

冻藏温度对玛咖块根采后品质的影响

涂行浩^{1,2}, 郑华¹, 张弘^{*1}, 徐涓¹, 张雯雯¹

(1. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224; 2. 中国热带农业科学院 南亚热带作物研究所, 广东 湛江 524091)

摘要: 为研究玛咖块根采后不同冻藏温度条件下功能营养成分的变化规律, 以及确定玛咖块根适宜的冻藏温度条件, 对不同冻藏温度(-5、-10、-20 ℃) 下玛咖块根部分理化指标以及质构特性的变化进行了测定。结果表明, 随着冻藏温度的降低, 玛咖块根品质下降速率缓慢, -5℃冻藏下玛咖块根营养成分及功效成分损失率明显高于-10 ℃以及-20 ℃冻藏的玛咖块根。TPA(质构分析)结果表明, 玛咖块根的硬度、耐嚼性以及回复性随着冻藏时间的延长均呈下降趋势, 且冻藏温度越低, 越有利于玛咖块根质构特性的维持。采用普通家庭冰箱的冷冻室(-20 ℃) 冻藏能够较大限度地保持玛咖块根的品质。

关键词: 玛咖; 冻藏; 品质; 芥子油苷

中图分类号: TS 255.3 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2015)09—0965—07

Effect of Frozen Storage Temperature on Quality of Postharvest Maca Tuber

TU Xinghao^{1,2}, ZHENG Hua¹, ZHANG Hong^{*1}, XU Juan¹, ZHANG Wenwen¹

(1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 2. South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, China)

Abstract: This work was to evaluate the effect of storage temperature on the functional and nutritional quality of postharvest maca tuber. Results showed that the lower of the storage temperature, the slower of the quality drop with the loss of nutritional and functional components in maca tuber frozen at -5 ℃ being significantly higher than that at -10 ℃ and -20 ℃. Moreover, the lower storage temperature was favorable to the texture including hardness, chewiness and resilience. With the frozen temperature of -20 ℃ in the household refrigerator, the maca tuber could maintain a good quality for 12 months.

Keywords: maca, frozen, quality, glucosinolates

玛咖(*Lepidium meyenii* Walper.)原产于秘鲁海拔 3 500 m 以上安第斯高寒山区, 是一种珍稀的

食两用植物, 含有多种对人体有益的活性成分, 且无毒、食用安全, 目前已在云南、新疆等地引种成

收稿日期: 2014-09-19

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201004028)。

作者简介: 涂行浩(1986—), 男, 湖北荆州人, 工学硕士, 助理研究员, 主要从事天然资源化学与利用研究。E-mail: tuxinghao@126.com

* 通信作者: 张弘(1963—), 男, 湖北武汉人, 工学博士, 研究员, 主要从事林业生物资源化学与工程的研究。E-mail: kmzhong@163.com

功,形成了一定的规模和产量^[1-3]。鲜玛咖块根收获后易霉变腐烂,难以贮藏,加之收获季节较集中,造成全年原料供应不平衡。冷冻保藏能保持果蔬原有的色泽、风味和营养价值,目前已有冬枣^[4]、桑葚^[5]、沙棘^[6]、杨梅^[7]、草莓^[8]、西兰花^[9]等果蔬的冷冻贮藏研究报道。玛咖作为一种经济价值非常高的药食两用植物,国内外目前的研究主要集中于生物学特性以及生物活性等方面^[10-12],对于玛咖块根采收后长期冻藏方面的研究,尤其是冷冻温度对玛咖块根营养及功能成分的影响还未见报道。本研究中将采收后的新鲜玛咖块根置于-5、-10、-20℃的冰箱中贮藏,测定玛咖块根在冷冻贮藏过程中生理及营养品质指标变化趋势,评价冻藏对其采后品质的影响,为玛咖块根冻藏技术及后期的加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试鲜玛咖块根,由中国林业科学院资源昆虫研究所滇中高原试验站提供。黑芥子硫苷酸钾(sinigrin),纯度≥99.0%,购于Sigma公司;考马斯亮蓝G-250、丙酮、磷酸氢二钠、柠檬酸、抗坏血酸、2,6-二氯酚钠,均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

BCD-539WT双开门冰箱,青岛海尔股份有限公司制造;DU800型紫外-可见分光光度计,美国贝克曼库尔特有限公司制造;MM400型冷冻混合球磨仪,德国RETSCH公司制造;AB204-S精密型电子天平,HR83-P型快速卤素水分测定仪,梅特勒-托利多(中国)有限公司制造;Z323K通用型高速冷冻离心机,德国HERMIE公司制造;DYQ-401B参茸中药切片机,瑞安市永历制药机械有限公司制造;NAR-1T阿贝折光仪,日本ATAGO(爱拓)中国分公司制造;Christ Epsilon 1-4型冷冻干燥机,德国Christ公司制造;移液枪,Eppendorf中国有限公司制造;Apresys 179A-TH温湿度记录仪,艾普瑞(上海)精密光电有限公司制造;TMS-PRO物性分析仪,美国FTC有限公司制造。

1.3 实验方法

玛咖块根采收后,选取新鲜、无机械伤、大小均匀的玛咖块根,经清洗、晾干,用聚乙烯保鲜袋包装,分别放置于-5、-10℃以及-20℃冰箱中进行冻

藏(相对湿度为90%~100%)。每隔30d取一次样测定一次生理及营养品质指标。每组实验重复3次。

1.4 检测指标及测定方法

1.4.1 汁液损失率的测定 汁液损失率测定采用称重法,汁液损失率

$$y=(m_1/m) \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, m_1 表示损失质量, m 表示玛咖块根原质量。

1.4.2 黑芥子酶活性的测定 黑芥子酶活的测定参考张蕾^[13]等人的方法:取玛咖块根样品1g,加提取缓冲溶液6mL,用冷冻混合球磨仪研磨,4℃条件下、10000r/min离心15min,回收上清液测定酶液酶活。

1.4.3 营养成分测定 芥子油苷含量采用氯化钼法测定^[14];生物碱含量采用酸性染料比色法测定^[11];可溶性蛋白质采用考马斯亮蓝法^[14]测定。可溶性固形物采用手持折光仪测定;取玛咖块根汁用阿贝折光仪测量其质量分数,测量3次取平均值;褐变值^[15]测定:称取玛咖块根样品10g,冰浴条件下研磨匀浆,加10倍(质量比)预冷的蒸馏水,于低温下匀浆2min,5000r/min离心15min,吸取上清液,以蒸馏水为空白对照,在410nm波长处比色测定上清液OD值,以吸光度乘以10表示褐变度,褐变值

$$B=OD_{410} \times 10 \quad (2)$$

总酚的测定参照Pirie等^[15]的方法并作适当修改:2g玛咖块根组织用20mL预冷的体积分数1%酸甲醇溶液充分研磨提取,于4℃、12000r/min离心10min,上清液直接用于比色,样品重复3次,以每克鲜质量玛咖块根组织的OD₂₈₀值表示1U酚类物质。

1.4.4 质构测定 使用打孔器取样,样品直径12mm,高10mm。采用质地多面剖析(TPA)模式进行测试。测试条件如下:直径为25mm的平底柱形探头,探头下行速度1mm/s,压缩程度50%,停留间隔时间5s,触发值为0.2N,环境温度16~20℃^[16]。每个样品测9次,取平均值。

1.5 数据处理与分析

采用Excel软件进行统计分析,所得数据为3次平均值,结果采用平均值±偏差表示($\bar{x} \pm s$);各指标在不同冻藏温度下随贮藏时间变化趋势图通过Origin 8.0软件绘制,采用SPSS 13.0进行方差分析,利用最小差异性检验(Least-Significant Difference, LSD)、邓肯氏多重比较法进行差异性分

采收后的玛咖块根含水率较高,在自然条件下贮藏,其质量损失率变化明显。质量损失率不仅反映冻藏效果的好坏,而且是衡量冻藏条件的重要指标之一。在冻藏过程中,玛咖块根内的绝大多数水分会转变成冰晶,但也会有少部分水分由于细胞内溶质浓度很高而以液体形态存在。在冻藏过程中,一方面玛咖块根内的冰晶有一个融解—冻结平衡,若冻藏温度较高,将会形成较大冰晶进而对玛咖块根造成伤害;另一方面玛咖块根内冰晶会出现升华现象,形成一个水分梯度,从而造成水分的丧失;最后,玛咖块根内部的冰晶冻藏时会发生再结晶,长大的冰晶会对玛咖块根细胞膜及细胞壁产生机械性的损伤,导致可溶性固形物和水溶性营养成分散失,使玛咖块根品质下降^[9]。总体上看,由图1可知,不同冻藏温度下玛咖块根的质量损失率随着冻藏时间的延长而逐渐增加,其中-20℃冻藏时质量损失率上升最为缓慢,冻藏360 d后,质量损失率仅为2.14%。

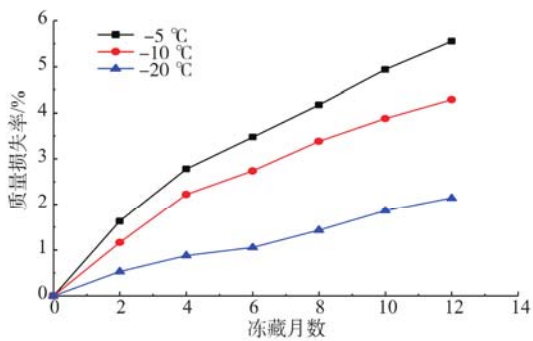


图1 冻藏温度对玛咖块根质量损失率的影响

Fig. 1 Effect of storage temperature on weight loss rate of maca tuber

细胞膜透性反映了玛咖块根冻藏期细胞膜结构的完整状况,可用细胞膜相对电导率大小来表示^[17]。不同温度冻藏的相对电导率变化规律见图2。由图可知,玛咖块根细胞膜相对电导率总体趋势是随着冻藏时间的延长而呈上升趋势,相对来说冻藏前期玛咖块根的细胞膜相对电导率上升得要快一些,后期趋于平稳,-20℃冻藏时上升幅度较-5℃

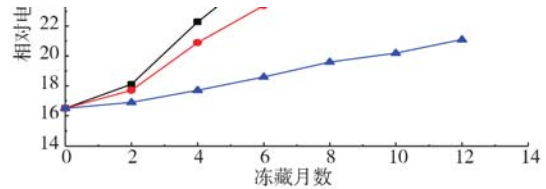


图2 冻藏温度对玛咖块根细胞膜相对电导率的影响

Fig. 2 Effect of storage temperature on relative electrical conductivity of cell membrane of maca tuber

2.2 冻藏温度对玛咖块根可溶性蛋白质及可溶性固形物含量的影响

玛咖块根蛋白质含量较高,是其非常重要的营养物质之一。玛咖块根可溶性蛋白质含量在冻藏期的变化如图3所示。可以看出,不同温度下其含量总体呈下降趋势,其中-5℃冻藏时下降较为明显,冻藏360 d后可溶性蛋白质质量分数下降至83.1 mg/g。不同冻藏温度下蛋白质含量变化差异显著($P < 0.05$)。

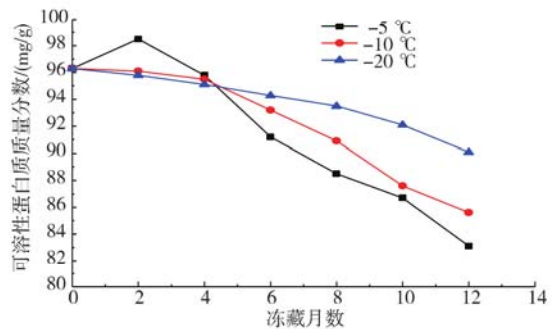


图3 冻藏温度对玛咖块根可溶性蛋白质质量分数的影响

Fig. 3 Effect of storage temperature on soluble protein content of maca tuber

可溶性固形物是玛咖块根重要的营养物质。玛咖块根不同温度下冻藏的可溶性固形物质量分数变化见图4。可知,冻藏前2个月,玛咖块根的可溶性固形物质量分数有一个小幅上升的过程,可能是由于玛咖块根内部细胞膜的破坏导致了可溶性固形物的溶出,或是冻藏前期淀粉等大分子有机物分解所致;后期玛咖块根在不同冻藏温度下可溶性固形物质量分数持续下降,-5℃冻藏12个月时下降到13.1%,而且有进一步下降的趋势。

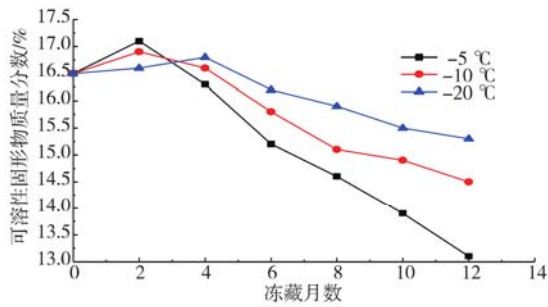


图4 冻藏温度对玛咖块根可溶性固形物质量分数的影响
Fig. 4 Effect of storage temperature on total soluble solids of maca tuber

2.3 冻藏温度对总酚含量、褐变值及表面颜色饱和度值的影响

多酚类物质是玛咖块根重要的次生代谢物质,是玛咖块根具有抗氧化性的主要活性成分之一,其含量一定程度上能反映出玛咖块根的抗氧化能力的强弱^[3]。同时酚类物质中的微量黄酮具有多重保健功效,对人体健康非常有益。玛咖块根总酚含量在冻藏期的变化如图5所示。可知,在不同冻藏温度下,玛咖块根总酚含量前期均有一定程度的上升,后期持续下降,这与冷藏条件下的情况类似,前期的上升是玛咖块根组织衰老而促进苯丙氨酸合成酚类物质,后期酚类物质分解速度大于合成速度从而随着冻藏期延长不断下降,-20 °C冻藏第6个月上升至1.18 U,而冻藏第12个月下降至1.11 U,不同冻藏温度下变化差异不显著($P>0.05$)。

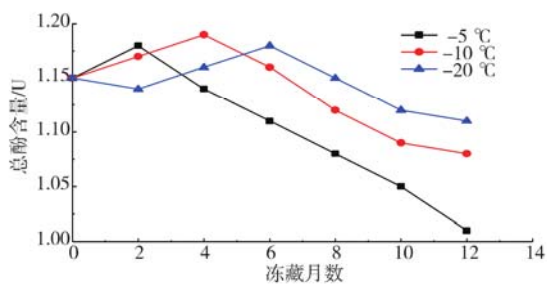


图5 冻藏温度对玛咖块根总酚含量的影响
Fig. 5 Effect of storage temperature on total phenols of maca tuber

果蔬褐变引起的原因可分为酶促褐变和非酶褐变两类。褐变是玛咖块根冻藏过程中外观品质降低的重要因素之一,在冻藏过程中,由于冻结引起玛咖块根细胞内微环境的改变使得过氧化物酶、多酚氧化酶从细胞内部游离出来,从而导致了酶促褐变的发生^[18]。随着冻藏期的延长,这两种酶会逐渐失

去活性,一些引起非酶褐变的因素逐渐显现,使得冻藏中的玛咖块根进一步褐变。玛咖块根不同温度下冻藏褐变值变化规律见图6。可以看出,玛咖块根褐变值总体呈上升趋势,-20 °C冻藏时褐变值上升最为缓慢,这是因为在低温条件下,玛咖块根细胞内酶的活性,以及非酶褐变反应速率均受到了抑制。经过统计分析,不同冻藏温度下玛咖块根褐变值的变化差异极其显著($P<0.01$)。

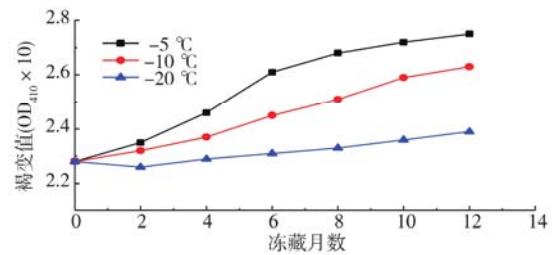


图6 冻藏温度对玛咖块根褐变值的影响
Fig. 6 Effect of storage temperature on total phenols of maca tuber

玛咖块根不同温度下冻藏表面颜色饱和度值变化规律见图7,可以看出,玛咖块根表面颜色饱和度值随着冻藏时间的延长而逐渐升高,但与冷藏相比,其值上升相对缓慢,-20 °C冻藏12个月才由0.171上升到0.209,上升值仅为0.038,幅度较小,说明玛咖块根冻藏时外观褐变程度相比冷藏时不易被察觉,不同冻藏温度下玛咖块根褐变值变化差异显著($P<0.05$)。

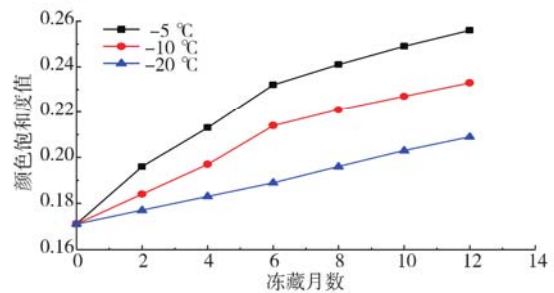


图7 冻藏温度对玛咖块根表面颜色饱和度值的影响
Fig. 7 Effect of storage temperature on color saturation of maca tuber

2.4 冻藏温度对玛咖块根黑芥子酶活性及芥子油苷含量的影响

玛咖块根中的芥子油苷及多种次生代谢物质被认为是玛咖保健功效的主要活性物质,应尽可能在冻藏过程中保留。考察不同冻藏温度下黑芥子酶活性的变化规律,有助于研究冻藏条件对芥子油苷

含量的影响。不同冻藏温度下玛咖块根黑芥子酶活性的影响见图8。随着冻藏期的延长,玛咖黑芥子酶活性总体呈下降趋势,但-20℃冻藏12个月后其活性依然保留了75.2%,说明玛咖黑芥子酶抗逆境胁迫能力较强,不容易失去活性,这也提示在玛咖块根加工之前首先要对玛咖黑芥子酶进行钝化处理,以尽可能保留玛咖块根中的芥子油苷含量。

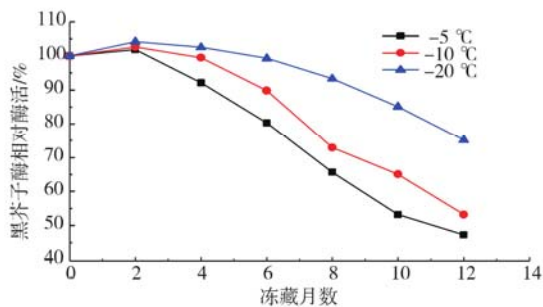


图8 冻藏温度对玛咖块根黑芥子酶活性的影响

Fig. 8 Effect of storage temperature on the myrosinase activity of maca tuber

玛咖块根冻藏后复温时芥子油苷会在黑芥子酶作用下水解^[19]。另外,冻藏条件下可能诱导芥子油苷的生物合成,因此玛咖块根在冻藏过程同时存在芥子油苷形成和降解的过程^[20]。玛咖块根不同温度下冻藏的芥子油苷含量变化见图9。可知,玛咖块根芥子油苷前期有缓慢上升的趋势,而后期逐渐下降,例如-10℃冻藏2个月,玛咖块根芥子油苷质量分数由0.78%上升至近0.80%,到冻藏第12个月,玛咖块根芥子油苷质量分数下降至0.69%。不同温度冻藏变化差异显著($P<0.05$)。

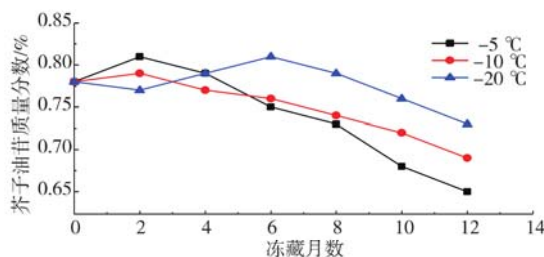


图9 冻藏温度对玛咖块根芥子油苷质量分数的影响

Fig. 9 Effect of storage temperature on glucosinolates content of maca tuber

2.5 冻藏温度对玛咖块根总生物碱含量的影响

生物碱被认为是玛咖块根重要的功效成分,具有抗氧化及抗癌等多种生理活性,因此研究冻藏

玛咖块根不同温度下冻藏的总生物碱含量变化见图10。可知,玛咖生物碱在不同温度冻藏下总体呈下降趋势,但不同冻藏温度-5、-10、-20℃的生物碱质量分数变化差异不显著($P>0.05$)。在-5℃冻藏玛咖块根12个月生物碱质量分数下降了21.6%,而在-20℃冻藏生物碱质量分数下降约9.2%。因此,玛咖在较低的温度下冻藏可使功效成分生物碱得到较大程度的保留。

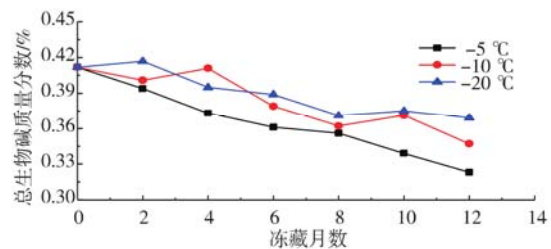


图10 冻藏温度对玛咖块根总生物碱质量分数的影响

Fig. 10 Effect of storage temperature on total alkaloids of maca tuber

2.6 冻藏温度对玛咖块根质地参数的影响

TPA 是重要的食品质地分析方法,硬度、回复性和咀嚼性可灵敏地反映玛咖块根质地的变化^[21-22]。玛咖块根在冻藏解冻后的质地品质与采后新鲜块根有明显的差异。解冻后的玛咖块根,其硬度和咀嚼性都显著下降,果实软化;但是回复性提高,尤其是在-20℃冻藏组的块根解冻后其回复性有了极大的提高。

硬度(hardness)是玛咖块根冻藏后品质检测的一个重要指标,它可以从侧面反映玛咖块根的耐贮性能和货价期。玛咖块根冻藏期间硬度的变化如图11所示。可知,3个温度条件下玛咖块根的硬度值均随冻藏期的延长而呈现降低趋势,-20℃冻藏时硬度值下降相对较为缓慢,冻藏第12个月,硬度值下降至63.5 N,而-5℃冻藏时下降至48.6 N。

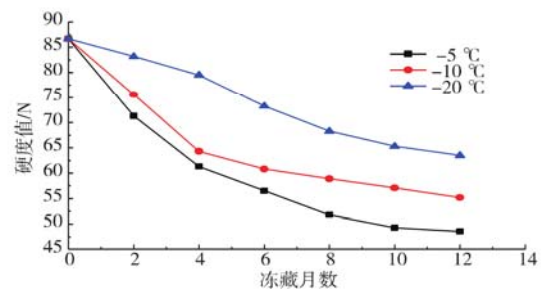


图11 冻藏温度对玛咖块根硬度的影响

咀嚼度(chewiness)综合反映了样品对咀嚼的持续抵抗性,是一项质地综合评价参数。不同冻藏温度对玛咖块根咀嚼度的影响如图12所示。可知,-5、-10℃以及-20℃冻藏条件下,玛咖块根的咀嚼度均有不同程度的下降,但-20℃冻藏时其咀嚼度

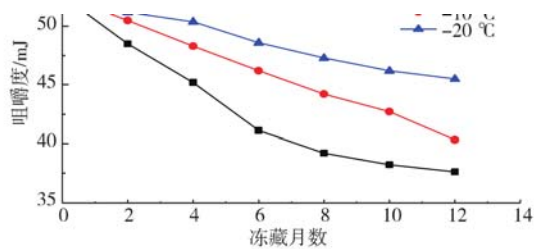


图12 冻藏温度对玛咖块根咀嚼度的影响

Fig. 12 Effect of storage temperature on chewiness of maca tuber

回复性(resilience)反映的是玛咖块根组织在冻藏条件和受压状态条件下迅速恢复形变的能力。冻藏温度对玛咖块根回复性的影响如图13所示。

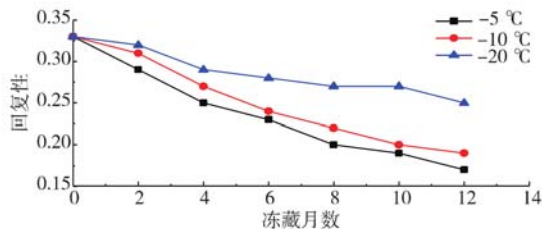


图13 冻藏温度对玛咖块根回复性的影响

Fig. 13 Effect of storage temperature on resilience of maca tuber

参考文献:

- [1] Gonzales G, Valerio G. Medicinal plants from Peru: A review of plants as potential agents against cancer [J]. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 2006, 6(5): 429-444.
- [2] Zenico T, Cicero A F G, Valmorri L, et al. Subjective effects of *Lepidium meyenii* (Maca) extract on well-being and sexual performances in patients with mild erectile dysfunction: a randomised, double-blind clinical trial [J]. *Andrologia*, 2009, 41(2): 95-99.
- [3] Yabar E, Pedreschi R, Chirinos R, et al. Glucosinolate content and myrosinase activity evolution in three maca (*Lepidium meyenii* Walp.) ecotypes during preharvest, harvest and post-harvest drying [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(4): 1576-1583.
- [4] 郭衍银, 朱艳红, 孙薇. 冬枣速冻冻藏条件的优化研究 [J]. *制冷学报*, 2008, 29(2): 54-59.
GUO Yanyin, ZHU Yanhong, SUN Wei, et al. Study on optimization of quick-freezing and frozen storage conditions of jujube [J]. *Journal of Refrigeration*, 2008, 29(2): 54-59. (in Chinese)

可知,玛咖块根在冻藏条件下回复性均呈下降趋势,但冻藏温度越低,下降越缓慢。例如,玛咖块根在-20℃冻藏12个月,回复性下降了约22%,说明低温冻藏同样有利于保持玛咖块根的回复性,使玛咖块根保持良好的感官品质。

明,不同冻藏温度下玛咖块根表面颜色饱和度值一直在上升,但是较冷藏时缓慢了许多,且冻藏温度越低,上升速率越缓慢。玛咖块根冻藏过程中品质下降较慢,但保鲜期短。玛咖块根的品质下降主要表现在汁液损失率上升、组织软化,可溶性蛋白质、可溶性固形物、芥子油苷及生物碱含量的下降,总酚以及褐变值上升。

本实验中,-20℃是较适宜的冻藏温度,玛咖块根在此温度下冻藏流通可获得良好的品质。同时从实验结果可知,玛咖块根采后短期冻藏,有利于部分营养物质的提高。在-5、-10℃以及-20℃贮藏玛咖块根12个月,样品外观品质仍较新鲜,说明这三个温度下冻藏均能使玛咖块根的保鲜期达1年以上。TPA试验表明,玛咖块根质构特性在较低温度冻藏条件下能得到更好的维持。

课题组前期的研究表明,玛咖块根可在家用冰箱冷冻室及控温精确的商用低温冷库长期冷冻保存;但若低温冷库温度波动较大,则会引起冻藏的玛咖块根反复冻融,使其细胞结构发生破坏,汁液流出,导致玛咖块根营养及功能成分流失,冻藏失效。

- [5] 包海蓉,程裕东,俞骏. 冻藏温度对桑椹品质影响的研究[J]. 食品科学,2006,27(12):130-133.
BAO Hairong, CHENG Yudong, YU Jun, et al. Effects of frozen storage temperature on the quality of mulberry [J]. **Food Science**, 2006, 27(12): 130-133. (in Chinese)
- [6] 屠定玉,王阳光,苗承舟. 冷冻方式对杨梅贮藏过程中生理变化的影响[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2011,30(3):217-220.
TU Dingyu, WANG Yangguang, MIAO Chengzhou. Freezing techniques during storage of myrica rubra physiological changes[J]. **Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science Edition**, 2011, 30(3): 217-220. (in Chinese)
- [7] 赵晶,张庆钢,赵瑜,等. 冻藏温度和时间对沙棘果中类黄酮含量的影响[J]. 食品工业,2008(5):7-8.
ZHAO Jing, ZHANG Qinggang, ZHAO Yu, et al. Influence of frozen storage temperature and time on flavonoids content of sea-buck thorn fruits[J]. **Food Industry**, 2008(5): 7-8. (in Chinese)
- [8] 刘升,金同铭. 不同冻藏时间对速冻草莓营养品质的影响[J]. 制冷学报,2006,27(5):48-50.
LIU Sheng, JIN Tongming. Influence of different frozen storage time on nutrition quality of quick frozen strawberry [J]. **Journal of Refrigeration**, 2006, 27(5): 48-50. (in Chinese)
- [9] 张素文. 玻璃态下冻结、冻藏及其后续解冻对西兰花品质的影响研究[D]. 无锡:江南大学,2011.
- [10] Clement C, Kneubuhler J, Urwyler A, et al. Effect of maca supplementation on bovine sperm quantity and quality followed over two spermatogenic cycles[J]. **Theriogenology**, 2010, 74: 173-183.
- [11] Jin W W, Zhang Y Z, Mei S, et al. Identification of *Lepidium meyenii* (Walp.) based on spectra and chromatographic characteristics of its principal functional ingredients [J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2007, 87(12): 2251-2258.
- [12] 甘瑾,冯颖,何钊,等. 云南栽培3种颜色玛咖中总生物碱含量分析[J]. 食品科学,2010,31(24):415-419.
GAN Jin, FENG Ying, HE Zhao, et al. Total alkaloids in Maca (*Lepidium meyenii*) cultivated in Yunnan [J]. **Food Science**, 2010, 31(24): 415-419. (in Chinese)
- [13] 张蕾,庞秋颖,王洋. 黑芥子酶提取及活性测定方法的改进[J]. 东北师大学报:自然科学版,2011,43(1):118-121.
ZHANG Lei, PANG Qiuying, WANG Yang. An improved method for extracting and activity determining of myrosinase[J]. **Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition**, 2011, 43(1): 118-121. (in Chinese)
- [14] 刘箭. 生物化学实验教程[M]. 第2版. 北京:科学出版社,2010:22-24.
- [15] Pirie A, Mullin M C. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissue treated with sucrose, nitrate, and abscisic acid[J]. **Plant Physiology**, 1976, 58(4): 468-472.
- [16] 潘秀娟,屠康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报,2005,21(3):166-170.
PAN Xiujian, TU Kang. Comparison of texture properties of post-harvested apples using texture profile analysis[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2005, 21(3): 166-170. (in Chinese)
- [17] Lesleigh E F, Timothy J O, Lung S W, et al. Impact of cold storage on glucosinolate levels in seed-sprouts of broccoli, rocket, white radish and kohlrabi[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2007, 44(2): 175-178.
- [18] 贾慧敏,韩涛,李丽萍,等. 可食性涂膜对鲜切桃褐变的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(3):282-286.
JIA Huimin, HAN Tao, LI Liping, et al. Effects of edible coatings on browning of fresh-cut peach fruits [J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2009, 25(3): 282-286. (in Chinese)
- [19] 杨静. 营养状态和采后处理对小白菜葡萄糖硫苷的影响[D]. 杭州:浙江大学,2009.
- [20] 阮颖,周朴华,刘春林. 植物硫代葡萄糖苷-黑芥子酶底物系统[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2007,33(1):18-23.
RUAN Ying, ZHOU Puhua, LIU Chunlin. Plant glucosinolate-myrosinase substrate-enzyme system [J]. **Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science Edition**, 2007, 33(1): 18-23. (in Chinese)
- [21] 胡亚云,傅虹飞,寇莉萍,等. 模拟超市销售期间圣女果质构特性变化的研究[J]. 食品工业与科技,2012,33(4):383-386.
HU Yayun, FU Hongfei, KOU Liping, et al. Study on texture characteristic changes of cherry tomato during the shelf phase[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(4): 383-386. (in Chinese)
- [22] 张昆明,张平,李志文,等. 葡萄贮藏期间果肉质地参数变化规律的 TPA 表征 [J]. 食品与生物技术学报,2011,30(3):353-358.
ZHANG Kunming, ZHANG Ping, LI Zhiwen, et al. Study on the variation of grape berry texture properties during storage by texture profile analysis[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2011, 30(3): 353-358. (in Chinese)