

施钾对甘薯贮藏期腐烂率及碳水化合物变化的影响

陈匡稷^{1,2} 宋建忠³ 林力卓^{1,2} 崔鹏^{1,2} 吕尊富^{1,2} 潘牧⁴ 陆国权^{1,2*}

(1. 浙江农林大学 现代农学院/浙江省农产品品质改良重点实验室, 杭州 311300;

2. 浙江农林大学 薯类作物研究所, 杭州 311300;

3. 浙江省衢江区莲花镇农技站, 浙江 衢江 324000;

4. 贵州省生物技术研究所, 贵阳 550006)

摘要 为探究甘薯最宜施钾浓度以期延长甘薯贮藏和保持较好的营养品质,以‘商薯19’和‘心香’2个品种为材料,设置0 kg/hm²(K₀)、75 kg/hm²(K₁)、150 kg/hm²(K₂)、225 kg/hm²(K₃)和300 kg/hm²(K₄)5个钾肥(K₂O)浓度在扦插及扦插30 d后施用。甘薯块根收获、愈伤后贮藏于14℃、相对湿度为85%的环境中,测定贮藏0、15、30、60和90 d的腐烂率、营养品质以及淀粉酶活性。结果表明:K₂处理的‘商薯19’和K₃处理的‘心香’耐贮性较好,腐烂率最低,分别为18.25%和23.00%;‘商薯19’和‘心香’在贮藏期内二者淀粉含量总体呈先下降后上升的趋势,可溶性糖含量总体呈先上升后下降的趋势。其中,K₂处理的‘商薯19’淀粉含量最高,为82.05%。K₃处理的‘心香’果糖和葡萄糖含量显著高于其他处理。因此,在甘薯生长过程中,施用150 kg/hm²浓度的钾肥(K₂O)能有效降低其在贮藏期内的腐烂率,保持较好的营养品质。

关键词 甘薯; 钾肥; 贮藏; 碳水化合物; 淀粉酶

中图分类号 S531

文章编号 1007-4333(2022)06-0100-10

文献标志码 A

Effect of potassium application on the decay rate and carbohydrate of sweetpotato during storage

CHEN Kuangji^{1,2}, SONG Jianzhong³, LIN Lizhuo^{1,2}, CUI Peng^{1,2}, LV Zunfu^{1,2}, PAN Mu⁴, LU Guoquan^{1,2*}

(1. College of Advanced Agricultural Sciences/Key Laboratory for Quality Improvement of Agricultural Products of Zhejiang Province, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China;

2. Institute of Root & Tuber Crops, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China;

3. Lianhua Town Agricultural Technical Station of Qujiang District, Qujiang 324000, China;

4. Guizhou Biotechnology Institute, Guiyang 550006, China)

Abstract In order to investigate the effects of potassium application on root rot rate and carbohydrate content of sweet potato during storage, sweet potato varieties ‘Shangshu19’ and ‘Xinxiang’ were taken as study materials. Five potassium rates (0, 75, 150, 225, 300 kg/hm², named as K₀, K₁, K₂, K₃ and K₄, respectively) were applied at cutting day and 30 days after cutting. The rot rate, nutritional quality and amylase activity of sweet potato roots were measured at 14℃ and 85% relative humidity for 0, 15, 30, 60 and 90 days after storage. The results showed that: ‘Shangshu19’ of K₂ treatment and ‘Xinxiang’ of K₃ treatment displayed better storability performances at 18.25% and 23%. During the storage, the starch contents of ‘ShangShu19’ and ‘Xinxiang’ decreased firstly and increased afterwards, while the soluble sugar content firstly increased and then decreased. Among them, the starch content of ‘ShangShu19’ of K₂ treatment was the highest at 82.05%. The fructose and glucose content of ‘Xinxiang’ of K₃

收稿日期: 2021-09-05

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-10-B21);浙江省重点研发计划项目(2021C02057);贵州省科技计划项目(黔科合成果[2020]1Y023)

第一作者: 陈匡稷, 硕士研究生, E-mail: kuangjic@gmail.com

通讯作者: 陆国权, 教授, 主要从事薯类作物品质及其产后技术研究, E-mail: lugq10@zju.edu.cn

treatment was significantly higher than those in other treatments. Therefore, application of potassium fertilizer (K_2O) at the concentration of 150 kg/hm^2 can effectively reduce the rot rate of sweetpotato during storage and maintain good nutritional quality.

Keywords sweetpotato; potassium; fertilizer; storage; carbohydrate; amylase

甘薯 (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) 又名红薯、山芋等, 属旋花科植物, 是一年生或多年生蔓生草本植物^[1]。甘薯具有适应性强、栽培简便、产量高、营养丰富、用途广泛等特点^[2], 甘薯是世界第 7 大作物, 也是我国第 4 大粮食作物, 同时也是重要的饲料、工业原料和新型的生物能源作物^[3]。甘薯一般以块根为收获物, 薯块含水量高、组织柔嫩, 较易在采收、运输、贮藏过程中产生机械损伤^[4-5]。据统计, 中国甘薯种植面积约 670 万 hm^2 , 产量 1 亿 t, 约 30% 的甘薯因贮藏不当造成了巨大浪费, 限制了甘薯产业的发展^[6]。因此, 要保证甘薯贮藏保鲜及其加工产业的发展, 减少甘薯因贮藏所造成的损失就显得至关重要。

有关钾对甘薯品质等的影响研究大多集中于甘薯膨大过程及收获时期, 但钾对甘薯贮藏品质的影响研究较少。张海燕等^[7]研究发现施钾肥显著提高了鲜薯和薯干产量, 促进了甘薯块根的膨大和甘薯干物质的积累。洪克前等^[8]研究发现采前适量增施硫酸钾能提高果实采收时可溶性糖、可溶性蛋白、可滴定酸、维生素 C 的含量; 延缓果实贮藏中后期可溶性固形物、维生素 C 和可滴定酸含量的下降, 提高可溶性蛋白含量。许燕等^[9]研究发现施用钾肥可提高甘薯收获期块根中营养物质含量。黄艳霞等^[10]研究发现低密度适量钾肥有利于龙紫 4 号可溶性糖和蔗糖的积累, 低密度低钾肥有利于淀粉的积累, 高密度低钾肥有利于花色苷的积累。

植物组织中的糖包括可溶性糖和非可溶性糖, 而甘薯在贮藏中发生变化的糖主要是可溶性糖和非可溶性糖中的淀粉^[11]。甘薯块根食味的决定因素为可溶性糖, 新鲜薯块中的糖以蔗糖、葡萄糖和果糖为主, 在加热过程中大部分淀粉会在淀粉酶的作用下转化为糊精和麦芽糖^[12]。甘薯是呼吸跃变型作物, 淀粉是甘薯主要营养成分之一, 是鉴定甘薯品质的重要指标, 贮藏期间淀粉含量会因温度、品种等因素影响而呈现不同变化^[13-14]。在甘薯贮藏前期淀粉含量减少与 α -淀粉酶活性变化有关, 葡萄糖和蔗糖含量在贮藏期间有所增加^[15]。‘心香’、‘浙薯 75’、‘农林 54’ 3 个品种在贮藏期干率呈上升趋势, 淀粉

含量呈下降趋势^[16]。植物体内的钾以离子形式参与植物的各种代谢活动, 与植物的正常生长发育、产量、品质、抗逆性能等有着密切联系^[17]。有关钾肥的施用对甘薯贮藏期腐烂率及营养品质的影响研究较少, 本试验通过分析不同施钾量对甘薯在贮藏期间腐烂率及碳水化合物变化的影响, 明确甘薯最宜施钾浓度, 以为甘薯块根合理贮藏及品质保持提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

本试验在浙江农林大学官塘基地进行。试验甘薯选取淀粉型‘商薯 19’和鲜食型‘心香’; 氮肥采用尿素 (N 含量 46%)、磷肥采用过磷酸钙 (P_2O_5 含量 16%)、钾肥采用硫酸钾 (K_2O 含量 51%)。供试土壤类型为红壤土, 0~20 cm 土层土壤全氮含量为 1.62 g/kg , 全磷含量为 1.08 g/kg , 全钾含量为 25.2 g/kg 。

设置 0 kg/hm^2 (K_0)、 75 kg/hm^2 (K_1)、 150 kg/hm^2 (K_2)、 225 kg/hm^2 (K_3) 和 300 kg/hm^2 (K_4) 5 个钾肥 (K_2O) 梯度, 各处理的氮肥 (N) 用量均为 100 kg/hm^2 , 磷肥 (P_2O_5) 用量均为 121.5 kg/hm^2 。种植前先施一次基肥, 在种植 30 d 后即薯苗分枝时期追施相同浓度氮钾肥, 不施磷肥。小区面积 24 m^2 ($6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$), 行距 100 cm, 株距 25 cm, 起垄栽植, 每小区 4 垄, 重复 3 次, 随机区组排列。生育期 130 d, 于 2019 年 5 月 30 日扦插薯苗, 同年 10 月 8 日收获甘薯, 并挑选大小一致、无破损、无病虫害、无明显破损的块根存放于温度为 $14 \text{ }^\circ\text{C}$, 湿度为 85% 的保鲜库中, 贮藏至 0、15、30、60 和 90 d, 分别取样, 并测定其腐烂率、淀粉、葡萄糖、果糖、蔗糖及淀粉酶的活性。

1.2 试验方法

甘薯腐烂率的测定参照王雪姣等^[18]的方法, 具体计算方式如下:

腐烂率 = (腐烂甘薯个数 / 甘薯总个数) $\times 100\%$,

淀粉含量测定采用酸解 DNS 法^[19]。可溶性糖测定参照李燕平^[20]试验方法。淀粉酶活性测定参照郑炳松^[21]试验方法。

1.3 统计分析

采用 SPSS 20 软件对试验数据进行统计分析,采用 Tukey 方法对数据进行多次检验以及 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 甘薯块根贮藏期间腐烂率变化

由表 1 可知,在 0~60 d 贮藏期内,‘商薯 19’各处理没有出现腐烂现象,在 90 d 时出现腐烂现象。

在贮藏 90 d 后,‘商薯 19’ K_1 、 K_3 处理腐烂率较高, K_1 处理最高,达 28.57%,而 K_3 次之,为 28.25%;‘商薯 19’ K_2 、 K_4 处理腐烂率较低, K_2 最低,为 18.21%, K_4 为 18.93%。‘心香’ K_1 、 K_4 处理在 60 d 时就开始出现腐烂,在 90 d 时腐烂率达到最高,均为 35%,显著高于其他 4 个处理。‘心香’ K_0 、 K_2 、 K_3 处理在 0~60 d 贮藏期内没出现腐烂象,在贮藏 90 d 后出现不同程度的腐烂现象。其中‘心香’ K_2 、 K_3 腐烂率较低, K_3 最低,为 22.69%, K_2 为 25%。

表 1 贮藏 0~90 d 甘薯块根腐烂率

Table 1 Rotting rate of sweetpotato roots from 0 to 90 days during the storage

%

品种 Variety	处理 Treatment	腐烂率 Rotting rate				
		贮藏 0 d	贮藏 15 d	贮藏 30 d	贮藏 60 d	贮藏 90 d
商薯 19 Shangshu 19	K_0	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	25.24±2.02 b
	K_1	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	28.57±2.86 a
	K_2	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	18.21±1.82 c
	K_3	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	28.25±2.83 a
	K_4	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	18.93±1.89 c
心香 Xinxiang	K_0	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 c	30.41±2.74 b
	K_1	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	16.67±0.17 b	35.42±3.54 a
	K_2	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 c	25.00±2.5 c
	K_3	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 c	22.69±2.27 c
	K_4	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	33.43±3.34 a	34.68±0.35 a

注:表中 K_0 、 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 分别代表 0、75、150、225、300 kg/hm² 钾肥施用量,用不同小写字母标识代表不同处理在同一贮藏时期差异显著, $P<0.05$ 。下同。

Note: Potassium application rates are 0(K_0), 75(K_1), 150(K_2), 225(K_3) and 300(K_4) kg/hm², respectively. Different lowercase letters after each value indicate significant differences in the same storage period of different potassium fertilizers at $P<0.05$. The same below.

2.2 施钾对甘薯贮藏期间淀粉含量的影响

如表 2 所示,‘商薯 19’和‘心香’各处理在贮藏期间淀粉含量总体呈先下降后上升趋势。‘商薯 19’各处理淀粉含量均在贮藏 15 d 时达到最小值,其中‘商薯 19’ K_2 、 K_3 处理的淀粉含量显著高于其他处理,分别为 68.35%和 67.46%;‘商薯 19’淀粉含量在贮藏 90 d 后达到最大值,其中‘商薯 19’ K_2 处理的淀粉含量显著高于其他处理,为 82.05%。‘心香’ K_0 、 K_1 、 K_2 处理的淀粉含量在贮藏 15 d 时达到最小值,分别为 63.65%、64.34%和 66.53%,且 K_2 处理与 K_0 、 K_1 处理差异显著;‘心香’ K_4 处理在贮藏 30 d 时达到最小值,为 61.59%;在贮藏 90 d 时,‘心香’ K_3 处理的淀粉含量达到最小值,为 64.4%,显著低于其他处理,且下降幅度最大,达到

17.32%。

2.3 施钾对甘薯贮藏期间果糖含量的影响

如表 3 所示,‘商薯 19’和‘心香’各处理组贮藏期间果糖含量呈先上升后下降趋势。‘商薯 19’ K_0 、 K_3 、 K_4 各处理在贮藏 15 d 时达到最大值,分别为 2.42、3.12 和 2.77 mg/g, K_3 处理果糖含量高于 K_4 处理高于 K_0 处理,差异显著;‘商薯 19’ K_1 处理在贮藏 30 d 时达到最大值,为 3.36 mg/g;‘商薯 19’ K_2 处理在贮藏 60 d 时达到最大值,为 2.99 mg/g;在贮藏 90 d 后,‘商薯 19’ K_2 、 K_3 处理的果糖含量显著高于其他处理,分别为 1.85 mg/g 和 1.79 mg/g,但两者间差异不显著。‘心香’ K_0 、 K_1 、 K_2 、 K_3 处理在贮藏 15 d 时达到最大值,分别为 1.93、3.89、1.63 和 1.57 mg/g, K_1 处理果糖含量高于 K_0 处理高于

K₂ 处理高于 K₃ 处理；‘心香’K₄ 处理在贮藏 30 d 时达到最大值，为 2.57 mg/g；在贮藏 90 d 后，‘心香’K₃ 处理的果糖含量显著高于其他处理，为 1.43 mg/g。

表 2 贮藏 0~90 d 甘薯块根淀粉含量

Table 2 Starch content of sweetpotato roots from 0 to 90 days during storage

%

品种 Variety	处理 Treatment	淀粉含量 Starch content				
		贮藏 0 d	贮藏 15 d	贮藏 30 d	贮藏 60 d	贮藏 90 d
商薯 19 Shangshu 19	K ₀	72.69±0.53 bc	65.59±0.22 b	71.72±0.21 b	73.79±0.16 b	80.47±0.90 b
	K ₁	73.30±0.31 b	65.87±0.47 b	65.97±0.24 e	75.93±0.21 a	80.75±0.40 b
	K ₂	75.24±0.96 a	68.35±0.06 a	70.85±0.67 c	72.48±0.25 c	82.05±0.39 a
	K ₃	73.79±1.28 ab	67.46±0.58 a	72.92±0.08 a	72.03±0.10 c	79.01±0.20 c
	K ₄	72.47±0.73 bc	61.72±0.81 c	70.16±0.48 d	74.06±0.39 b	78.96±0.34 c
心香 Xinxiang	K ₀	73.99±0.19 c	63.65±0.57 c	70.78±0.25 a	70.71±0.51 c	73.91±0.26 c
	K ₁	74.73±0.66 c	64.34±0.37 c	66.95±0.41 c	74.65±0.06 a	75.94±0.29 a
	K ₂	74.74±0.24 c	66.53±0.44 b	69.02±0.43 b	72.87±0.32 b	74.97±0.10 b
	K ₃	77.89±0.21 a	68.41±0.31 a	69.52±0.67 b	69.70±0.28 d	64.40±0.11 d
	K ₄	76.38±0.52 b	66.26±0.40 b	61.59±0.06 d	68.78±0.44 e	75.76±0.14 a

表 3 贮藏 0~90 d 甘薯块根果糖含量

Table 3 Fructose content of sweetpotato roots from 0 to 90 days during storage

mg/g

品种 Variety	处理 Treatment	果糖含量 Fructose content				
		贮藏 0 d	贮藏 15 d	贮藏 30 d	贮藏 60 d	贮藏 90 d
商薯 19 Shangshu 19	K ₀	1.56±0.32 a	2.42±0.83 d	1.59±0.12 d	0.82±0.22 e	0.71±0.26 c
	K ₁	0.83±0.09 d	2.65±0.11 c	3.36±0.12 a	1.62±0.26 d	1.10±0.08 b
	K ₂	0.79±0.08 e	2.32±0.92 e	2.55±0.10 b	2.99±0.12 a	1.85±0.06 a
	K ₃	1.22±0.11 c	3.12±0.40 a	2.42±0.13 c	2.83±0.37 b	1.79±0.13 a
	K ₄	1.28±0.17 b	2.77±0.14 b	0.53±0.06 e	2.02±0.13 c	1.31±0.46 b
心香 Xinxiang	K ₀	1.30±0.26 c	1.93±0.12 c	0.95±0.06 e	0.89±0.33 d	0.86±0.12 c
	K ₁	1.77±0.12 a	3.89±0.20 a	2.37±0.25 b	1.37±0.12 b	0.74±0.20 e
	K ₂	1.35±0.27 b	1.63±0.08 d	1.39±0.14 d	0.73±0.11 e	0.85±0.16 d
	K ₃	0.59±0.16 e	1.57±0.11 e	1.44±0.10 c	1.21±0.22 c	1.43±0.23 a
	K ₄	0.96±0.32 d	2.21±0.61 b	2.57±0.12 a	1.46±0.21 a	1.18±0.09 b

2.4 施钾对甘薯贮藏期间葡萄糖含量的影响

如表 4 所示，‘商薯 19’和‘心香’各处理在贮藏期间葡萄糖含量总体呈现上升后下降趋势。‘商薯 19’K₀、K₃、K₄ 处理在贮藏 15 d 后达到最大值，分别为 1.48、2.21 和 2.01 mg/g，其中 K₃ 处理葡萄糖含量显著高于 K₄ 处理高于 K₀ 处理；‘商薯 19’K₁ 处理在贮藏 30 d 时达到最大值，为 2.26 mg/g；‘商薯 19’K₂ 处理在贮藏 60 d 时达到最大值，为 1.53 mg/g；

贮藏 90 d 后，‘商薯 19’K₂ 处理的葡萄糖含量显著高于其他处理，为 1.05 mg/g。‘心香’各处理均在贮藏 15 d 时达到最大值，分别为 1.57、3.13、1.46、1.39 和 1.85 mg/g，其中 K₁ 处理葡萄糖含量显著高于 K₄ 处理，其次 K₀ 处理，再其次 K₂ 处理，最后 K₃ 处理；在贮藏 90 d 后，‘心香’K₃、K₄ 处理的葡萄糖含量显著高于其他处理，分别为 1.30 和 1.32 mg/g，但两者之间差异不显著。

表4 贮藏0~90 d甘薯块根葡萄糖含量

Table 4 Glucose content of sweetpotato roots from 0 to 90 days during storage

mg/g

品种 Variety	处理 Treatment	葡萄糖含量 Glucose content				
		贮藏 0 d	贮藏 15 d	贮藏 30 d	贮藏 60 d	贮藏 90 d
商薯 19 Shangshu 19	K ₀	1.39±0.24 a	1.48±0.32 d	0.78±0.10 d	0.72±0.06 e	0.37±0.21 e
	K ₁	0.80±0.25 d	1.82±0.07 c	2.26±0.17 a	0.79±0.05 d	0.58±0.11 d
	K ₂	0.66±0.21 e	1.28±0.11 e	1.37±0.26 c	1.53±0.27 b	1.05±0.12 a
	K ₃	0.95±0.10 c	2.21±0.04 a	1.54±0.09 b	1.58±0.09 a	0.95±0.21 b
	K ₄	0.98±0.18 b	2.01±0.13 b	0.55±0.03 e	1.11±0.32 c	0.61±0.04 c
心香 Xinxiang	K ₀	1.16±0.32 b	1.57±0.08 c	0.83±0.28 e	0.94±0.27 d	0.73±0.04 b
	K ₁	1.22±0.07 a	3.13±0.21 a	1.74±0.08 a	1.16±0.16 b	0.74±0.15 b
	K ₂	1.16±0.11 c	1.46±0.21 d	1.13±0.15 d	0.68±0.35 e	0.71±0.04 b
	K ₃	0.63±0.04 e	1.39±0.16 e	1.31±0.06 c	1.11±0.29 c	1.30±0.08 a
	K ₄	0.77±0.13 d	1.85±0.22 b	1.73±0.10 b	1.37±0.19 a	1.32±0.07 a

2.5 施钾对甘薯贮藏期间蔗糖含量的影响

如表5所示,‘商薯19’和‘心香’各处理在贮藏期间蔗糖含量总体呈先上升后下降趋势。‘商薯19’K₀、K₁、K₂处理在贮藏30 d时达到最大值,分别为7.86、9.76和7.04 mg/g,其中K₁处理蔗糖含量显著高于K₀和K₂处理;‘商薯19’K₃、K₄处理在贮藏15 d时达到最大值,分别为6.74和8.99 mg/g,且K₄处理蔗糖含量显著高于K₃处理;在贮藏90 d

后,‘商薯19’K₀、K₁处理的蔗糖含量显著高于其他处理,分别为5.62和5.48 mg/g,但两者之间差异不显著。‘心香’K₀、K₂、K₄处理在贮藏30 d时达到最大值,分别为14.09、13.37和16.17 mg/g,其中K₄处理蔗糖含量显著高于K₀和K₂处理;‘心香’K₁处理在贮藏15 d时达到最大值,为20.17 mg/g;在贮藏90 d后,‘心香’K₃处理的蔗糖含量达到最大值,为17.60 mg/g,显著高于其他处理。

表5 贮藏0~90 d甘薯块根蔗糖含量变化

Table 5 Sucrose content of sweetpotato roots from 0 to 90 days during storage

mg/g

品种 Variety	处理 Treatment	蔗糖含量 Sucrose content				
		贮藏 0 d	贮藏 15 d	贮藏 30 d	贮藏 60 d	贮藏 90 d
商薯 19 Shangshu 19	K ₀	3.61±0.25 b	7.23±0.06 b	7.86±0.11 b	6.71±0.44 a	5.62±0.81 a
	K ₁	2.55±0.31 d	6.92±0.85 c	9.76±0.42 a	4.96±0.70 e	5.48±1.07 ab
	K ₂	3.55±0.35 b	6.93±1.32 c	7.04±1.03 c	5.55±1.17 c	4.18±1.13 c
	K ₃	3.08±0.12 c	6.74±0.62 d	5.50±1.08 d	5.43±1.03 cd	4.02±1.09 d
	K ₄	4.35±0.53 a	8.99±0.65 a	4.63±1.10 e	6.00±0.12 b	5.27±1.20 b
心香 Xinxiang	K ₀	3.28±0.80 c	11.30±1.21 b	14.09±0.88 b	13.58±0.91 b	11.72±0.82 b
	K ₁	4.29±1.25 a	20.17±1.20 a	12.60±1.25 d	12.34±2.67 d	10.87±1.08 c
	K ₂	3.96±0.52 b	10.84±1.24 c	13.37±1.02 c	12.95±2.00 c	11.81±2.15 b
	K ₃	3.11±1.23 c	8.63±0.80 e	12.51±2.06 d	14.35±0.92 a	17.60±1.94 a
	K ₄	2.98±0.09 d	9.76±1.69 d	16.17±1.38 a	13.17±0.72 c	12.13±1.08 b

2.6 施钾对甘薯贮藏期间 α -淀粉酶活性的影响

如表 6 所示,‘商薯 19’各处理在贮藏期间 α -淀粉酶活性总体呈先上升后下降趋势。其中,‘商薯 19’K₀、K₃、K₄ 处理在贮藏 90 d 时达到最小值,分别为 7.02、8.81 和 7.05 mg/(g·min),但三者间差异不显著。‘商薯 19’K₁、K₂ 处理在贮藏 60 d 时达到最小值,分别为 7.22 和 9.5 mg/(g·min),且 K₂ 处

理 α -淀粉酶活性显著高于 K₁ 处理。贮藏期 30~60 d 为‘商薯 19’各处理组的 α -淀粉酶活性快速下降时期。贮藏期 0~15 d 为‘心香’各处理组的 α -淀粉酶活性快速下降时期,且均在 15 d 时达到最小值,各处理间无显著差异。但在贮藏 90 d 后,心香 K₂、K₃ 处理的 α -淀粉酶活性显著低于其他处理,分别为 7.1 和 7.7 mg/(g·min)。

表 6 贮藏 0~90 d 甘薯块根 α -淀粉酶活性

Table 6 Alpha-amylase activity in sweetpotato roots from 0 to 90 days during storage mg/(g·min)

品种 Variety	处理 Treatment	α -淀粉酶活性 Alpha-amylase activity				
		贮藏 0 d	贮藏 15 d	贮藏 30 d	贮藏 60 d	贮藏 90 d
商薯 19 Shangshu 19	K ₀	7.58±0.20 b	10.83±0.76 b	14.13±1.80 b	10.25±0.39 a	7.02±1.67 c
	K ₁	11.46±3.41 b	11.10±1.07 b	9.63±0.56 c	7.22±1.19 b	12.36±3.22 a
	K ₂	18.84±2.15 a	11.57±0.44 b	19.98±3.25 a	9.50±0.27 a	11.23±1.05 ab
	K ₃	18.33±2.39 a	15.81±2.43 a	21.01±0.31 a	9.81±0.23 a	8.81±1.13 bc
	K ₄	8.65±1.74 b	10.98±2.71 b	14.47±0.04 b	9.90±0.54 a	7.05±1.38 c
心香 Xinxiang	K ₀	40.62±5.43 a	8.93±0.11 a	13.96±5.22 b	20.33±1.99 a	20.83±8.32 b
	K ₁	32.49±6.48 ab	12.98±6.33 a	10.80±0.20 b	16.07±5.20 b	31.55±1.95 a
	K ₂	32.00±8.24 ab	11.41±1.61 a	24.37±1.00 a	15.40±2.44 b	7.10±0.83 c
	K ₃	33.08±1.90 ab	11.70±2.07 a	23.72±4.20 a	8.46±1.04 c	7.70±0.93 c
	K ₄	28.66±7.26 b	13.61±4.41 a	11.73±5.43 b	10.26±1.31 c	20.38±8.92 b

2.7 施钾对甘薯贮藏期间 β -淀粉酶活性的影响

如表 7 所示,‘商薯 19’和‘心香’各处理在贮藏期间 β -淀粉酶活性总体呈先上升后下降趋势。‘商薯 19’K₀、K₂、K₃ 处理 β -淀粉酶活性在贮藏 30 d 时达到最大值,分别为 112.27、139.65 和 141.25 mg/(g·min),其中 K₃、K₄ 处理显著高于 K₀ 处理。‘商薯 19’K₁ 处理在贮藏 0 d 时达到最大值,为 131.47 mg/(g·min);‘商薯 19’K₄ 处理 β -淀粉酶活性在贮藏 15 d 时达到最大值,为 103.52 mg/(g·min);在贮藏 90 d 后,‘商薯 19’K₁、K₂ 处理的 β -淀粉酶活性显著高于其他处理,分别为 120.64 和 98.12 mg/(g·min)。
‘心香’K₀、K₁ 处理在贮藏 0 d 时达到最大值,分别为 143.74 和 146.06 mg/(g·min),两者无显著差距。‘心香’K₂、K₃ 处理在贮藏 30 d 时达到最大值,分别为 143.70 和 135.41 mg/(g·min),两者无显著差距。‘心香’K₄ 处理在贮藏 90 d 时达到最大值,为 132.87 mg/(g·min)。
‘商薯 19’和‘心香’各处理

组贮藏 90 d 后 β -淀粉酶活性都低于贮藏 0 d 时 β -淀粉酶活性,且 β -淀粉酶活性在贮藏期间显著高于 α -淀粉酶活性。

2.8 甘薯块根贮藏期间各营养成分及淀粉酶与腐烂率的相关性

营养成分及淀粉酶与腐烂率相关性分析结果见表 8。可知:腐烂率与贮藏期间薯块的淀粉含量呈极显著正相关(P<0.01),与果糖、葡萄糖、 β -淀粉酶含量呈极显著负相关。

3 讨论

淀粉和游离糖是甘薯块根中重要的营养物质,是甘薯品质的决定性因素。本研究结果表明‘商薯 19’和‘心香’各处理在贮藏期间淀粉含量总体先下降后上升,可溶性糖含量先上升后下降。这与林汝湘等^[22]的研究结果相似,这是由于甘薯在贮藏前期呼吸代谢较为旺盛,淀粉等大分子化合物被分解成糖等较简单的化合物,淀粉含量下降,可溶性糖含量

表7 贮藏0~90 d甘薯块根 β -淀粉酶活性

Table 7 Beta-amylase activity in sweetpotato roots from 0 to 90 days during storage mg/(g·min)

品种 Variety	处理 Treatment	β -淀粉酶活性 Beta-amylase activity				
		贮藏 0 d	贮藏 15 d	贮藏 30 d	贮藏 60 d	贮藏 90 d
商薯 19 Shangshu 19	K ₀	86.06±4.34 b	99.29±14.71 b	112.27±11.46 b	57.28±0.20 b	46.68±1.85 b
	K ₁	131.47±11.01 a	77.06±9.34 c	41.12±2.92 c	46.79±13.87 b	120.64±8.39 a
	K ₂	138.82±10.56 a	95.25±6.25 bc	139.65±5.63 a	90.90±23.37 a	98.12±6.25 a
	K ₃	134.71±9.60 a	120.32±22.44 a	141.25±1.58 a	90.26±15.41 a	56.69±2.86 b
	K ₄	84.09±10.34 b	103.52±6.49 ab	95.65±1.44 b	89.06±6.29 a	47.42±0.70 b
心香 Xinxiang	K ₀	143.74±12.29 a	50.05±2.77 b	95.80±3.93 b	131.97±9.93 a	126.01±8.38 a
	K ₁	146.06±17.54 a	108.37±4.93 a	84.13±2.74 b	123.07±3.41 a	135.00±12.06 a
	K ₂	139.29±15.51 ab	102.62±10.43 a	143.70±1.71 a	116.07±2.44 a	20.82±2.80 c
	K ₃	134.64±16.38 ab	98.34±9.01 a	135.41±8.09 a	52.63±4.86 b	41.64±21.72 b
	K ₄	118.98±1.33 b	95.61±16.24 a	67.79±3.00 b	74.10±5.99 b	132.87±4.11 a

表8 腐烂率与营养成分及淀粉酶相关性分析

Table 8 Results of correlation analysis of rot rate with nutrient composition and amylase

项目 Item	腐烂率 Rotting rate	淀粉 Starch	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	α -淀粉酶 Alpha-amylase	β -淀粉酶 Beta-amylase
腐烂率 Rotting rate	1						
淀粉 Starch	0.437 **	1					
果糖 Fructose	-0.318 **	0.557 **	1				
葡萄糖 Glucose	-0.318 **	0.655 **	0.783 **	1			
蔗糖 Sucrose	0.129	0.514 **	0.12	0.278 **	1		
α -淀粉酶 Alpha-amylase	-0.119	0.169 *	-0.161 *	0.059	-0.150 *	1	
β -淀粉酶 Beta-amylase	-0.204 **	0.075	-0.061	0.156 *	-0.173 *	0.757 **	1

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。

Note: * and ** indicate significant correlations at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

上升。糖又是淀粉合成的基质,贮藏中后期当糖含量达到一定值后,其中一部分在磷酸化酶的作用下重新合成淀粉。此外,甘薯体内比淀粉更为复杂的

化合物分解,重新合成淀粉,从而保持原有平衡的自我调节。Nabubuyaa 等^[23]研究表明,蔗糖是甘薯块根中主要的可溶性糖,且高淀粉甘薯块根中已糖含

量高于低淀粉甘薯品种。本研究中,甘薯贮藏期间蔗糖含量高于葡萄糖和果糖含量,并且‘商薯 19’各处理的己糖含量整体高于‘心香’。本试验中,耐贮性最好的‘商薯 19’K₂ 处理在贮藏 90 d 后蔗糖含量显著低于其他处理,但‘心香’耐贮性最好的 K₂ 处理在贮藏 90 d 后蔗糖含量也较低。同时,贮藏性表现不好的‘商薯 19’在贮藏 90 d 后 K₁、K₃ 处理蔗糖含量较高。‘心香’、‘商薯 19’各处理组在贮藏过程中果糖、葡萄糖都是先升高后降低的趋势,这是因为甘薯块根在贮藏前期的生理活动强度较高,大量淀粉不断转化为糖分,而贮藏后期的呼吸强度没有前期大,因此呈现这样的规律,这与朱红等^[24] 人研究结果一致。曹玉军等^[25] 研究表明,施用钾肥对甜玉米子粒可溶性糖的形成与积累具有显著作用,不施钾肥或过量施钾都会降低子粒可溶性糖含量。

本研究中,在贮藏 90 d 后,‘商薯 19’K₂ 处理和‘心香’K₃ 处理的果糖、葡萄糖含量显著高于其他处理,且耐贮性表现较好,而耐贮性表现不好的‘商薯 19’K₁ 处理和‘心香’K₁ 处理,相应的果糖和葡萄糖的含量较低。Bolouri-Moghaddam 等^[26] 认为高浓度的蔗糖和一些果聚糖可能与酚类化合物结合,通过直接清除细胞膜附近产生的 OH⁻ 和 OOH⁻ 自由基,形成抗氧化机制,从而提高植物的抗逆性。

α -淀粉酶和 β -淀粉酶是贮藏中引起淀粉分解的主要酶,其中 β -淀粉酶在甘薯中含量丰富,20 世纪 50 年代首次从甘薯中分离得到^[27],约占块根可溶性蛋白的 5%^[28-29],且甘薯块根中 β -淀粉酶基因表达受蔗糖、多聚半乳糖醛酸、机械损伤和 ABA 等的诱导^[30]。适宜的供钾处理能显著提高 α -淀粉酶和 β -淀粉酶活性,从而促进淀粉水解^[31]。‘商薯 19’K₂ 的 α -淀粉酶和 β -淀粉酶活性贮藏后期都显著高于其他处理,而‘心香’K₃ 的 α -淀粉酶和 β -淀粉酶活性贮藏后期显著低于其他处理,这可能是由于贮藏后期‘商薯 19’K₂ 淀粉含量显著最高,蔗糖含量显著最低;而‘心香’K₃ 淀粉含量显著最低,但可溶性糖含量显著高于其他处理。

‘商薯 19’和‘心香’贮藏过程中,淀粉含量总体呈先下降后上升趋势,可溶性糖含量总体呈先上升后下降趋势,其中蔗糖含量高于葡萄糖和果糖含量。‘商薯 19’的己糖含量高于‘心香’。耐贮性好的‘商薯 19’K₂ 处理和‘心香’K₃ 处理的果糖、葡萄糖含量显著高于其他处理。耐贮性好的‘商薯 19’K₂ 处理淀粉含量显著高于其他处理。

4 结 论

合理施用钾肥能有效提高甘薯贮藏期果糖、葡萄糖含量,增加甘薯耐贮性并保持良好的加工品质。本试验中,150 kg/hm² 的钾肥(K₂O)为最佳钾肥施用浓度。

参考文献 References

- [1] 赵秀玲. 甘薯的营养成分与保健作用[J]. 中国食物与营养, 2008, 14(10): 58-60
Zhao X L. Nutritional composition and health care function of sweet potato[J]. *Food and Nutrition in China*, 2008, 14(10): 58-60 (in Chinese)
- [2] 王丽娟, 王琴, 温其标. 我国甘薯产业的发展现状概述[J]. 粮食加工, 2008, 33(1): 109-112
Wang L J, Wang Q, Wen Q B. The development of sweet potato industry in our country [J]. *Cereals and Oils Processing*, 2008(3): 109-112 (in Chinese)
- [3] 马剑凤, 程金花, 汪洁, 戴红君, 戴起伟. 国内外甘薯产业发展概况[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(12): 1-5
Ma J F, Cheng J H, Wang J, Dai H J, Dai Q W. Development of sweet potato industry at home and abroad [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40 (12): 1-5 (in Chinese)
- [4] 高丽, 潘从飞, 陈嘉, 王勇德, 赵国华. 甘薯水分和还原糖协同向量 NIR 快速检测方法[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 205-210
Gao L, Pan C F, Chen J, Wang Y D, Zhao G H. Rapid determination of moisture and reducing sugar in sweet potato by near-infrared spectroscopy coupled with chemometrics[J]. *Food Science*, 2017, 38(22): 205-210 (in Chinese)
- [5] 陶向, 童英, 张勇为, 姜玉松, 王海燕, 张义正. 甘薯鲜薯不同储存期呼吸速率的测定与分析[J]. 四川大学学报自然科学版, 2010, 47(5): 1131-1136
Tao X, Tong Y, Zhang Y W, Jiang Y S, Wang H Y, Zhang Y Z. Determination and analysis of Sweet potato respiratory rate during storage period[J]. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2010, 47 (5): 1131-1136 (in Chinese)
- [6] 孙照, 李新生, 徐皓, 代惠萍, 党娅, 余凡. 甘薯采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J]. 现代食品, 2016(6): 49-50
Sun Z, Li X S, Xu H, Dai H P, Dang Y, Yu F. Physiology change of postharvest and technology of preservation in sweet potato[J]. *Modern Food*, 2016(6): 49-50 (in Chinese)
- [7] 张海燕, 董顺旭, 解备涛, 汪宝卿, 张立明, 段文学. 钾肥用量对瘠薄地甘薯产量和钾肥利用率的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(10): 2299-2306
Zhang H Y, Dong S X, Xie B T, Wang B Q, Zhang L M,

- Duan W X. Effects of amount of potassium fertilizer on yield and potassium utilization efficiency of sweetpotato in barren land[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(10): 2299-2306 (in Chinese)
- [8] 洪克前, 徐函兵, 王俊宁, 张思平, 张鲁斌, 谷会, 贾志伟, 弓德强. 采前施用钾肥对菠萝果实贮藏特性的影响[J]. *热带作物学报*, 2013, 34(3): 408-412
- Hong K Q, Xu H B, Wang J N, Zhang S P, Zhang L B, Gu H, Jia Z W, Gong D Q. Effects of application of potassium fertilizer before harvest on storage quality of pineapple fruit [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2013, 34(3): 408-412 (in Chinese)
- [9] 许燕, 孟迪, 柳洪鹏, 陈龙, 史春余. 钾肥对甘薯块根营养成分的影响及其与烘烤风味的关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(10): 1758-1767
- Xu Y, Meng D, Liu H J, Chen L, Shi C Y. Effect of potassium fertilizer on nutritional components of sweet potato storage roots and its relationship with roasting flavor [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(10): 1758-1767 (in Chinese)
- [10] 黄艳霞, 林子龙, 陈根辉, 林建富, 郭其茂. 密度和钾肥对鲜食型甘薯产量与品质的影响[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(12): 50-54
- Huang Y X, Lin Z L, Chen G H, Lin J F, Guo Q M. Effects of density and potassium on yield and quality of edible sweetpotato[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(12): 50-54 (in Chinese)
- [11] 柳洪鹏, 史春余, 张海峰, 姚海兰, 张超. 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 H J, Shi C Y, Zhang H F, Yao H L, ZHANG C. Research progress on changes of nutritional quality and physiological mechanism of sweet potato during storage[J]. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition*, 2012, 43(1): 159-162 (in Chinese)
- [12] Lewthwaite S L, Sutton K H, Triggs C M. Free sugar composition of sweet potato cultivars after storage[J]. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1997, 25(1): 33-41
- [13] 连喜军, 李洁, 王屹, 钱璐, 贾焯. 不同品种甘薯常温贮藏期间呼吸强度变化规律[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(6): 310-313
- Lian X J, Li J, Wang H, Qian R, Jia Y. Regularity for changes of respiratory intensity of different sweet potato varieties at normal atmospheric temperature[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(6): 310-313 (in Chinese)
- [14] 解则义, 李洪民, 马代夫, 陈天娇, 韩永华, 李宗芸. 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 Z Y, Li H M, Ma D F, Chen T J, Han Y H, Li Z Y. Research progress of the effects of low temperature stress on the sweetpotato during storage [J]. *Plant Physiology Journal*, 2017, 53(5): 758-767 (in Chinese)
- [15] Zhang Z T, Wheatley C C, Corke H. Biochemical changes during storage of sweet potato roots differing in dry matter content[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 24(3): 317-325
- [16] 李臣, 薛冠炜, 黄静艳, 崔鹏, 陆国权. 甘薯贮藏期主要营养成分及香味组分的变化[J]. *浙江农业学报*, 2018, 30(6): 1056-1062
- Li C, Xue G W, Huang J Y, Cui P, Lu G Q. Dynamics of main nutritional components and aroma components of three sweet potato varieties during storage[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, 30(6): 1056-1062 (in Chinese)
- [17] 刘倩. 施钾对甘薯产量品质及营养元素吸收的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014
- Liu Q. Effect of potassium application on yield and quality and nutrient absorption of sweet potato [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [18] 王雪姣, 衣红林, 王欣梅, 庄敏, 韩宇晨, 王庆国. 四个品种甘薯耐贮性及抗氧化特性的比较研究[J]. *食品与发酵科技*, 2016, 52(3): 20-25
- Wang X J, Yi H L, Wang X M, Zhuang M, Han Y C, Wang Q G. Comparison of storage capacity and antioxidant peculiarity of four genotypes of sweet potato[J]. *Food and Fermentation Technology*, 2016, 52(3): 20-25 (in Chinese)
- [19] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- Li H S. *Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Experiments*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese)
- [20] 李燕平. 高效液相色谱-示差折光检测法测定茶叶中果糖、葡萄糖、蔗糖的含量[J]. *广东化工*, 2016, 43(7): 187-188
- Li Y P. Determination of fructose, glucose and sucrose in tea by high performance liquid chromatography-differential refraction detector[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2016, 43(7): 187-188 (in Chinese)
- [21] 郑炳松, 王正加. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006
- Zhen B S, Wang Z J. *Research Techniques in Contemporary Plant Physiology and Biochemistry* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006 (in Chinese)
- [22] 林汝湘. 甘薯收获后短期存放营养的变化[J]. *食品科学*, 1990(11): 44-46
- Lin R X. Changes of short-term storage nutrition of sweet potato after harvest[J]. *Food Science*, 1990(11): 44-46 (in Chinese)
- [23] Nabubuya A, Namutebi A, Byaruhanga Y, Narvhus J, Wicklund T. Influence of development, postharvest handling, and storage conditions on the carbohydrate components of sweetpotato (*Ipomea Batatas* Lam) roots[J]. *Food Science &*

- Nutrition, 2017, 5(6): 1088-1097
- [24] 朱红, 李洪民, 张爱君, 唐忠厚, 孙健, 徐飞, 史新敏. 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 H M, Zhang A J, Tang Z H, Sun J, Xu F, Shi X M. Changes of respiratory intensity and main quality of sweet potato during storage [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(7): 64-67 (in Chinese)
- [25] 曹玉军, 赵景云, 赵宏伟. 钾素用量对甜玉米可溶性糖及产量的影响[J]. 作物杂志, 2009(5): 64-65
- Cao Y J, Zhao J Y, Zhao H W. Effects of potassium application on soluble sugars and yields in sweet maize[J]. *Crops*, 2009(5): 64-65 (in Chinese)
- [26] Bolouri-Moghaddam M R, Le Roy K, Xiang L, Rolland F, van den Ende W. Sugar signalling and antioxidant network connections in plant cells[J]. *The FEBS Journal*, 2010, 277(9): 2022-2037
- [27] Balls A K, Walden M K, Thompson R R. A crystalline beta-amylase from sweet potatoes[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1948, 173(1): 9-19
- [28] Li H S, Ôba K. Major soluble proteins of sweet potato roots and changes in proteins after cutting, infection, or storage[J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1985, 49(3): 737-744
- [29] Yoshida N, Nakamura K. Molecular cloning and expression in *Escherichia coli* of cDNA encoding the subunit of sweet potato beta-amylase[J]. *Journal of Biochemistry*, 1991, 110(2): 196-201
- [30] Ohto M A, Nakamura-kito K, NAKAMURA K. Induction of expression of genes coding for sporamin and β -amylase by polygalacturonic acid in leaf-petiole cuttings of sweet potato [J]. *Plant Physiology* 1992, 99(2): 422-427
- [31] 李元元, 李洪民, 唐忠厚, 唐君, 张安, 曹清河. 甘薯钾素营养及其生理机制研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 13-15
- Li Y Y, Li H M, Tang Z H, Tang J, Zhang A, Cao Q H. Research Progress on potassium nutrition and physiological mechanism of sweet potato[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(4): 13-15 (in Chinese)

责任编辑：杨爱东