

兰州百合鳞茎冷藏保鲜过程中 碳水化合物含量及淀粉酶活性的变化

马君义^{1,2}, 韩小芬¹, 陈楠¹, 马蓉¹, 李琴¹, 张继^{1,2}

(1. 西北师范大学生命科学学院, 甘肃兰州 730070;

2. 甘肃特色植物有效成分制品工程技术研究中心, 甘肃兰州 730070)

摘要:以兰州百合为试材,采用紫外-可见分光光度法测定了-2℃冷藏保鲜过程中百合鳞茎内可溶性糖、还原糖、淀粉的含量与淀粉酶活性的动态变化,分析了碳水化合物含量与淀粉酶活性之间的关系。结果表明,在-2℃、60 d的冷藏保鲜期内,随着冷藏时间的延长,兰州百合鳞茎内淀粉含量明显下降,其下降幅度达62.29%,可溶性糖与还原糖含量呈上升趋势,分别上升了2.22%和1.39%。 β -淀粉酶是兰州百合鳞茎中的主要淀粉酶,其活性随冷藏时间的延长而有所降低, α -淀粉酶的活性随冷藏时间的延长先降低后升高,总淀粉酶在高活性的基础上整体呈现降低的趋势。相关性分析表明,鳞茎中碳水化合物含量及淀粉酶活性之间的相关性差异水平有所不同。总淀粉酶、 β -淀粉酶活性与可溶性糖、还原糖含量具有极显著负相关性,而与淀粉含量具有极显著正相关性。可溶性糖和还原糖含量的增加与低温诱导下淀粉在 β -淀粉酶的作用下分解有关。

关键词:兰州百合, 鳞茎, 冷藏, 碳水化合物, 淀粉酶, 变化

Changes of carbohydrate contents and amylase activities in bulb of *Lilium davidii* var. *unicolor* during cooling storage preservation process

MA Jun-yi^{1,2}, HAN Xiao-fen¹, CHEN Nan¹, MA Rong¹, LI Qin¹, ZHANG Ji^{1,2}

(1. College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Engineering and Technology Research Center of Effective Component Products from Characteristic Plants, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to investigate the relationship between carbohydrate content and amylase activities in bulb of *L. davidii* var. *unicolor*, the dynamic changes of the contents of soluble sugar, reducing sugar, starch and the activities of total amylase, α -amylase, β -amylase in bulb of *L. davidii* var. *unicolor* during cooling storage at -2℃ were measured using UV-VIS spectrophotometry method. The results showed that the starch content in the bulb of *L. davidii* var. *unicolor* decreased by 62.29% within the whole 60 d cooling storage preservation periods at -2℃, whereas the content of soluble sugar and reducing sugar increased by 2.22% and 1.39%, respectively. β -amylase was the major enzyme in *L. davidii* var. *unicolor* bulb. Prolonged cold storage preservation time, the activity of β -amylase decreased; the activity of α -amylase first fell and then rose; the activity of total amylase showed a decreasing trend on the basis of high activity. Analysis of correlation showed that the correlation between carbohydrate contents and amylase activities in bulb was different. The activities of total amylase and β -amylase showed significant and negative correlation with the contents of soluble sugar and reducing sugar, whereas a significant and positive correlation with the contents of starch. The increase of the content of soluble sugar and reducing sugar during the cold storage process was correlated with the starch enzymolysis by β -amylase under low temperature induced condition.

Key words: *Lilium davidii* var. *unicolor* Salisb.; bulbs; cooling storage; carbohydrates; amylase; change

中图分类号: TS205.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)10-0073-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.10.014

引文格式: 马君义, 韩小芬, 陈楠, 等. 兰州百合鳞茎冷藏保鲜过程中碳水化合物含量及淀粉酶活性的变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 73-77.

百合鳞茎营养丰富, 具有清肺和滋阴的功效。兰州百合 (*Lilium davidii* var. *unicolor* Salisb.) 不仅是百

合中的上品, 而且是我国四大百合品系中唯一的甜百合, 被视为“蔬菜人参”, 有“兰州百合甲天下”的美

收稿日期: 2017-08-24

作者简介: 马君义 (1967-), 男, 博士, 教授, 主要从事农产品贮藏与加工、资源植物化学、生物高分子研究, E-mail: skymjy@nwnu.edu.cn。

基金项目: 甘肃省基础研究创新群体计划项目 (1506RJIA116)。

誉,其食用、药用、保健和观赏价值很高^[1-2]。以“中国百合之都”兰州市,兰州百合“中国优势生态区域”七里河为中心的兰州百合的种植面积已达 66.7 km²,是种植区农民脱贫致富的支柱产业^[3]。商品兰州百合多以冷库保鲜储藏,真空包装鲜食为主,鳞茎冷藏保鲜过程中的生理生化变化影响其商品属性。已有学者探讨了不同品种、不同海拔生长的百合鳞茎在不同温度贮藏条件下形态、生理变化及其与生长发育的关系^[4-7],低温、外源激素诱导对百合鳞茎生理生化指标的影响^[8-9],生长发育过程中百合营养成分含量与相关代谢酶活性的动态变化规律^[10-13],以及低温解除休眠过程中百合鳞茎营养成分含量与代谢酶活性的变化关系^[14]。淀粉等碳水化合物的含量变化是表征百合鳞茎储藏品质的重要指标之一,淀粉酶是参与淀粉代谢的重要酶类,但有关兰州百合鳞茎冷藏保鲜过程中生理生化变化的研究资料还很缺乏。

本研究以兰州百合鳞茎为试材,探讨了-2℃冷藏保鲜过程中百合鳞茎内可溶性糖、还原糖、淀粉的含量与总淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶活性的变化,以期明确兰州百合鳞茎采后冷藏保鲜的淀粉代谢机理、调节碳水化合物积累与分配提供依据,为兰州百合鳞茎的采后冷藏保鲜提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

兰州百合鳞茎 2016年3月采自甘肃地泰农业有限公司百合种植基地;麦芽糖、蔗糖、葡萄糖、柠檬酸、柠檬酸钠、可溶性淀粉、石英砂、氢氧化钠、乙酸乙酯、浓硫酸、高氯酸、结晶酚、酒石酸钾钠、蒽酮、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、亚硫酸氢钠、3,5-二硝基水杨酸等均为分析纯。

UV-9100B型紫外-可见分光光度计 北京莱伯泰科仪器有限公司;BCD-262WDGB型三开门冰箱 青岛海尔股份有限公司;JRA-6型数显磁力搅拌水浴锅 江苏省金坛市杰瑞尔电器有限公司;CT15RT型低温超速离心机 天美(中国)科学仪器有限公司;AW320型电子天平 Shimadzu corporation;玻璃仪器气流烘干器 郑州长城科工贸有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 选取鳞片抱合紧密、无病虫害、鳞茎盘无损伤、大小均匀的兰州百合鳞茎,清刷泥土,剥离百合鳞片后,清洗并用滤纸吸干其表面水分,装入密闭的玻璃容器中,模拟兰州百合加工企业冷藏保鲜条件于-2℃冰箱中保存,每10d测定一次百合鳞茎中淀粉、可溶性糖、还原糖的含量以及淀粉酶的活性,连续测定60d。所有样品测定前经液氮冻干后用研钵快速研磨成粉末,精密称定,待测。

1.2.2 碳水化合物含量的测定

1.2.2.1 蔗糖标准曲线与回归方程的建立 采用蒽酮试剂法^[15]。准确吸取0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL 200 μ g/mL的蔗糖标准溶液于7支刻度试管中,加蒸馏水至2 mL,依次加入0.5 mL蒽酮-乙酸乙酯试液、5 mL浓硫酸,经涡旋振荡后,迅即置沸水浴中逐管准确保温1 min,取出并自然冷却至室温后,

以空白为对照,利用紫外-可见分光光度计测定其在630 nm处的吸光值。以蔗糖质量(M)对吸光度(A)作图并采用最小二乘法进行线性回归,得回归方程。

1.2.2.2 葡萄糖标准曲线与回归方程的建立 采用3,5-二硝基水杨酸法^[16]。准确吸取0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 1 mg/mL的葡萄糖标准溶液于25 mL容量瓶中,用蒸馏水补至1.0 mL,分别加入DNS试剂2 mL,经涡旋振荡后,迅即置沸水浴中逐管准确保温5 min,流水冷却,用蒸馏水定容至刻度。以空白为对照,利用紫外-可见分光光度计测定其在540 nm处的吸光值。以葡萄糖质量(M)对吸光度(A)作图并采用最小二乘法进行线性回归,得回归方程。

1.2.2.3 可溶性糖含量的测定 称取经液氮冻干处理的百合鳞片粉末0.5 g,加入7 mL 0.05 mol/L PBS (pH7.8),快速研磨成浆状,4500 r/min离心20 min,转移上清液至25 mL容量瓶中。重复提取3次,上清液定容至刻度即得兰州百合可溶性糖提取液。吸取样品提取液0.2 mL,照1.2.2.1所述测定吸光度。依下式计算兰州百合的可溶性糖含量。

$$\text{可溶性糖含量}(\%) = \frac{M \times V_i \times D}{V_1 \times W \times 10^6} \times 100$$

式中:M为标准曲线求得的可溶性糖含量(μ g); V_i 为提取液的体积(mL); V_1 为测定时取用样品液体积(mL); W 为样品质量(g); D 为稀释倍数。

1.2.2.4 还原糖含量的测定 吸取1.2.2.3所得兰州百合可溶性糖提取液3 mL于25 mL容量瓶中,加入DNS试剂2.0 mL,经涡旋振荡后,迅即置沸水浴中保温5 min,取出,流水冷却,用蒸馏水定容至刻度。照1.2.2.2所述测定吸光度,并计算兰州百合的还原糖含量。

$$\text{还原糖含量}(\%) = \frac{M \times V_i \times D}{V_1 \times W \times 10^6} \times 100$$

式中:M为标准曲线求得的还原糖含量(μ g); V_i 为提取液的体积(mL); V_1 为测定时取用样品液体积(mL); W 为样品质量(g); D 为稀释倍数。

1.2.2.5 淀粉含量的测定 向1.2.2.3提取可溶性糖后的沉淀中加入3 mL蒸馏水,涡旋振荡后,迅即置沸水浴中糊化15 min。取出,流水冷却,加入2 mL冷的9.2 mol/L高氯酸,搅拌提取15 min,加蒸馏水至10 mL,于4℃下以10000 r/min离心10 min,转移上清液至25 mL容量瓶中。重复提取3次,上清液定容至刻度即得兰州百合淀粉提取液。吸取样品提取液0.5 mL,照1.2.2.1所述测定吸光度,并计算兰州百合的淀粉含量。

1.2.3 淀粉酶活性的测定

1.2.3.1 麦芽糖标准曲线与回归方程的建立 采用3,5-二硝基水杨酸法^[16-17]。准确吸取0、0.2、0.4、0.6、1.0、1.4、1.8 mL,1 mg/mL的麦芽糖标准溶液于25 mL容量瓶中,用蒸馏水补至2.0 mL,分别加入DNS试剂2 mL,经涡旋振荡后,迅即置沸水浴中保温5 min,流水冷却,用蒸馏水定容至刻度。以空白为对照,利用紫外-可见分光光度计测定其在540 nm处的吸光值。以麦芽糖质量(M)对吸光度(A)作图并采用最小二乘法进行线性回归,得回归方程。

表1 蔗糖、葡萄糖与麦芽糖标准曲线
Table 1 Standard curve of sucrose, glucose and maltose

标准曲线名称	回归方程	相关系数 r	线性范围
蔗糖标准曲线	$M = 171.3A - 2.1053$	0.9997 (n = 6)	20~120 μg
葡萄糖标准曲线	$M = 2073.3A + 1.9184$	0.9996 (n = 6)	200~1200 μg
麦芽糖标准曲线	$M = 2.8589A + 0.0248$	0.9996 (n = 6)	0.2~1.8 mg

1.2.3.2 淀粉酶粗提液的制备 称取一定质量的经液氮冻干处理的兰州百合鳞片粉末,置于经液氮预冷的陶瓷研钵中,按 1:4 (w:v) 的体积比加入 0.1 mol/L pH5.6 的柠檬酸缓冲液和少量的石英砂,快速研磨,将匀浆液转至离心管中,再加入一定体积的上述缓冲液,分次将残余液冲入离心管中,于 4 $^{\circ}\text{C}$ 下以 12000 r/min 离心 30 min,所得上清液用蒸馏水定容至 25 mL 容量瓶中,即为兰州百合淀粉酶粗提液^[16-17]。

1.2.3.3 淀粉酶总活性的测定 取 5 支 20 mL 的具塞刻度试管并按 0~4 编号,其中 0 号为空白组,1 号为对照组,2~4 号为实验组。取 1.0 mL 兰州百合淀粉酶粗提液加至 1~4 号试管中,0 号试管加入等体积的 0.1 mol/L pH5.6 的柠檬酸缓冲液,再向各试管中加入 1.0 mL 柠檬酸缓冲液并摇匀,于 40 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴锅中保温 15 min,随后,向 0 号、2 号、3 号、4 号试管中加入 1% 的淀粉溶液 2.0 mL,1 号试管中加入同体积的柠檬酸缓冲液,继续 40 $^{\circ}\text{C}$ 下保温 5 min,再向各试管中加入 0.4 mol/L 的氢氧化钠溶液 4 mL,以终止酶的活性。取上述酶促反应液 2 mL,加入 DNS 试剂 2 mL,沸水浴 5 min,然后置冰浴中快速冷却,用蒸馏水定容至 8 mL,在波长 540 nm 下测定其吸光度^[16-17]。根据 1.2.3.1 所得回归方程计算麦芽糖含量,并依下式计算兰州百合淀粉酶的总活性。

$$\text{淀粉酶的比活力}(\text{mg/g}\cdot\text{min}) = \frac{\text{麦芽糖含量}}{Wt} \times D$$

式中:W 为百合鲜重(g);t 为反应时间(min);D 为稀释倍数。

1.2.3.4 α -淀粉酶活性的测定 取 5 支 20 mL 的具塞刻度试管并按 0~4 编号,其中 0 号为空白组,1 号为对照组,2~4 号为实验组。取 1.0 mL 兰州百合淀粉酶粗提液加至 1~4 号试管中,0 号试管加入等体积的 0.1 mol/L pH5.6 的柠檬酸缓冲液,于 70 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴锅中保温 15 min 以钝化 β -淀粉酶的活性,然后置冰水浴中快速冷却,再向各试管中加入 1.0 mL 的柠檬酸缓冲液,摇匀。将各试管置于 40 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴锅中保温 15 min,随后,向 0、2、3、4 号试管中加入 1% 的淀粉溶液 2.0 mL,1 号试管中加入同体积的柠檬酸缓冲液,继续 40 $^{\circ}\text{C}$ 下保温 5 min,再向各试管中加入 0.4 mol/L 的氢氧化钠溶液 4 mL,以终止酶的活性。取上述酶促反应液 2 mL,加入 DNS 试剂 2 mL,沸水浴 5 min,然后置冰水浴中快速冷却,用蒸馏水定容至 8 mL,在波长 540 nm 下测定其吸光度^[16-17]。根据 1.2.3.1 所得回归方程计算麦芽糖含量,并计算兰州百合 α -淀粉酶的活性。

1.2.3.5 β -淀粉酶活性的测定 从兰州百合淀粉酶总活性中扣除 α -淀粉酶的活性,即为 β -淀粉酶的

活性^[16-17]。

1.3 数据处理与统计分析

所有数据结果均为计量单位,采用 Origin 9.1 进行数据处理与绘图,应用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析和指标间的相关性分析,结果以 ($\bar{x} \pm s$) 表示, $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与讨论

2.1 蔗糖、葡萄糖与麦芽糖标准曲线

依照 1.2.2.1、1.2.2.2、1.2.3.1 所述方法,分别以蔗糖、葡萄糖、麦芽糖质量(M)对吸光度(A)作图并采用最小二乘法进行线性回归,所得回归方程、相关系数以及线性范围如表 1 所示。

2.2 兰州百合鳞茎冷藏过程中碳水化合物含量的变化

2.2.1 可溶性糖含量的变化 可溶性糖是代谢的中间产物,可通过淀粉降解来补充,又可作为呼吸底物而消耗。由图 1 可知,在 -2 $^{\circ}\text{C}$ 、60 d 的冷藏条件下,兰州百合鳞茎中可溶性糖含量一直保持较高水平,且随着冷藏时间的延长可溶性糖含量逐渐增加,由刚冷藏时的 18.62% 增加到 19.03%,增幅为 2.22%,并在 40~50 d 时出现跃升($p < 0.01$),这一趋势与“黄天霸”百合、郁金香鳞茎 4~5 $^{\circ}\text{C}$ 冷藏过程中可溶性糖含量的变化规律基本一致^[18-19]。

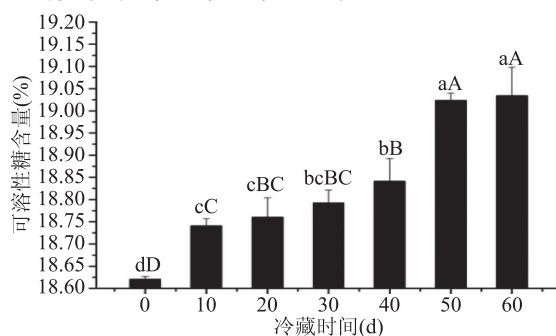


图1 兰州百合鳞茎冷藏过程中可溶性糖含量的变化($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Fig.1 Changes of soluble sugar content in *L.davidiivar.unicolor* bulb in the process of cold storage ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

注:采用 Duncan's multiple range test 分析方法,小写字母代表在 0.05 水平下比较差异显著,大写字母代表在 0.01 水平下比较差异极显著;图 2~图 4 同。

2.2.2 还原糖含量的变化 由图 2 可知,在 -2 $^{\circ}\text{C}$ 低温冷藏的 60 d 内,随着冷藏时间的延长,兰州百合鳞茎中还原糖含量与可溶性糖含量的变化趋势一致,呈上升趋势。冷藏 0~20 d 时,还原糖含量增幅较小,20~30、40~50 d 时,还原糖含量出现跃升,增加较多($p < 0.01$),冷藏 60 d 时,还原糖含量达到最高值。兰州

百合鳞茎中还原糖含量较低,整个冷藏期内还原糖含量的变化幅度较小,其含量仅增加 1.39%,还原糖含量的变化体现了百合鳞茎淀粉代谢与呼吸代谢中碳水化合物的分解与转化。

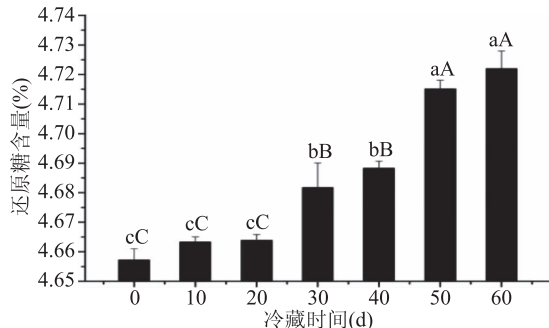


图2 兰州百合鳞茎冷藏过程中还原糖含量的变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig.2 Changes of reducing sugar content in *L.davidiivar.unicolor* bulb in the process of cold storage($\bar{x} \pm s, n=3$)

2.2.3 淀粉含量的变化 淀粉是百合鳞茎贮藏碳水化合物的一种形式,对于维持百合生长过程中碳水化合物平衡起着重要的作用。从图3可以看出,兰州百合鳞茎内的淀粉含量在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、60 d的冷藏保鲜期内随着冷藏时间的延长呈现出明显的下降趋势,至贮藏第60 d时的淀粉含量比开始贮藏时下降了62.29%,夏宜平^[20]、孙红梅^[21]等也有类似的研究报道。百合鳞茎内淀粉含量的降低,表明百合鳞茎在低温环境下其淀粉开始迅速转化。

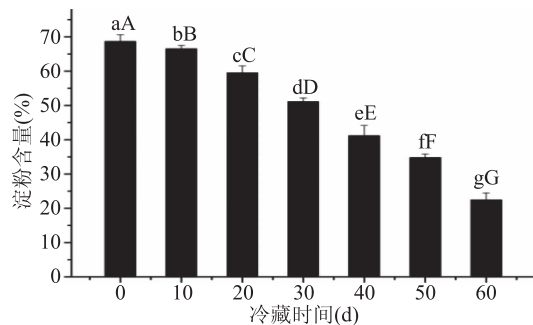


图3 兰州百合鳞茎冷藏过程中淀粉含量的变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig.3 Changes of starch content in *L.davidiivar.unicolor* bulb in the process of cold storage($\bar{x} \pm s, n=3$)

综合分析图1~图3表明,兰州百合鳞茎冷藏期间淀粉与可溶性糖及还原糖之间存在着此消彼长的关系。在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温诱导作用下,淀粉等贮藏态碳水化合物开始转化,含量持续下降,而可溶性糖和还原糖含量增加,这说明冷藏过程中百合鳞茎的淀粉转化成能被分解利用的糖,出现了“低温糖化”现象^[21],但百合鳞茎外观上没有形态和结构的显著变化。

2.3 兰州百合鳞茎冷藏过程中淀粉酶活性的变化

从图4可以看出, β -淀粉酶是兰州百合鳞茎中的主要淀粉酶,其活性相对较高,且 β -淀粉酶的活性随着冷藏时间的延长而有所降低,而 α -淀粉酶的活性随着冷藏时间的延长先降低后升高,总淀粉酶在高活性的基础上整体呈现出降低的趋势。

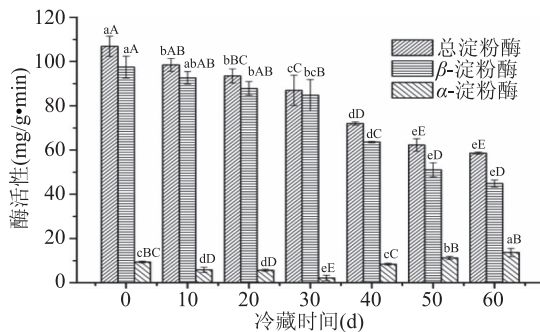


图4 兰州百合鳞茎冷藏过程中淀粉酶活性的变化($\bar{x} \pm s, n=3$)

Fig.4 Changes of amylase activity in *L.davidiivar.unicolor* bulb in the process of cold storage($\bar{x} \pm s, n=3$)

孙红梅^[22]研究了2、6、10 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,70%含水量的锯木屑保湿贮藏101 d兰州百合中部鳞片物质变化的生理机制,发现中部鳞片在贮藏的101 d内淀粉含量下降了50%左右,同时,处理温度越低,越有利于鳞片中淀粉的降解,且淀粉酶活性随贮藏温度的降低而升高,随贮藏时间的延长先增大后减小。宁国龙^[23]分析了郁金香种球 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冷藏处理9周的淀粉酶活性变化规律,发现随冷藏时间的延长淀粉酶活性呈增大趋势。本研究在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温冷藏兰州百合60 d,发现 β -淀粉酶的活性随着冷藏时间的延长而有所降低, α -淀粉酶的活性随着冷藏时间的延长先降低后升高,总淀粉酶在高活性的基础上整体呈现出降低的趋势。糖类化合物含量及糖代谢相关酶的变化规律可能因冷藏温度、冷藏时间、研究对象品种的不同而存在差异,有关兰州百合鳞茎冷藏保鲜过程中碳水化合物含量与糖代谢相关酶的变化规律还需要进一步的研究。

2.4 兰州百合鳞茎冷藏过程中碳水化合物含量与淀粉酶活性的相关性分析

为明确兰州百合鳞茎冷藏过程中碳水化合物与淀粉酶的作用机理,本研究对鳞茎中可溶性糖、还原糖、淀粉及总淀粉酶、 β -淀粉酶、 α -淀粉酶的相关性进行了统计分析(表2)。

从表2可以看出,鳞茎中糖分含量及相关酶活性之间的相关性差异水平有所不同。可溶性糖、还原糖、淀粉含量与总淀粉酶活性的相关系数在0.01水平上分别为 -0.969^{**} 、 -0.972^{**} 和 0.982^{**} ,与 β -淀粉酶活性的相关系数在0.01水平上分别为 -0.961^{**} 、 -0.973^{**} 和 0.978^{**} ,表明总淀粉酶、 β -淀粉酶活性与可溶性糖、还原糖含量具有极显著负相关性,而与淀粉含量具有极显著正相关性;与 α -淀粉酶活性的相关系数分别为0.594、0.649和 -0.623 ,表明 α -淀粉酶活性与可溶性糖、还原糖、淀粉含量具有相关性但不显著。总淀粉酶、 β -淀粉酶活性与淀粉含量呈正相关,且总淀粉酶活性与 β -淀粉酶活性的相关系数在0.01水平上呈极显著正相关(0.989^{**}),二者都是促进淀粉降解的。

可溶性糖含量与还原糖、淀粉含量之间、还原糖含量与淀粉含量之间的相关系数在0.01水平上分别

表2 兰州百合鳞茎冷藏过程中碳水化合物含量与淀粉酶活性的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of carbohydrates and corresponding amylases in bulbs of *L.davidii* var. *unicolor* in the process of cold storage

指标	可溶性糖	还原糖	淀粉	总淀粉酶	β -淀粉酶	α -淀粉酶
可溶性糖	1	0.973 **	-0.945 **	-0.969 **	-0.961 **	0.594
还原糖		1	-0.974 **	-0.972 **	-0.973 **	0.649
淀粉			1	0.982 **	0.978 **	-0.623
总淀粉酶				1	0.989 **	-0.600
β -淀粉酶					1	-0.710
α -淀粉酶						1

注:**在0.01水平(双侧)上显著相关。

为0.973**、-0.945**和-0.974**，表明可溶性糖含量与还原糖含量间具有极显著正相关性，可溶性糖、还原糖含量与淀粉含量间具有极显著负相关性，说明淀粉的降解有利于可溶性糖和还原糖含量的升高。兰州百合鳞茎内贮存的淀粉在低温处理过程中逐渐转化为可溶性糖和还原糖，这种“低温糖化”反应与百合鳞茎细胞内淀粉酶尤其是 β -淀粉酶密切相关。

3 结论

淀粉和可溶性糖是维持百合鳞茎发育过程中碳水化合物平衡的主要物质，尤其是糖含量的变化是百合鳞茎低温贮藏条件下较为敏感的生理代谢指标之一。研究表明，在-2℃、60d的冷藏期内，随着冷藏时间的延长，兰州百合鳞茎内淀粉含量明显下降，可溶性糖和还原糖含量逐渐增加，在低温处理40d左右是上述物质变化最活跃的时期。相关性分析表明，总淀粉酶、 β -淀粉酶活性与可溶性糖、还原糖含量具有极显著负相关性，而与淀粉含量具有极显著正相关性。兰州百合鳞茎细胞内淀粉酶尤其是 β -淀粉酶与淀粉降解成可溶性糖和还原糖密切相关。

参考文献

[1] 马君义,赵小亮,张继,等.兰州百合的研究进展[J].塔里木大学学报,2005,17(4):53-56,76.
 [2] 周清泉.兰州百合产业发展现状及对策[J].甘肃农业科技,2016(1):64-66.
 [3] 李亚莉,侯栋,马真胜,等.兰州百合优质栽培技术[J].中国蔬菜,2016(10):89-91.
 [4] 席会鹏,李枝林,唐敏,等.贮藏温度对百合试管鳞茎糖类含量及其萌发的影响[J].云南农业大学学报,2012,27(1):99-102.
 [5] 游向阳,张洁,蔡宣梅,等.不同类型的东方百合小鳞茎冷藏生理变化和活性研究[J].中国农学通报,2013,29(25):120-124.
 [6] 刘晓荣,王志刚,张惠华,等.不同品种东方百合鳞茎低温冷藏过程中形态和生理的变化[J].园艺与种苗,2014(1):26-28.
 [7] 王丽花,吴学尉,杨秀梅,等.不同海拔地区生产的东方百合种球西伯利亚冷藏过程中生理变化的比较[J].江苏农业科学,2012,40(8):149-152.
 [8] 马爽.低温诱导对卷丹百合鳞茎生理生化指标的影响

[J].安徽农业科学,2015,43(10):19-20.
 [9] 黄彦玮,师桂英,李谋强,等.外源GA₃、ABA对低温冷藏兰州百合种球萌发的促抑效应及种球碳水化合物变化研究[J].甘肃农业大学学报,2016,51(1):55-61.
 [10] 孙红梅,王文娟,李雪艳,等.百合发育过程中鳞茎淀粉含量及SP活性变化[J].中国农学通报,2012,28(19):173-176.
 [11] Wu Sha sha, Wu Jin di, Jiao Xue hui, et al. The dynamics of changes in starch and lipid droplets and sub-cellular localization of β -amylase during the growth of lily bulbs [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(4): 585-592.
 [12] Legnani G, Watkins C B, Miller W B. Effects of hypoxic and anoxic controlled atmospheres on carbohydrates, organic acids and fermentation products in asiatic hybrid lily bulbs [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 56(1): 85-94.
 [13] 吴沙沙,彭东辉,李爱琪,等.东方百合‘索邦’鳞茎源——库转化过程中碳水化合物代谢及相关酶活性变化[J].北京林业大学学报,2013,35(6):96-102.
 [14] 刘芳,陈业变,李丹丹,等.细叶百合低温解除休眠过程中鳞茎内糖分及相关酶的研究[J].草业学报,2015,25(5):60-68.
 [15] 周春丽,钟贤武,范鸿冰,等.果蔬及其制品中可溶性总糖和还原糖的测定方法评价[J].食品工业,2012,33(5):89-92.
 [16] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
 [17] 杨建雄.生物化学与分子生物学实验技术教程[M].北京:科学出版社,2014.
 [18] 毛洪玉,宁国龙,刘迪.冷藏对郁金香鳞茎可溶性糖和蛋白质的影响[J].西北林学院学报,2012,27(1):88-93.
 [19] 王中轩,杨森,杜运鹏,等.‘黄天霸’百合鳞茎低温解除休眠过程中形态和生理的变化[J].福建农林大学学报:自然科学版,2013,42(1):29-34.
 [20] 孙红梅,李天来,李云飞.不同贮藏温度下兰州百合种球淀粉代谢与萌发关系初探[J].园艺学报,2004,31(3):337-342.
 [21] 夏宜平,黄春辉,何桂芳.东方百合鳞茎冷藏解除休眠的营养代谢和酶活性变化[J].园艺学报,2006,33(3):571-576.
 [22] 孙红梅,李天来,李云飞.低温解除休眠过程中兰州百合中部鳞茎物质变化的生理机制[J].中国农业科学,2005,38(2):376-382.
 [23] 宁国龙,刘迪,艾博,等.冷藏对郁金香鳞茎碳水化合物含量及淀粉酶活性的影响[J].北方园艺,2010(21):93-96.