246A 电热恒温鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); DHGUV-2450 紫外分光光度计(日本岛津公司); Multiskan FC 酶标仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); TMS-PRO 质构仪(美国 Food Technology Corporation 公司); XPR404S/AC 电子天平(精度 0.1 mg, 瑞士 Mettler Toledo 公司); BC0705、BC0035、BC0615、BC1235、BC1175、BC1405 试剂盒(北京索莱宝科技有限公司)。

1.3 试验方法

2022 年 9 月 26 日入库贮藏,设定 6°C±0.5°C、9°C±0.5°C 和 12°C±0.5°C 3 个温度,相对湿度 85%±5%,贮藏 5 周后统计腐烂率。每个品种 3 个重复,每个重复甘薯 10 kg。每 7 d 进行失重率、淀粉、可溶性糖、抗坏血酸、谷胱甘肽、果胶含量、 α -淀粉酶活性及硬度变化的测定。

1.3.1 腐烂率和失重率的测定

按照公式(1)、(2)计算甘薯腐烂率和失重率。

$$\text{腐烂率}/\% = \frac{\text{甘薯腐烂个数}}{\text{甘薯总个数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{失重率}/\% = \frac{(\text{贮藏前鲜重} - \text{贮藏后鲜重})}{\text{贮藏前鲜重}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.2 淀粉、可溶性糖、 α -淀粉酶、抗坏血酸、谷胱甘肽和果胶含量的测定

淀粉含量严格按照 BC0705 检测试剂盒说明书进行操作。绘制标准曲线, 并使用 96 孔板测定每个孔在 620 nm 处的吸光度, 淀粉含量按照公式(3)测定:

$$\text{淀粉含量}/(\text{mg/g}) = \frac{x \times V \times F}{W \times 1.11} \quad (3)$$

式(3)中: x : 测定值代入线性回归方程计算结果(mg/mL); V : 提取后体积(mL); W : 样本质量(g); F : 样本稀释倍数; 1.11: 蒽酮试剂法测得葡萄糖含量换算为淀粉含量的常数。

可溶性糖含量严格按照 BC0035 检测试剂盒说明书进行操作。绘制标准曲线, 并使用 96 孔板测定每个孔在 620 nm 处的吸光度, 可溶性糖含量按照公式(4)测定:

$$\text{可溶性糖含量}/(\text{mg/g}) = \frac{x \times V}{W} \quad (4)$$

式(4)中: x : 测定值代入标准曲线公式计算结果(mg/mL); V : 提取液体积(mL); W : 样本质量(g)。

α -淀粉酶活性严格按照 BC0615 检测试剂盒说明书进行操作。绘制标准曲线, 并使用 96 孔板测定每个孔在 540 nm 处的吸光度, α -淀粉酶活性按照公式(5)测定:

$$\alpha\text{-淀粉酶活性}/(\text{U/g}) = \frac{x \times V}{W \times T} \quad (5)$$

式(5)中: x : 测定值代入标准曲线方程计算结果(mg/mL); V : 提取液体积(mL); W : 样本质量(g); T : 反应时间(min)。

抗坏血酸含量严格按照 BC1235 检测试剂盒说明书进行操作。使用 96 孔板分别读取 30 s 和 150 s 标准管和测定管在 265 nm 处的吸光度, 抗坏血酸含量按照公式(6)测定:

$$\text{抗坏血酸含量}/(\text{mg/g}) = \frac{C \times \Delta A_{\text{测定管}} \times 286.49}{W \times \Delta A_{\text{标准管}} \times 1000} \quad (6)$$

式(6)中: C : 标准液的浓度(nmol/mL); $\Delta A_{\text{标准管}}$: 30 s 的吸光值 A_1 -150 s 的吸光值 A_2 ; $\Delta A_{\text{测定管}}$: 30 s 的吸光值 A_3 -150 s 的吸光值 A_4 ; W : 样本质量(g)。

谷胱甘肽含量严格按照 BC1175 检测试剂盒说明书进行操作。绘制标准曲线, 并使用 96 孔板测定每个孔在 412 nm 处的吸光度, 谷胱甘肽含量按照公式(7)测定:

$$\text{谷胱甘肽含量}/(\text{mg/g}) = \frac{x \times V}{W \times 1000000} \quad (7)$$

式(7)中: x : 测定值代入标准方程计算结果($\mu\text{g/mL}$); V : 提取液体积(mL); W : 样本质量(g)。

果胶含量严格按照 BC1405 检测试剂盒说明书进行操作。绘制标准曲线, 并使用 96 孔板测定每个孔在 530 nm 处的吸光度, 果胶含量按照公式(8)测定:

$$\text{总果胶含量}/(\mu\text{mol/g}) = \frac{x \times V}{W} \quad (8)$$

式(8)中: x : 测定值代入标准方程计算结果($\mu\text{mol/g}$); V : 提

取液体积(mL); W : 样本质量(g)。

1.3.3 硬度变化的测定

采用美国 FTC 公司 TMS-PRO 质构仪, 25°C 条件下对甘薯薯块进行硬度指标测定。取 25 mm×25 mm×25 mm 立方体薯块, 采用全质构分析法(texture profile analysis, TPA)进行质构分析, 测试速度 30 mm/min, 形变量 80%, 下降距离 20 mm, 起始力 0.5 N。

1.4 数据处理

采用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析, 同一行中不同字母表示数据间差异显著($P < 0.05$), 采用 Microsoft Excel 2013 处理数据并制表, Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 不同甘薯品种产量和腐烂率的变化

12 份甘薯品种中, 龙薯 9 号产量最高, 达到 2866.67 kg/亩, 普薯 32 号和商薯 19 号的产量在 2000 kg/亩以上, 除徐薯 32 号外, 其余品种均在 1000 kg/亩以上。薯块表皮薄, 运输或贮藏过程中易破坏后受到病原菌感染而发生腐烂, 腐烂率是衡量贮藏效果的基本指标^[13]。如表 1 所示, 不同贮藏温度下, 不同品种的腐烂率存在显著差异。贮藏 35 d 后, 12°C 各品种腐烂率都低于 5%; 9°C 条件下, 商薯 19、济薯 26 号、苏薯 28 号、苏薯 16 号、徐紫薯 8 号和宁紫薯 4 号腐烂率低, 较其他品种耐贮性较强; 6°C 条件下, 不同甘薯品种腐烂率随着贮藏温度的进一步降低而快速升高, 但升高速率不同; 商薯 19、苏薯 28 号和徐紫薯 8 号腐烂率较其他品种低, 耐寒性更强。

2.2 贮藏温度对甘薯失重率的影响

甘薯在贮藏期间由于水分散失以及呼吸作用消耗养分, 因而导致重量减轻、品质下降^[14]。如图 1 所示, 不同品种甘薯失重率存在一定差异, 这可能与起始的干物质含量及生理特性不同有关, 随着贮藏时间的延长, 不同品种的失重率整体呈上升趋势, 贮藏前期(21 d 内)甘薯失重率约 5%, 与前人研究^[15]的结果基本一致; 而相同品种甘薯, 随着贮藏温度的下降, 失重率不断降低。6°C 贮藏 35 d 后, 商薯 19 号失重率最低, 仅为 1.24%; 其次为苏薯 28 号, 低温条件下能更好地保持甘薯贮藏前的质量, 商薯 19 和苏薯 28 相较于其他品种更耐贮藏。

2.3 贮藏温度对甘薯可溶性糖含量的影响

可溶性糖是植物生命活动中的能量和重要中间物质, 其含量是食用品质和加工性能的重要指标之一^[16]。如图 2 所示, 各温度条件下均随着贮藏时间的延长, 可溶性糖含量均逐渐增大, 但幅度不同。贮藏 35 d 后, 不同甘薯品种的可溶性糖含量存在一定差异且个别呈波动性变化, 但整

表 1 甘薯产量与贮藏腐烂率统计表
Table 1 Statistical table of sweet potato yield and rot rate

序号	品种名称	产量/(kg/亩)	贮藏腐烂率/%		
			6°C	9°C	12°C
1	徐薯 32 号	688.89±31.43	22.73±6.43 ^a	18.18±6.43 ^{ab}	0.00±0.00 ^b
2	商薯 19 号	2111.11±157.13	4.55±6.43 ^a	4.55±6.43 ^a	0.00±0.00 ^a
3	龙薯 9 号	2866.67±25.71	45.45±12.86 ^a	13.64±6.43 ^{ab}	0.00±0.00 ^b
4	烟薯 25 号	1688.89±94.28	36.36±12.86 ^a	13.64±12.86 ^a	4.55±6.43 ^a
5	济薯 26 号	1755.56±125.71	18.18±6.43 ^a	0.00±0.00 ^{ab}	2.27±3.21 ^b
6	苏薯 28 号	1022.22±94.28	4.55±6.43 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
7	心香	1777.78±122.57	27.27±6.43 ^a	9.09±6.43 ^{ab}	0.00±0.00 ^b
8	普薯 32 号	2355.56±157.13	27.27±6.43 ^a	18.18±12.86 ^a	2.27±3.21 ^a
9	苏薯 16 号	1733.33±91.14	13.64±6.43 ^a	4.55±6.43 ^a	0.00±0.00 ^a
10	阜甜薯 1 号	1044.44±62.85	27.27±6.43 ^a	9.09±6.43 ^{ab}	0.00±0.00 ^b
11	徐紫薯 8 号	1088.89±31.34	9.09±6.43 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
12	宁紫薯 4 号	1844.44±136.71	18.18±6.43 ^a	4.55±6.43 ^a	0.00±0.00 ^a

注: 不同字母表示同一行数据间差异显著($P < 0.05$)。

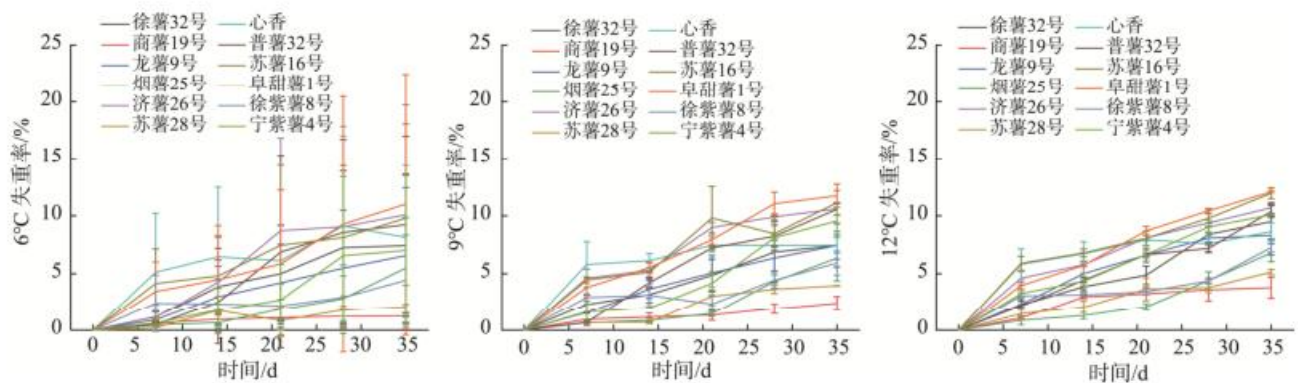


图 1 贮藏温度对甘薯失重率的影响
Fig.1 Effects of storage temperature on the weight loss ratio of sweet potato

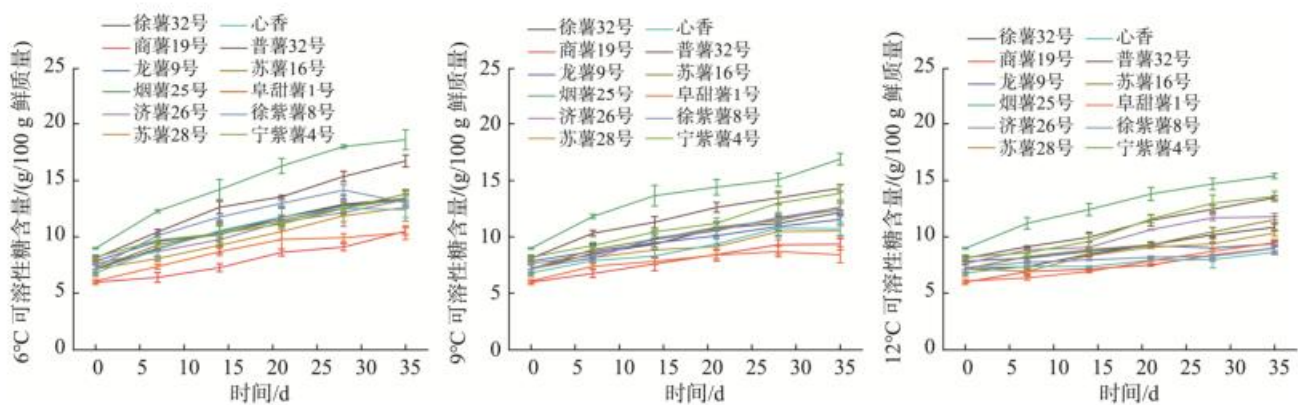


图 2 贮藏温度对甘薯可溶性糖含量的影响
Fig.2 Effects of storage temperature on the soluble sugar content in sweet potato

体来看,6°C条件下甘薯可溶性糖含量明显高于9°C和12°C下贮藏的甘薯,其中烟薯25号、普薯32号、徐薯32号和心香,可溶性糖含量相较于其他品种上升更快,6°C贮藏条件有利于增加甘薯甜度。可溶性糖还是一种渗透调节物质,可稳定细胞渗透压,维持甘薯质地^[17]。前人研究表明^[18],在低温贮藏过程中,淀粉降解为可溶性糖,在渗透适应中发挥了重要作用,有助于保护植物细胞免受低温胁迫造成的损害,这与本研究结果相符。

2.4 贮藏温度对甘薯淀粉含量的影响

甘薯在贮藏过程中通过呼吸作用分解部分淀粉来提供能量,淀粉转化速度与贮藏温度以及自身酶活有关^[19]。由图3可知,不同甘薯品种在贮藏过程中淀粉含量变化趋势与可溶性糖相反。不同温度下甘薯淀粉含量都会随贮藏时间延长而降解,前期(0~14 d)薯块内淀粉含量下降缓慢,可能是贮藏过程中淀粉含量不断下降的同时也不断失去水分,后期(21~35 d)6°C比9°C和12°C条件下贮藏的甘薯淀粉含量显著降低,说明6°C低温贮藏促进淀粉的降解,加

速糖化,这一结果与前人研究结果相似^[20]。可能原因:一是相关淀粉降解酶的活性增加,二是6°C下贮藏改变了淀粉结构,导致淀粉颗粒变小,加快了淀粉的降解速率^[21]。6°C条件下贮藏35 d后,济薯26号、徐薯32号、商薯19号和徐紫薯8号,淀粉含量维持在起始水平的70%以上,相较于其他品种更耐贮藏。

2.5 贮藏温度对甘薯α-淀粉酶活性的影响

淀粉的水解主要依靠α-淀粉酶、β-淀粉酶、支链淀粉酶及α-葡萄糖苷酶的相互作用,其中α-淀粉酶直接作用于整个淀粉粒,使淀粉的黏度降低,释放糊精,然后糊精被另外3种酶水解,其中最主要是β-淀粉酶,可从淀粉的非还原性末端水解麦芽糖,使甘薯具有甜味。前人研究发现^[22],甘薯贮藏过程中α-淀粉酶活性的变化趋势与甘薯总淀粉含量的变化密切相关,同时贮藏前92 d内,α-淀粉酶占据主导地位。由图4可知,3种温度贮藏条件下不同品种α-淀粉酶活性均呈现先升高后下降的趋势。9°C和12°C下贮藏的甘薯多在28 d后达到峰值,6°C下贮藏则更快的

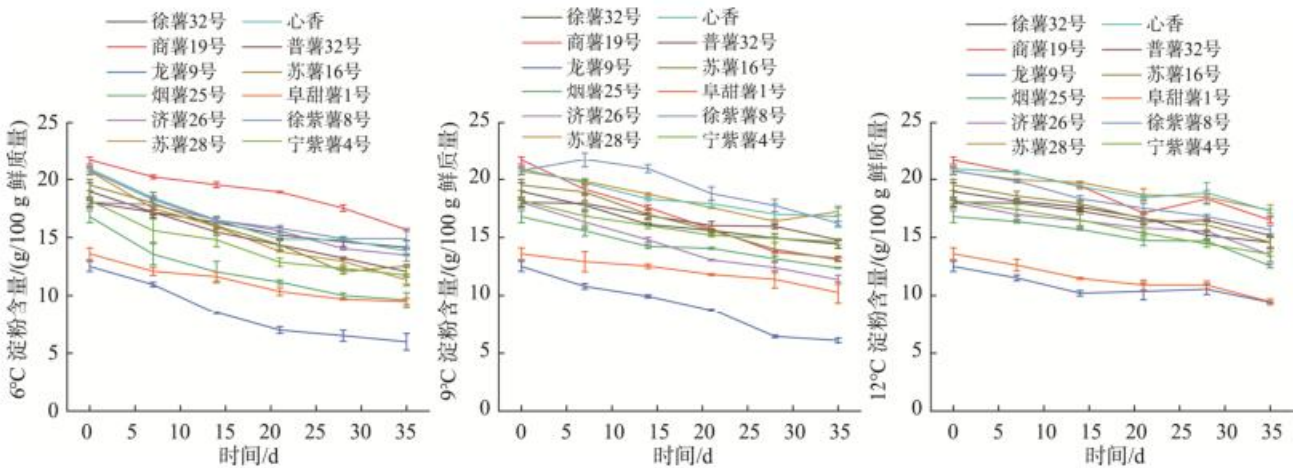


图3 贮藏温度对甘薯淀粉含量的影响
Fig.3 Effects of storage temperature on the starch content in sweet potato

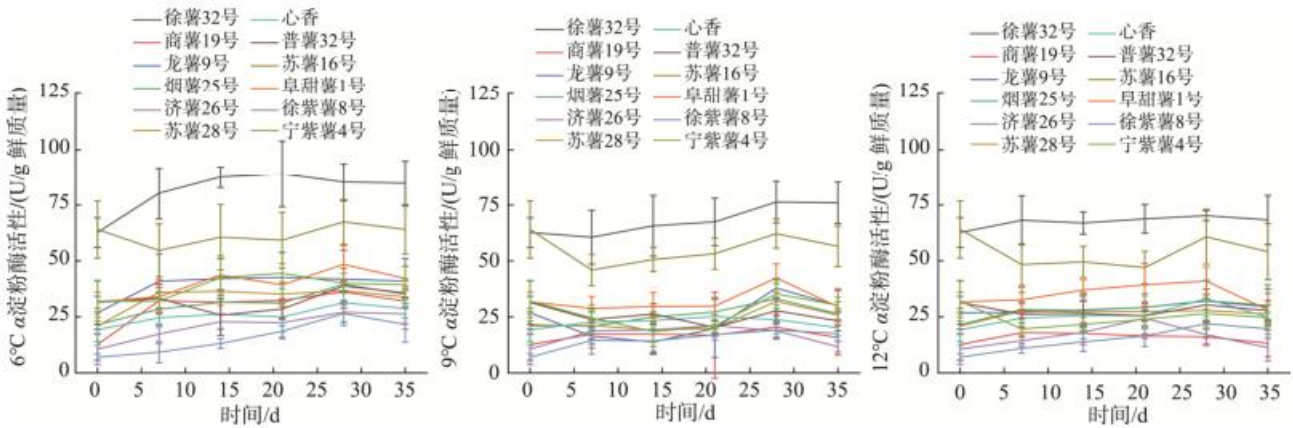


图4 贮藏温度对甘薯α-淀粉酶活性的影响
Fig.4 Effects of storage temperature on the α-amylase activity of sweet potato

达到峰值,并在贮藏 35 d 时仍保持较高活性。 α -淀粉酶的活性与淀粉含量及食味品质有密切关系^[23],酶活高有利于可溶性糖的积累,可快速提高食味品质,而酶活低有利于保持淀粉含量,延长贮藏时间。因此低温条件下 α -淀粉酶活性较小的徐紫薯 8 号、济薯 26 号、心香和商 19 能够更好保持食味品质。

2.6 贮藏温度对甘薯抗坏血酸含量的影响

抗坏血酸是甘薯重要的营养成分,参与体内氧化还原反应^[24]。贮藏过程中,抗坏血酸因受体内抗坏血酸氧化酶的作用而遭到破坏,含量不断减少。由图 5 可以看出,甘薯抗坏血酸含量与贮藏时间呈负相关。在 35 d 的贮藏中,9°C 甘薯变化较平缓,烟薯 25 号和苏薯 16 号在 6°C 贮藏条件下损失较大,其余品种则在 12°C 贮藏条件下损失较大。不同贮藏温度对甘薯抗坏血酸含量的变化具有显著影响 ($P < 0.05$),控制适宜贮藏温度或选择适宜品种均可以使抗坏血酸含量的保存达到理想效果。

2.7 贮藏温度对甘薯谷胱甘肽含量的影响

非酶促清除系统包括抗坏血酸、谷胱甘肽、类胡萝卜素以及含巯基的低分子化合物等,可以在逆境胁迫中去除过量的活性氧,保护膜结构,使甘薯抵御逆境胁迫^[25]。由

图 6 可知,甘薯中谷胱甘肽含量较低,不同品种起始含量在 2.08~5.75 mg/100 g 范围,随着贮藏时间的增加而缓慢降低。12°C 条件下,大部分品种谷胱甘肽的含量在贮藏 28 d 后显著下降;9°C 条件下,贮藏 35 d 后谷胱甘肽较其他温度损失较小;而 6°C 低温条件下,苏薯 28 号、商薯 19 号、徐紫薯 8 号、徐薯 32 号和苏薯 16 号贮藏 35 d 后谷胱甘肽含量仍维持在起始水平的 50% 以上。

2.8 贮藏温度对甘薯果胶含量的影响

甘薯细胞壁主要组分为果胶,它主要由 2 个共同延伸的同型半乳糖醛酸聚糖和鼠李糖聚半乳糖醛酸构成,贮藏期间果胶会由一些高分子量的、高甲基化的果胶多糖转变为低分子的可溶于水的果胶多糖^[26]。由图 7 可知,12°C 贮藏条件下,甘薯果胶含量逐渐减少,这可能是因为在贮藏过程中果胶酶等会降解细胞壁中果胶,原果胶不断降解为可溶性果胶,并随着微纤维间果胶和纤维素物质的溶解,细胞壁变薄,影响薯块质地^[27];9°C 贮藏条件下,甘薯果胶含量呈波动性变化,但整体来看,先上升再下降;6°C 贮藏条件下,甘薯果胶含量变化较平缓,始终保持较高水平,这可能是由于低温贮藏条件下,部分水溶性果胶质会变为不溶性的原果胶质。

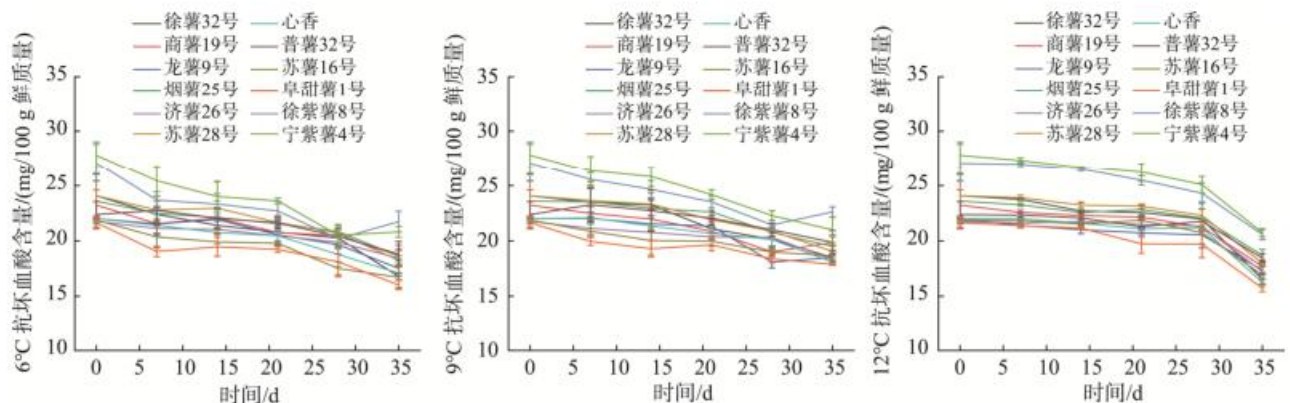


图 5 贮藏温度对甘薯抗坏血酸含量的影响

Fig.5 Effects of storage temperature on the ascorbic acid content in sweet potato

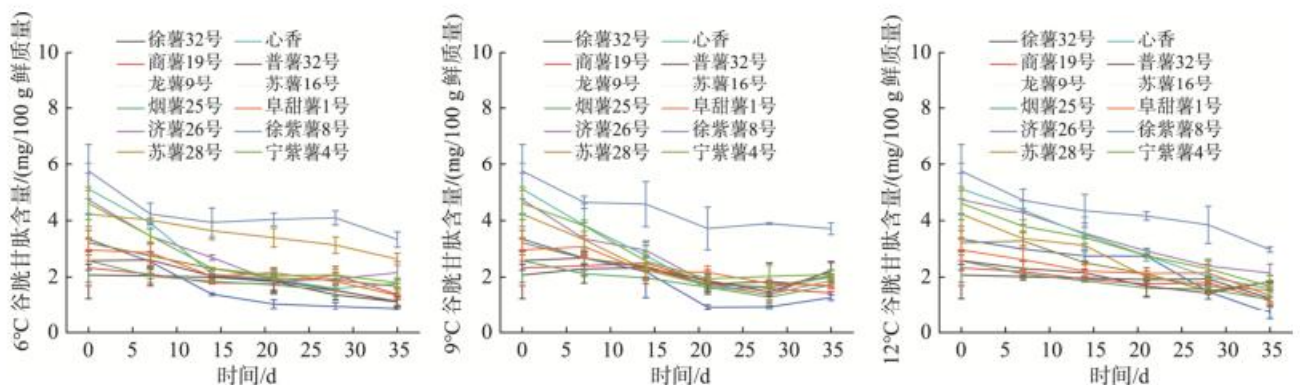


图 6 贮藏温度对甘薯谷胱甘肽含量的影响

Fig.6 Effects of storage temperature on the glutathione content in sweet potato

2.9 贮藏温度对薯块硬度的影响

硬度是反映果实质地及衡量贮藏效果的一个重要指标^[28]。由图8可知,9°C和12°C条件下,硬度曲线变化均随着贮藏时间的延迟先升高后降低,而6°C条件下甘薯硬度

逐渐升高。贮藏35 d后不同贮藏温度下的硬度由大到小依次为6°C、9°C和12°C。6°C组甘薯硬度指标表现异常,可能是由于部分甘薯发生冷害,“硬心”就是甘薯冷害的症状之一。

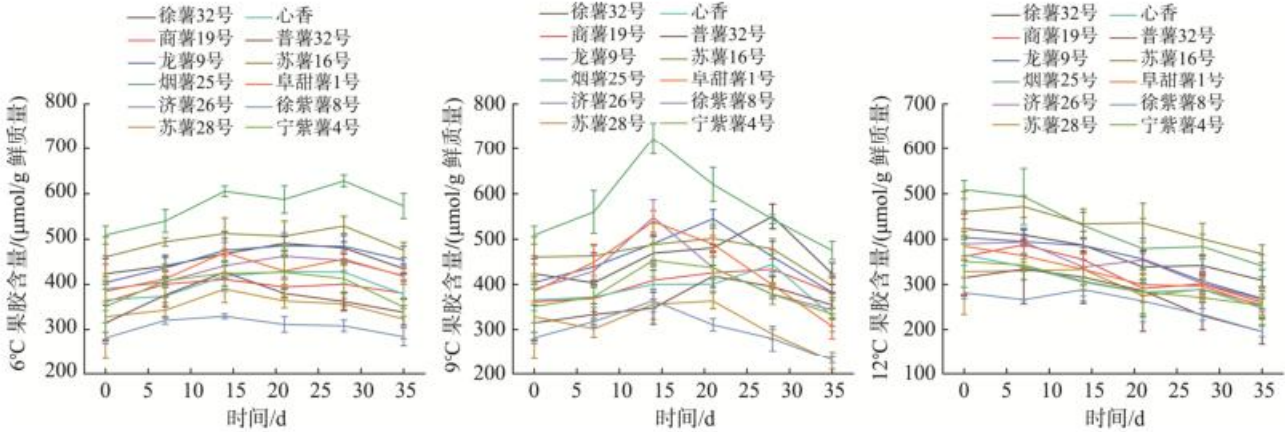


图7 贮藏温度对甘薯果胶含量的影响

Fig.7 Effects of storage temperature on the pectin content in sweet potato

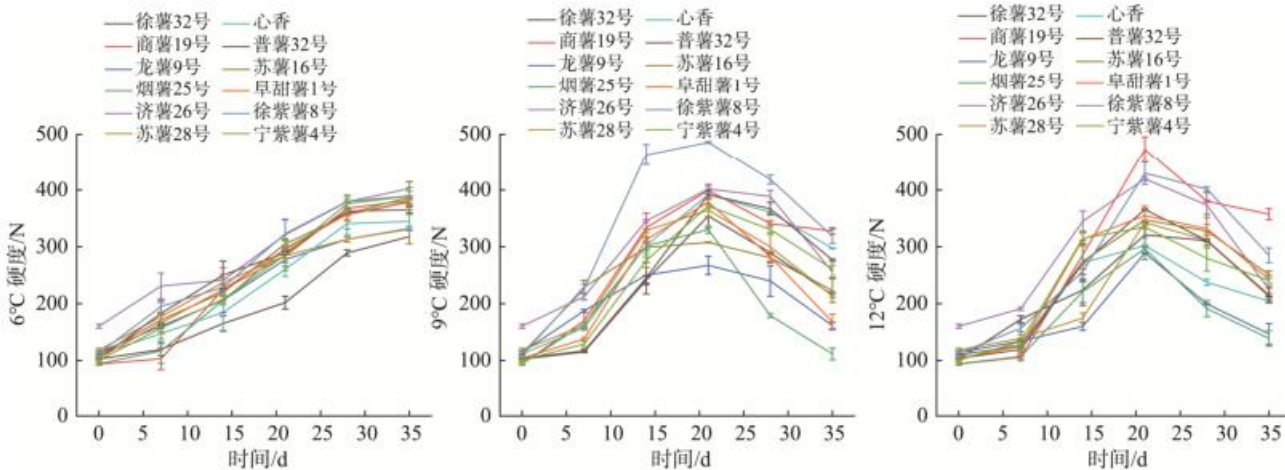


图8 贮藏温度对薯块硬度的影响

Fig.8 Effects of storage temperature on the hardness of sweet potato

3 讨论与结论

贮藏过程中,甘薯营养品质的变化受品种特性、贮藏温度、贮藏湿度和氧气浓度等多维因素作用^[29]。本研究针对不同品种,在不同贮藏温度下分析其品质随时间的变化规律,结果发现:低温条件(6°C)贮藏显著增加甘薯腐烂率,但商薯19、苏薯28号和徐紫薯8号的腐烂率和失重率均表现较低。贮藏期间的重量减轻既包含水分流失又包含营养成分消耗,相同品种在6°C贮藏条件下失重率低于9°C和12°C,说明低温更有利于水分的保持。营养成分既包括碳水化合物也包括属于抗氧化剂的活性成分,不同贮藏温度条件下,薯块中可溶性糖含量均逐渐增多,而淀粉含量

逐渐减少,这与前人研究结果略有不同^[30],可能与品种特性、贮藏湿度等因素不同有关。贮藏期间相同品种间,随着温度的降低,可溶性糖含量逐渐增多,表明低温贮藏反而更有利于甘薯糖化,从而增加甘薯的甜味;不同品种间的可溶性糖含量变化趋势并不相同,可能与不同甘薯品种的淀粉含量及淀粉酶活性有关。抗坏血酸和谷胱甘肽作为非酶促清除系统的主要组分,会在抗氧化等抵抗逆境过程中不断消耗,这与本研究结果两者含量均随贮藏时间的增加而缓慢降低相吻合,而9°C条件下损失率最低,说明较低温度和较高温度都会引起胁迫,不利于甘薯的贮藏。本研究发现甘薯果胶的含量呈波动性变化,但与腐烂率和失重率无相关性,这一结果表明,果胶含量并不是影响耐

贮性差异的主要因素, 与前人研究结果相一致^[31]。而果胶含量的变化与硬度变化趋势相同, 说明甘薯的果胶含量与硬度紧密相关。

综上所述, 不同甘薯品种的贮藏特性存在较大差异, 大部分品种的最适贮藏温度为 9°C。在低温 6°C 条件下, 商薯 19、苏薯 28 号和徐紫薯 8 号失重率及腐烂率较低, 没有发生冷害, 相较于其他品种更适宜低温贮藏, 同时其淀粉含量损失较少, 可溶性糖含量较高, 能更好保持营养、风味和表观品质, 是适合奈曼旗等冷凉地区种植的耐储优质甘薯品种。但长期低温贮藏是否影响这 3 个甘薯品种的品质以及低温贮藏后的甘薯是否有利于产品的加工等问题还需要进一步研究验证。

参考文献

- [1] 李强, 赵海, 靳艳玲, 等. 中国甘薯产业助力国家粮食安全的分析与展望[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(6): 1484–1491.
LI Q, ZHAO H, JIN YL, *et al.* Analysis and perspectives of sweetpotato industry contributing to national food security in China [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2022, 38(6): 1484–1491.
- [2] 丛向阳. 奈曼旗耕地土壤养分现状调查报告[J]. 土壤肥料, 2016, 30: 109–113.
CONG XY. Investigation report on the current situation of soil nutrients in cultivated land of Naiman banner [J]. *Soil Fertilizer*, 2016, 30: 109–113.
- [3] RAVI V, AKED J, BALAGOPALAN C. Review on tropical root and tuber crops. I. storage methods and quality changes [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1996, 36(7): 661–709.
- [4] 何雪莲, 郑琛燕, 韩丽春, 等. 甘薯采后贮藏保鲜研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(18): 222–230.
HE XL, ZHENG YY, HAN LC, *et al.* Research progress on postharvest storage and preservation of sweet potato [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(18): 222–230.
- [5] 林婕, 邱万伟, 萧国庆, 等. 温度对甘薯贮藏品质的影响研究[J]. 食品工业, 2016, 37(3): 64–67.
LIN J, QIU WW, XIAO GQ, *et al.* Effects of temperature on the storage quality of sweet potatoes [J]. *Food Ind*, 2016, 37(3): 64–67.
- [6] 赵海, 木泰华, 鄂文弟, 等. 甘薯储藏与加工技术手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
ZHAO H, MU TH, E WD, *et al.* Sweetpotato storage and processing technology manual [M]. Beijing: China Agric Press, 2021.
- [7] 解则义, 李洪民, 马代夫, 等. 低温胁迫影响甘薯贮藏的研究进展[J]. 植物生理学报, 2017, 53(5): 758–767.
XIE ZY, LI HM, MA DF, *et al.* Research progress of the effects of low temperature stress on the sweetpotatoduring storage [J]. *J Plant Physiol*, 2017, 53(5): 758–767.
- [8] 韦强, 钱井, 满杰. 不同甘薯品种贮藏效果的比较[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(19): 180–182.
WEI Q, QIAN J, MAN J. Comparison of the storage effects among different sweetpotato varieties [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2022, 50(19): 180–182.
- [9] 赵琳, 叶夏芳, 董韦, 等. 贮藏期不同类型甘薯块根营养品质与淀粉特性变化[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(12): 2224–2233.
ZHAO L, YE XF, DONG W, *et al.* Changes of nutritional quality and starch properties of different types of sweetpotato roots during storage [J]. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2021, 33(12): 2224–2233.
- [10] 李鹏霞, 王炜, 胡花丽, 等. 低温贮藏下两种甘薯的品质变化研究[J]. 江西农业学报, 2009, 21(4): 73–75.
LI PX, WANG W, HU HL, *et al.* Changes of quality of two varieties of sweet potato stored at low temperature [J]. *Acta Agric Jiangxi*, 2009, 21(4): 73–75.
- [11] 张有林, 张润光, 王鑫腾. 甘薯采后生理、主要病害及贮藏技术研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(3): 553–563.
ZHANG YL, ZHANG RG, WANG XT. Study on postharvest physiology, main diseases and storage technology of sweetpotato [J]. *J Integr Agric*, 2014, 47(3): 553–563.
- [12] 陈玲玲, 曹如霞, 徐舒, 等. 甘薯块根在不同温度贮藏过程中游离糖及膳食纤维的变化[J]. 植物生理学报, 2020, 56(4): 871–878.
CHEN LL, CAO RX, XU S, *et al.* Changes of free sugar and dietary fiber in sweetpotato roots during storage at different temperatures [J]. *J Plant Physiol*, 2020, 56(4): 871–878.
- [13] 董顺旭, 李爱贤, 侯夫云, 等. 北方甘薯安全贮藏影响因素的研究进展[J]. 山东农业科学, 2013, 45(12): 123–125.
DONG SX, LI AIX, HOU FY, *et al.* Research progress of factors influencing safe storage of sweetpotato in north China [J]. *Shandong Agric Sci*, 2013, 45(12): 123–125.
- [14] 艾玉春, 王炜, 李鹏霞, 等. 甘薯在贮藏期间营养与生理变化研究[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(2): 37–42.
AI YC, WANG W, LI PX, *et al.* Studies on changes for nutrition and physiology about two breeds of sweetpotato in preservation [J]. *J Food Sci Technol*, 2013, 31(2): 37–42.
- [15] 闫海锋, 李韦柳, 熊军, 等. 不同贮藏温度对甘薯品质及失重率的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(2): 137–140.
YAN HF, LI WL, XIONG J, *et al.* Effect of different storage temperature on quality and weight loss rate of sweetpotato [J]. *Hubei Agric Sci*, 59(2): 137–140.
- [16] 张毅, 孙健, 钮福祥, 等. 甘薯中糖组分含量与甜度的相关性分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(23): 190–194.
ZHANG Y, SUN J, NIU FX, *et al.* Correlation analysis between sugar component content and sweetness in sweetpotatoes [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 2021, 49(23): 190–194.
- [17] 崔鹏, 赵逸人, 姚志鹏, 等. 低温对甘薯淀粉理化特性及代谢关键基因表达量的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(19): 3831–3840.
CUI P, ZHAO YR, YAO ZP, *et al.* Starch physicochemical properties and expression levels of anabolism key genes in sweetpotato under low temperature [J]. *Sci Agric Sin*, 2022, 55(19): 3831–3840.
- [18] MA YY, ZHANG YL, LU J, *et al.* Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress [J]. *Afric J Biotechnol*, 2009, 8(10): 2004–2010.
- [19] 朱红, 李洪民, 张爱君, 等. 甘薯贮藏期呼吸强度与主要品质的变化研

- 究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(7): 64-67.
ZHU H, LI HM, ZHANG AJ, *et al.* Changes of respiratory intensity and quality of sweetpotato during storage [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, 26(7): 64-67.
- [20] 江凌峰, 周淑倩, 潘站禹, 等. 不同储藏时间及温度对新鲜甘薯淀粉特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(1): 30-36.
JIANG LF, ZHOU SQ, PAN JY, *et al.* Effect of different storage time and temperature on starch properties of fresh sweetpotato [J]. *J Chin Cereal Oil Ass*, 2022, 37(1): 30-36.
- [21] NIU SY, LI XQ, TANG RM, *et al.* Starch granule sizes and degradation in sweet potatoes during storage [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2019, 150: 137-147.
- [22] 唐君, 周志林, 赵冬兰, 等. 甘薯贮藏过程淀粉酶活性变化及对薯块芽萌发的影响[J]. 福建农业学报, 2010, 25(6): 699-702.
TANG J, ZHOU ZL, ZHAO DL, *et al.* Change of amylase content in storage and its effect on germination of sweetpotatoes [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2010, 25(6): 699-702.
- [23] 王庆南, 戎新祥, 周一波, 等. 食用甘薯品种的部分理化特性与口感品质的关系[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(5): 405-409.
WANG QN, RONG XX, ZHOU YB, *et al.* Relationship between taste quality and physiological chemical properties of sweetpotato varieties [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2007, 23(5): 405-409.
- [24] BARRERA WA, PICHA DH. Ascorbic acid, thiamin, riboflavin, and vitamin B-6 contents vary between sweetpotato tissue types [J]. *Sci Hortic-amsterdam*, 2014, 49(11): 1470-1475.
- [25] 王思奇. 抗氧化系统调控甘薯贮藏特性的机制研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
WANG SQ. Study on mechanism of antioxidant system regulating storage characteristics of sweetpotato [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [26] 李萍, 廖康, 赵世荣, 等. 杏果实采收后细胞壁组份及水解酶活性变化研究[J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(6): 446-451.
LI P, LIAO K, ZHAO SR, *et al.* Changes in cell wall components and hydrolytic enzyme activity of apricot fruits after harvest [J]. *J Xinjiang Agric Univ*, 2012, 35(6): 446-451.
- [27] PHILIP DC, NORHASHILA H, ROSNAH S, *et al.* Quality evaluation of sweetpotatoes (*Ipomoea batatas* L.) of different varieties using laser light backscattering imaging technique [J]. *Sci Hortic-amsterdam*, 2020, 260(1): 1-10.
- [28] 杨冬静, 谢逸萍, 孙厚俊, 等. 低温贮藏条件下2个甘薯品种碳水化合物代谢和生理响应的比较[J]. 江苏师范大学学报(自然科学版), 2020, 38(3): 28-31.
YANG DJ, XIE YP, SUN HJ, *et al.* Carbohydrate metabolism and physiological response in relation to cold temperature storage between two sweetpotato cultivars [J]. *J Jiangsu Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2020, 38(3): 28-31.
- [29] 陈路路, 孙哲, 田昌庚, 等. 贮藏条件对不同甘薯品种外观和品质性状的影响[J]. 农学学报, 2023, 13(5): 76-81.
CHEN LL, SUN Z, TIAN CG, *et al.* Storage conditions of different types of sweetpotato varieties: Effects on appearance and quality traits [J]. *J Agric*, 2023, 13(5): 76-81.
- [30] 柳洪鹏, 史春余, 张海峰, 等. 甘薯贮藏过程中营养品质变化及生理机制研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2012, 43(1): 159-162.
LIU HJ, SHI CY, ZHANG HF, *et al.* Research progression nutritional changes and physiological mechanism of sweetpotato during storage [J]. *J Shandong Agric Univ (Nat Sci Ed)*, 2012, 43(1): 159-162.
- [31] 曹如霞, 徐舒, 李玲, 等. 甘薯块根贮藏期间细胞壁成分及降解酶活性变化[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(5): 59-69.
CAO RX, XU S, LI L, *et al.* Changes of cell wall components and degradation enzyme activity in sweetpotato storage roots during storage [J]. *J China Agric Univ*, 2020, 25(5): 59-69.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



张毅, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为甘薯产后贮藏与加工。
E-mail: zhangyijsnu@163.com



于涛, 硕士, 研究员, 主要研究方向为甘薯分子遗传育种。
E-mail: 18802421111@139.com



孙健, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工。
E-mail: sjsg9902@126.com