DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2020.24.019

芋头冻藏保鲜研究

王斌,方美珊,何金明
(韶关学院 英东生物与农业学院/韶关市芳香植物工程技术研究中心,广东 韶关 512005)

摘 要:为开发芋头冻藏保鲜技术,以去皮芋头为试材,研究不同温度冰冻处理和不同护色方法对冻藏芋头总可溶性固形物含量、可溶性糖含量、直链和支链淀粉含量、色度和硬度的影响。结果显示,速冻处理不会显著影响 L^*、a^*、b^*、总可溶性固形物、可溶性糖、直链淀粉和支链淀粉含量,但有利于芋头硬度的保持;冻藏 180 d 后,芋头 L^*、a^* 和 b^* 值明显下降,意味着芋头在冻藏期间发生了褐化。为研究芋头护色方法,考察热烫处理对冷藏鲜切芋头褐变的影响,60 ℃和 100 ℃的热烫处理均能有效控制冷藏鲜切芋头褐变;进一步研究发现,单独热烫处理即可有效控制冻藏芋头的褐化。研究证实芋头冻藏的适应性和可行性,使芋头周年供应成为可能。

关键词:去皮芋头;冻藏保鲜;品质;褐变;护色处理

Study on Freezing Storage of Taro

WANG Bin, FANG Mei-shan, HE Jin-ming
(Henry Fok College of Biology and Agriculture/Research Center of Shaoguan Aromatic Plant Engineering Technology, Shaoguan University, Shaoguan 512005, Guangdong, China)

Abstract: To develop the frozen preservation technology of taro, effects of freezing treatments with different temperatures and anti-browning treatments on contents of total soluble solid, soluble sugar, amylose and amylopectin, chroma and hardness of taro were studied. The results showed that contents of total soluble solids, soluble sugar, amylose and amylopectin, values of L^*, a^* and b^* were not significantly affected by quick-frozen treatments, but which were beneficial to hardness maintenance of taro. After 180 d of freezing storage, values of L^*, a^* and b^* were obviously decreased, which suggested that the browning was continued during freezing storage. To study anti-browning treatments of taro, effects of blanching treatments on the browning of fresh-cut taro was studied during cold storage. Both blanching treatments at 60 ℃ and 100 ℃ could effectively control the browning severity of fresh-cut taro. Further studies found that the blanching treatment alone could effectively control the browning of freezing taro. This study confirmed that taro was suitable for frozen preservation, which made annual supplement of taro possible.

Key words: peeled taro; frozen preservation; quality; browning; color preservation

引文格式:
王斌,方美珊,何金明. 芋头冻藏保鲜研究[J]. 食品研究与开发,2020,41(24):112-118
WANG Bin, FANG Meishan, HE Jinming. Study on Freezing Storage of Taro [J]. Food Research and Development,2020,41(24):112-118

芋头(*Colocasia esculenta*)是天南星科多年生宿根草本植物,又名芋艿、芋、香芋等[1]。芋头是芋的地下块茎,是它的主要食用部分,其口感细软香糯,既可当作蔬菜烹饪,又可当作粗粮食用,是一种重要的蔬菜兼粮食作物[2]。研究表明,芋头营养和药用价值很高[3]。在营养价值方面,芋头中含有丰富的淀粉、膳食纤维、矿物质、维生素、蛋白质等多种营养元素,营养价值与马

基金项目:韶关市科技计划项目(2019sn085);韶关学院校级重点项目(SZ2018KJ02);韶关学院大学生创新创业训练计划项目(Sycxcy2019084)

作者简介:王斌(1991—),男(汉),讲师,博士,研究方向:果蔬采后生物学与保鲜技术开发。

铃薯相似，且不含龙葵素[4-5]；在药用价值方面，芋头中含有丰富的生物活性大分子，如杂多糖、生物碱、游离氨基酸，具有降压降脂、缓解衰老、调节人体免疫活性和缓解关节炎症状的作用[2,6]。据报道，芋头中含有微量元素 19 种、游离氨基酸 17 种，其中 7 种氨基酸为人体必需氨基酸[7-8]。然而，由于芋头生产季节性强，且生长在湿热环境条件下，采收后易感病，不耐贮藏，保鲜期很短，往往只在产区及周边销售，即便在离产区较远的地域销售，也因运输及贮藏保鲜等原因，价格往往比产区的高 3 倍~5 倍。因此，探讨和开发操作简单、可长期贮藏、成本低的芋头保鲜技术，对芋头产业的可持续发展具有重要意义。

冻藏是近十几年兴起的一种食品保藏方法，食品冰冻后可在零下低温长期贮藏，并能最大限度地保留营养成分。冻藏食品食用方便、保藏成本较低，且能调节市场淡旺季，因此，冻藏技术在加工食品和肉类工业中广泛应用[9-10]。近年来，冻藏技术也在新鲜果蔬产业中开始应用[11]。已报道的可冻藏的果蔬有子姜[12]、沙棘[13]、苹果[14]、番木瓜[15]、香蕉[16]、树莓[17]、甜玉米[18]等，绝大多数的豆类蔬菜也适用于冻藏保鲜[11]。适合冻藏的果蔬一般具备突出的风味及色泽、质地坚实、成熟度适当、加工适应性好等特性[19]。芋头风味独特、组织紧密、质地坚实、含水量低，但鲜有芋头冻藏的研究报道，其冻藏适应性值得研究。

本研究以去皮芋头为试材，研究了不同冰冻处理方式对冻藏芋头贮藏品质的影响，探讨了热烫处理对芋头褐变的控制效果，并分析了不同护色方法对冻藏芋头褐变和食用品质的影响，以期为芋头的冻藏保鲜提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验用芋头为本地“荔浦芋”：韶关市曲江区大塘镇农贸市场。挑选无机械伤、病虫害芋头为试材，清洗干净表面泥土，用不锈钢削皮刀去皮，然后用刀具切割成 1.5 cm 左右厚度的薄片。蒽酮、亚硫酸氢钠、石油醚、正丁醇：天津市科密欧化学试剂有限公司；乙酸、硫酸、氢氧化钠、碘化钾：广州化学试剂厂；葡萄糖：健阳生物科技有限公司；所用试剂药品均为分析纯级别。

1.2 仪器与设备

UV-1800 紫外分光光度计：上海美普达仪器有限公司；PCDX-WJ-10 全自动超纯水仪：成都品成科技有限公司；6380R 高速冷冻离心机：德国 eppendorf 股份公司；CR-400 型色差仪：日本柯尼卡美能达公司；PR-201α 型折射仪：日本 ATAGO 公司；FHT-05 手持式硬度计：广州兰泰仪器有限公司。

1.3 试验处理

为了探究冰冻条件和护色处理对冻藏芋头贮藏品质的影响，研究进行了 3 个独立试验。试验一主要探究不同冰冻处理对冻藏芋头贮藏品质的影响，共有 4 个处理。切分好的芋头先在-80 ℃速冻处理 1 h，然后长期贮藏在-40 ℃（处理 1）或-20 ℃（处理 2）；以不速冻处理为空白对照，直接分别贮藏在-40 ℃（CK 1）或-20 ℃（CK 2）。贮藏 180 d 时取样测定各项指标，每个处理重复 3 次。

为了能在短期内明确热烫处理对芋头的护色效果，开展了试验二，共设置 3 个处理。切分后的芋头分别用 60 ℃或 100 ℃热水烫漂处理 1 min，以室温蒸馏水处理为对照组（CK）。所有处理组同时贮藏在 4 ℃，每隔 2 d 取样 1 次，每个处理重复 3 次。

试验三主要研究护色方法对冻藏芋头食用品质的影响，共设置 4 个处理。以不做任何处理直接贮藏在-20 ℃为对照组（CK），处理组分别为：100 ℃热水热烫处理 1 min，或玫瑰纯露（rose hydrsol，RH）浸泡处理 30 min，或者 100 ℃热水热烫处理 1 min 后，再用玫瑰纯露浸泡处理 30 min。处理完后，长期贮藏在-20 ℃。贮藏 180 d 时取样测定各项指标，每个处理重复 3 次。

1.4 测定指标及方法

使用 CR-400 型色差仪测定色度值；利用 PR-201α 型折射仪测定总可溶性固形物（total soluble solids，TSS）含量；采用 FHT-05 手持式硬度计测定硬度，测定前，冻藏芋头先在 4 ℃恢复 24 h；参考苗红霞等[20]的方法测定支链和直链淀粉含量；利用蒽酮比色法测定可溶性糖含量[21]。

1.5 数据处理与统计分析

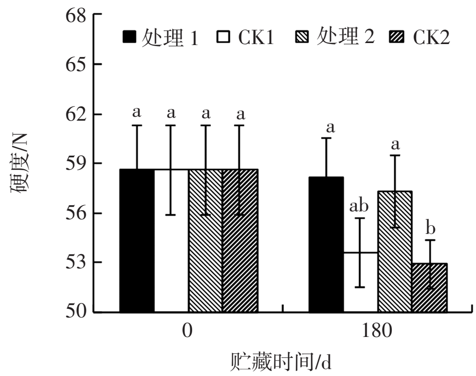
利用 Microsoft Office Excel 2003 软件整理和分析数据，使用 SPSS17.0 统计分析软件分析处理间差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同冰冻方式对冻藏芋头贮藏品质的影响

不同冰冻方式对冻藏芋头硬度的影响见图 1。

硬度是评价冻藏果蔬质地的重要指标，能直接反映冻藏产品质量和消费者的接受程度[22]。测定冻藏芋头硬度前，先在 4 ℃恢复 24 h。尽管芋头组织结构致密、含水量低，但从图 1 可看出，经过 180 d 的冻藏后，芋头的硬度总体上有所下降，且未速冻处理组的硬度

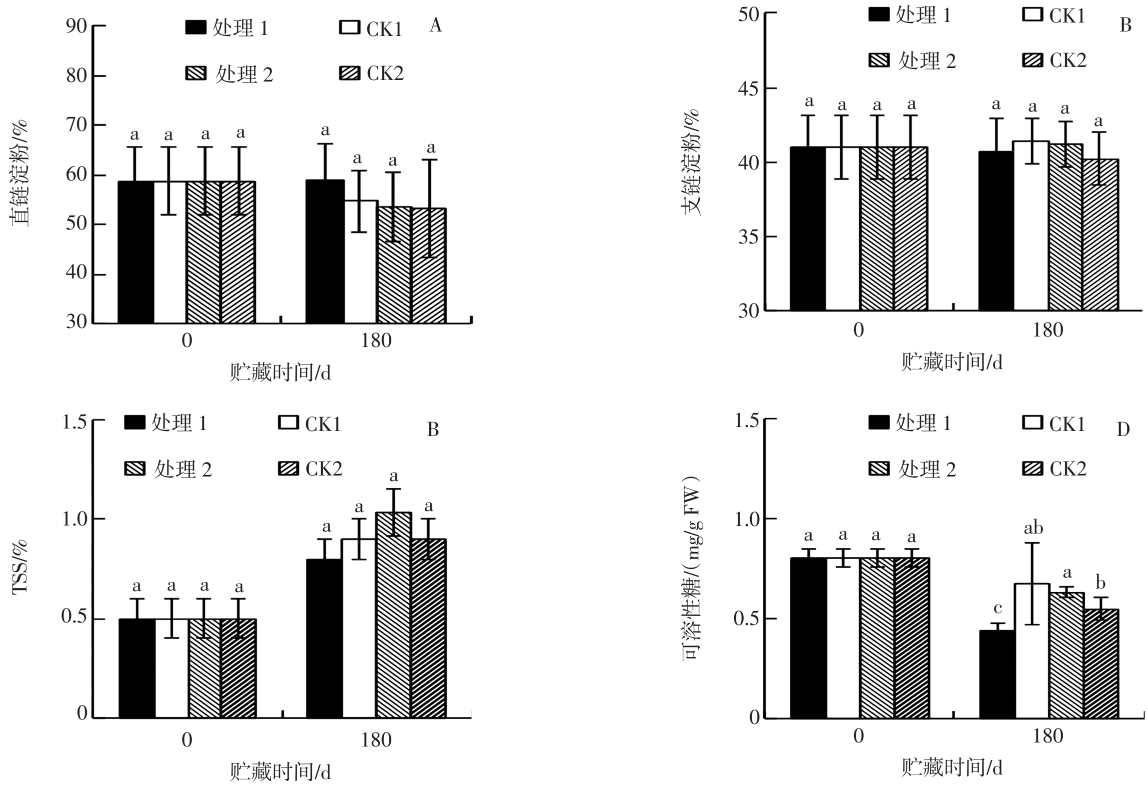


不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 1　不同冰冻方式对冻藏芋头硬度的影响

Fig.1　Effects of different freezing ways on hardness of frozen taro

下降更多，各处理组芋头冻藏后硬度比冻藏前降低 0.74%~9.73%。在冻藏 180 d 时，与未速冻处理而直接贮藏在−40 ℃或−20 ℃度的对照组相比，速冻处理组(处理 1 和处理 2)的硬度显著高于未速冻处理组。这可能是因为速冻形成的冰晶体积较小，对细胞结构损伤较小，而缓慢冻结易形成较大冰晶，对芋头细胞结构产生了明显机械损伤，导致组织结构塌陷，细胞内含物大量渗出，硬度下降。此外，速冻处理组之间的硬度差异不显著，从节约能源的角度考虑，芋头速冻处理后，可贮藏在较高的冰冻温度。不同冰冻方式对冻藏芋头直链淀粉、支链淀粉、TSS 和可溶性糖含量的影响见图 2。



A.直链淀粉；B.支链淀粉；C. TSS；D.可溶性糖；不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 2　不同冰冻方式对冻藏芋头直链淀粉、支链淀粉、TSS 和可溶性糖含量的影响

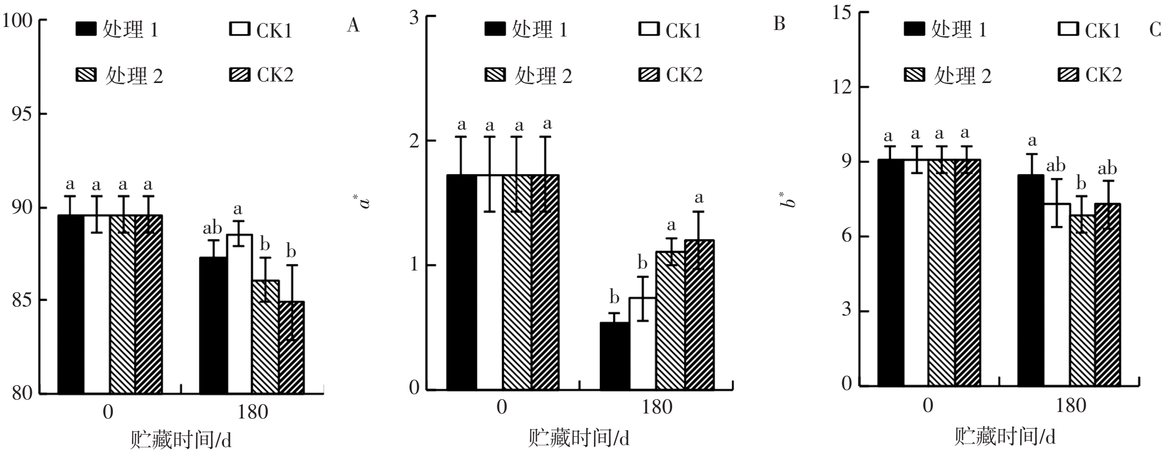
Fig.2　Effects of different freezing ways on contents of amylose，amylopectin，TSS and soluble sugar in frozen taro

芋头的食用部分是贮藏部位，淀粉含量很高，直链淀粉和支链淀粉含量及比例影响产品食用口感。由图 2A 和图 2B 可知，经过 180 d 的冻藏，芋头直链和支链淀粉含量变化不大，意味着冻藏能很好地保持芋头的食用口感；同时，不同处理间的芋头直链和支链淀粉含量差异不显著，说明速冻处理与否也不会对直链和支链淀粉含量产生明显影响，冰冻贮藏温度对直链和支链淀粉含量的影响也不明显(图 2A、图 2B)。

对于淀粉含量较高的果蔬而言，低温贮藏往往会导致淀粉向可溶性糖转化[23]，使得可溶性固形物含量明显增加。图 2C 数据显示，经过冻藏，芋头总可溶性固形物(TSS)含量明显增加。这说明冰冻低温会使淀粉等大分子物质向小分子转化，导致可溶性固形物含量增加，尽管一些转化酶在冰冻温度下活性很低。在冻藏 180 d 时，各处理组间的 TSS 含量差异不显著，说明速冻处理不会有效抑制转化酶活性，从而减少大分子物质向小分子物质的转化(图 2C)。总可溶性固形物中的主要物质是可溶性糖类。从图 2D 可以看出，经过

180 d 的冻藏，各处理组的可溶性糖类总体呈下降趋势。一方面，这说明总可溶性固形物中可溶性糖的比例在冻藏期间是下降的，暗示着除可溶性糖类外的其它可溶性固形物含量增加。可溶性糖类主要是双糖和单糖，是果蔬中主要的呈甜味物质。另一方面也说明冻藏使芋头甜度下降，提高了芋头的食用品质。在冻藏 180 d 时，各处理组间的可溶性糖含量没有明显规律(图 2D)，速冻处理能否能降低可溶性糖含量，尚需进一步确认。

芋头中酚类物质含量较高，去皮芋头表面在贮藏期间很容易褐化。不同冰冻方式对冻藏芋头 L^*、a^* 和 b^* 的影响见图 3。



A. L^*；B. a^*；C. b^*；不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 3　不同冰冻方式对冻藏芋头 L^*、a^* 和 ** 的影响

Fig.3　Effects of different freezing ways on values of L^*, a^* and b^* of frozen taro

从图 3 中可以看出，芋头在冻藏期间，L^*、a^* 和 b^* 值均呈下降趋势，各处理的 L^* 值比未冻藏前降低1.15%~5.24%，a^* 值比未冻藏前降低 30.83%~90.04%，b^* 值比未冻藏前降低 11.00%~16.00%。这说明芋头冻藏期间仍会发生明显褐变，即使与褐变有关的一些酶活性在零下低温很低。此外，还观察到，经过冻藏的芋头在 4 ℃恢复时，表面褐变迅速加重。这一方面可能是由于相对温度的升高，使得与褐变有关的酶活性迅速提高，加速了褐变；另一方面，冰冻低温使细胞膜发生严重的机械损伤，膜的透性增加，细胞区隔破坏，增加了底物与酶接触的机会。在冻藏 180 d 时，直接在−40 ℃冻藏的芋头 L^* 值显著高于其它处理组，速冻处理后再贮藏在−40 ℃和直接贮藏在−40 ℃的芋头 a^* 值显著低于其它两组处理，各处理间的 b^* 值差异不明显(图 3)。尽管各处理间的 L^*、a^* 和 b^* 值有一定差异，但规律性不强，速冻处理是否有助于控制冻藏芋头褐变，值得进一步研究。

2.2　不同温度热烫处理对冷藏鲜切芋头褐变的影响

2.1 的结果表明，芋头在冻藏期间以及低温恢复期间均会发生较为严重的褐变。有研究表明，热烫处理可控制鲜切果蔬褐变。为了能在短时间内确定有效控制芋头褐变的护色处理方法，本研究探讨了热处理对冷藏鲜切芋头褐变的影响。L^*、a^* 和 b^* 值是反映产品色度的指标，L^* 表示明度；a^* 反映绿色与红色之间的转换，正值表示红色，负值表示绿色；b^* 反映蓝色与黄色之间的转化，正值表示黄色，负值表示蓝色[24]。

热烫处理对冷藏鲜切芋头 L^*、a^* 和 b^* 的影响见图 4。

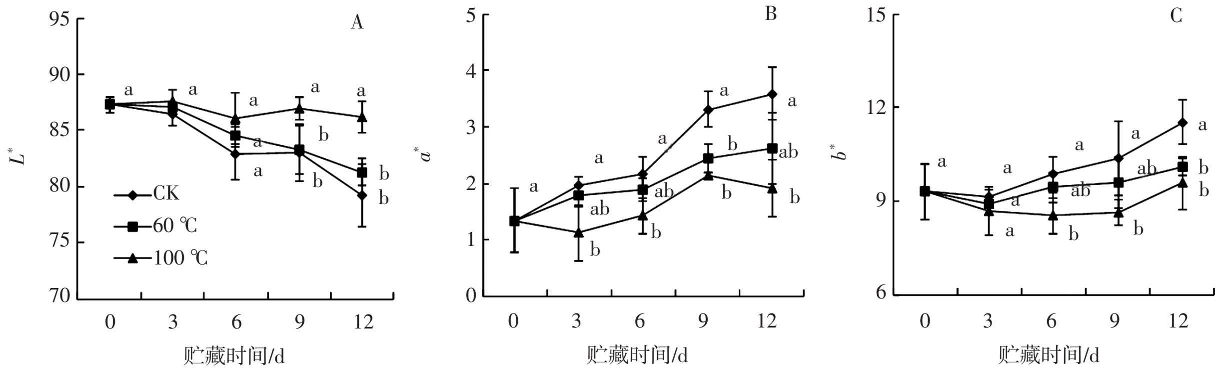
由图 4 可知，各处理的 L^* 值在 4 ℃冷藏期间逐渐降低，a^* 和 b^* 值逐渐增加。与对照组相比，在冷藏后期，热烫处理的 L^*、a^* 和 b^* 值显著低于对照。在贮藏 12 d 时，60 ℃热烫处理的 L^*、a^* 和 b^* 值分别比对照高 2.64%、27.02%和 12.44%，100 ℃热烫处理的 L^*、a^* 和 b^* 值分别比对照低 8.82%、46.66%和 16.99%，说明 60 ℃和 100 ℃的热烫处理能有效延缓芋头 L^* 值的降低、a^* 和 b^* 值的增加，控制去皮芋头褐变。其中，100 ℃热烫处理的效果更为显著。也进一步表明，热烫处理是一种有效控制去皮芋头褐变的护色方法。

2.3　护色处理对冻藏芋头贮藏品质的影响

不同护色处理对冻藏芋头硬度的影响见图 5。

之前的研究发现，一些芳香植物纯露对多酚氧化酶具有明显的抑制作用，可有效控制鲜切芋头褐变。其中，玫瑰纯露的效果最为显著。因此，本研究使用玫瑰纯露单独或与热烫处理结合，处理去皮芋头，明确玫瑰纯露单独或结合处理对冻藏芋头的护色效果及对冻藏品质的影响。

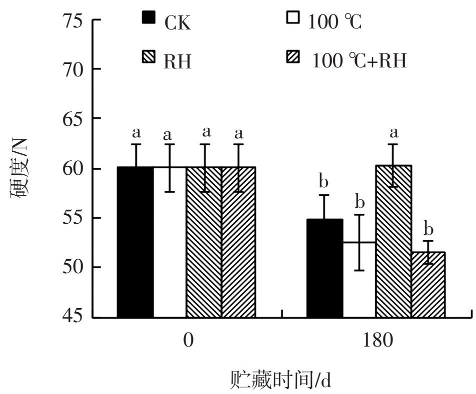
与 2.1 结果一致，冻藏后芋头的硬度总体上是下



A. L^*;B. a^*;C. b^*;不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 4 热烫处理对冷藏鲜切芋头 L^*、a^* 和 b^* 的影响

Fig.4 Effects of blanching treatments on values of L^*, a^* and b^* of fresh-cut taro during cold storage



不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

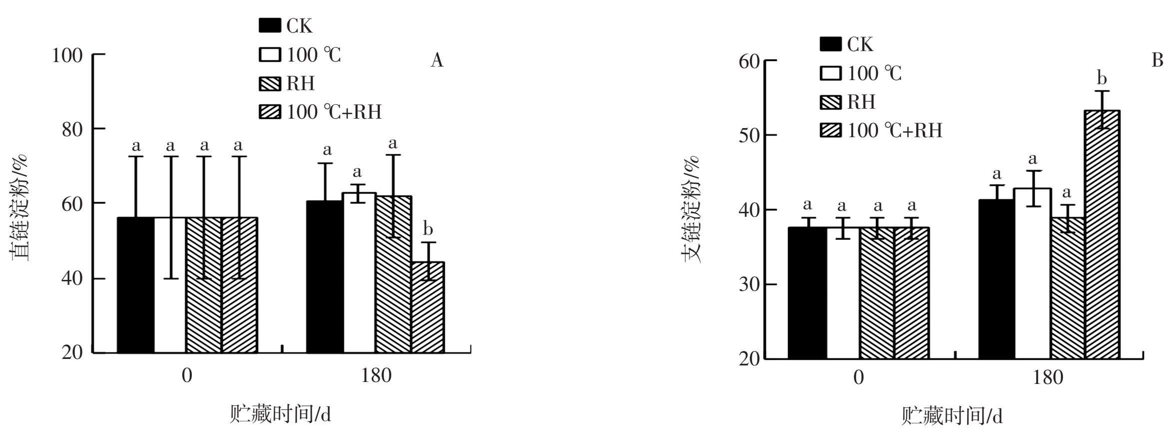
图 5 不同护色处理对冻藏芋头硬度的影响

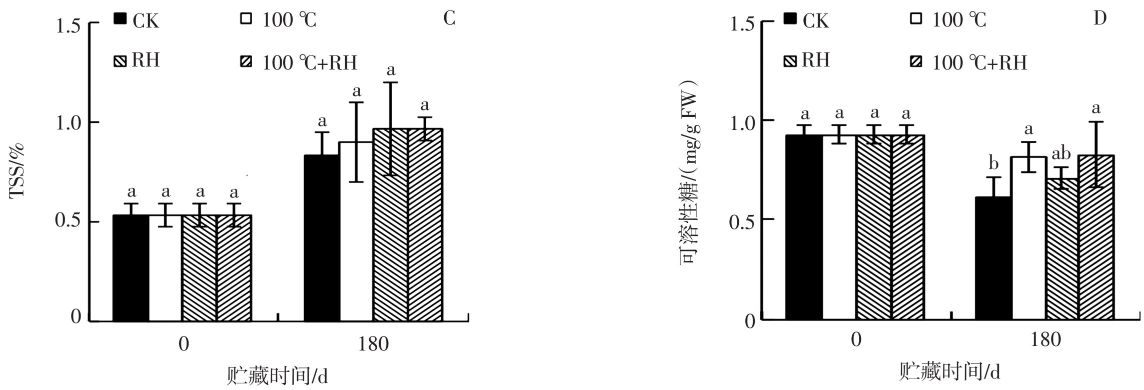
Fig.5 Effects of different anti-browning treatments on hardness of frozen taro

降的，各处理组的硬度比未冻藏前低 3.33%~14.15%(图 5)。冻藏 180 d 后,热烫单独处理和结合玫瑰纯露护色处理的硬度与对照之间虽无显著差异,但总体上低于对照。暗示着热烫处理本身也可能会对组织造成损伤,导致细胞结构破坏,硬度下降。此外,玫瑰纯露单独处理组的硬度显著高于对照组和热烫单独处理或结合处理组(图 5)。这一结果是偶然因素导致的,还是有深层原因,尚需进一步验证。护色处理对冻藏芋头直链淀粉、支链淀粉、TSS 和可溶性糖含量的影响见图 6。

由图 6A 和图 6B 可以看出,对照组的直链和支链淀粉含量在冻藏期间变化不大;与冻藏前相比,热烫和玫瑰纯露单独处理的直链和支链淀粉含量稍有增加,结合处理的直链淀粉含量明显降低,而支链淀粉含量明显增加。在冻藏 180 d 时,热烫和玫瑰纯露单独处理的直链和支链淀粉含量与对照组差异不显著,但结合处理的直链含量显著低于对照,而支链淀粉含量显著高于对照(图 6A~图 6B)。意味着结合处理可能增强了直链淀粉向支链淀粉转化的能力,使得支链淀粉含量增加,提高了冻藏芋头的食用品质。

与 2.1 结果一致,TSS 含量在冻藏后增加，与对照相比,各处理组的 TSS 含量与对照组之间没有显著性差异(图 6C)。可溶性糖含量结果与 2.1 的结果也一致，冻藏使得可溶性含量明显降低（图 6D)。在 180 d 时,热烫单独处理与结合处理的总可溶性糖含量显著高于对照,意味着热烫处理提高了冻藏芋头可溶性糖含量。护色处理对冻藏芋头 L^*、a^* 和 b^* 的影响见图 7。

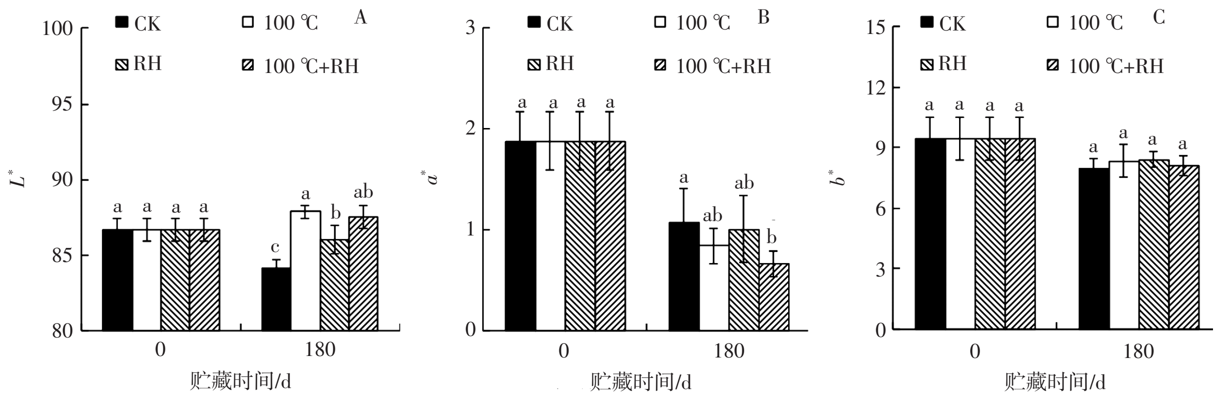




A.直链淀粉；B.支链淀粉；C. TSS；D.可溶性糖；不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 6　护色处理对冻藏芋头直链淀粉、支链淀粉、TSS 和可溶性糖含量的影响

Fig.6　Effects of anti-browning treatments on contents of amylose，amylopectin，TSS and soluble sugar in frozen taro



A. L^*；B. a^*；C. b^*；不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

图 7　护色处理对冻藏芋头 L^*、a^* 和 b^* 的影响

Fig.7　Effects of anti-browning treatments on values of L^*, a^* and b^* of frozen taro

从图 7 可知，未经护色处理的芋头在冻藏期间仍会褐化，表现在 L^*、a^* 和 b^* 值在冻藏 180 d 后降低。与冻藏前相比，护色处理明显提高了 L^* 值(图 7A)，但不能有效延缓 a^* 和 b^* 值的下降(图 7B~图 7C)。说明冻藏前的护色处理能明显提高芋头在冻藏期间的亮度，有效延缓褐变，提高了冻藏芋头的感官品质。与对照相比，各处理的 L^* 值显著高于对照，a^* 和 b^* 值与对照无显著差异(图 7)，且热烫单独处理和与玫瑰纯露的结合处理的 L^* 值显著高于玫瑰纯露单独处理。另外，冻藏芋头在-4 ℃恢复期间，热烫单独处理和结合处理的褐变速度明显慢于对照组。这些结果说明：1）玫瑰纯露的护色效果不及热烫处理；2)热烫处理是控制冻藏芋头褐变的有效护色方法，也进一步表明单独的热烫处理足够控制冻藏芋头褐变，不需要与其它抗褐变剂结合处理。

3　讨论与结论

速冻处理对冻藏果蔬品质至关重要，因为冰冻速度的快慢直接影响冰晶体积[25-26]。冰冻速度越慢，形成的冰晶体积越大，对细胞造成的机械损伤也越严重。速冻处理的芋头经低温恢复后，仍能维持较高硬度。这与其它冻藏果蔬的研究结果一致[27]，表明速冻处理更有利于保持冻藏果蔬质地。经长期冻藏，芋头的营养品质没有明显下降，表明冻藏能很好保持芋头营养品质。也进一步明确了芋头可通过冻藏实现长期贮藏，克服芋头生产的季节性，从而调节市场供需平衡。

冻藏食品的感官是影响消费者接受度的重要因素[28]。芋头由于多酚类物质含量较高，在贮藏期间很容易发生褐变[29]。本研究也得到了相似的结果，冻藏期间仍会发生一定程度的褐变，且速冻处理与否不会显著抑制褐变。也说明芋头在冻藏前必须进行护色处理，以控制芋头在冻藏期间的褐变。

热处理是一种物理护色方法，可抑制鲜切果蔬褐变[30-33]。为探讨热处理对芋头的护色效果，研究了 60 ℃和 100 ℃热烫处理对芋头褐变的影响。60 ℃和 100 ℃热烫处理均能有效控制芋头褐变，后者的控制效果更好，表明热烫处理能有效控制芋头褐变。果蔬的褐变主要是酶促褐变[34]，较高温度的热烫处理能抑制与褐

变有关的酶活性。芳香植物提取物（纯露）能有效抑制鲜切芋头的酶促褐变[35]，但尚不清楚对冻藏芋头品质的影响。本研究发现，玫瑰纯露和热烫处理均能抑制冻藏芋头褐变，热烫处理的抑制效果优于纯露处理，且纯露结合热烫处理对冻藏芋头褐变的控制影响效果与热烫单独处理接近，表明单独热烫处理即可有效控制冻藏芋头褐变。尽管热烫处理有利于保持冻藏芋头良好的感官品质，但热烫处理的芋头食用品质下降。因此，尚需进一步优化冰冻工艺，以降低热烫处理引起的不利影响。综上所述，芋头可利用冻藏技术长期保藏，以实现周年供应，调节市场供需平衡。

参考文献：

[1] 戴艳丽, 吴湖龙, 杨柳依, 等.我国芋头栽培技术研究进展[J].长江大学学报, 2018, 15(22):9–12

[2] 赵国华, 陈宗道, 王赟. 芋头多糖的理化性质及体内免疫调节活性研究[J].中国食品学报, 2002, 2(3):21–25

[3] 蒙真铖, 苏翠, 岳建伟, 等. 芋头栽培技术及组织培养研究进展[J].热带农业科学, 2019, 39(11):67–71

[4] 韩笑, 张东旭, 王磊, 等. 芋头的营养成分及加工利用研究进展[J].中国果菜, 2018, 38(3):9–13

[5] 李莎, 王敬涵, 戴瑞, 等. 芋头淀粉及其提取工艺的研究进展[J].食品工程, 2019, 3(6):6–9

[6] 胡士元, 田建春. 姜汁芋头糊治疗关节炎[J]. 中国社区医师, 2002, 18(16):36

[7] 李雅臣, 李德玉, 吴寿金. 芋头化学成分的研究(Ⅱ)[J]. 中草药, 1996(2):78

[8] 程红娜. 芋艿皮渣生物碱提取工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2012, 11(2):113–116

[9] BERNA Ö Ö, AYLA S. Effect of plant extracts on lipid and protein oxidation of mackerel (*Scomber scombrus*) mince during frozen storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 55(22):120–127

[10] PIL N S, HYUN W S, JIN H K, et al. Assessment of frozen storage duration effect on quality characteristics of various horsemeat muscles[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2017, 30(12):1756–1763

[11] 彭丹,邓洁红,谭兴和,等.果蔬速冻保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(2):5–9

[12] 冯亚超. 速冻子姜片关键加工工艺及冻藏品质变化研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2016

[13] 牛红霞. 不同冻结和解冻方式对沙棘果实品质的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015

[14] 张海燕, 康三江, 张芳, 等. 速冻苹果加工工艺优化研究[J]. 核农学报, 2016, 30(3):516–524

[15] 刘艳春. 速冻对番木瓜品质的影响及控制研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015

[16] 刘俊围. 香蕉冷冻和贮藏过程中品质变化规律及控制研究[D]. 湛江:广东海洋大学, 2015

[17] 刘畅, 孟宪军, 孙希云, 等. 不同树莓品种冻藏品质变化及适宜冻藏品种筛选[J]. 食品工业科技, 2014, 35(20):354–357

[18] 李洪涛, 许瀚元, 郑洪建, 等. 鲜食糯玉米连玉糯 1 号栽培及速冻加工与保鲜技术[J]. 作物研究, 2019, 33(4):264–266

[19] 宋佳玮, 郑明媛, 王宇, 等. 果蔬速冻技术、设备和质量控制现状分析[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(3):154–161

[20] 苗红霞, 金志强, 刘伟鑫, 等.香蕉采后果肉硬度与淀粉代谢变化[J].中国农学通报, 2013, 29 (28):124–128

[21] 王延琴, 周大云, 匡猛, 等.棉花中水溶性总糖含量的提取及测定方法研究[J].中国农学通报,2019, 35(9):53–60

[22] 武治昌, 刘玉环, 刘志芳, 等. 影响速冻蔬菜品质的主要因素[J].食品与发酵工业, 2006, 25(8):97–700

[23] 张锐, 陈玉成, 于天颖, 等. 马铃薯贮藏特性及条件[J]. 农业科技与装备, 2012, 37(9):67–68

[24] Pattee H E, Giesbrecht F G, Young C T. Comparison of peanut butter color determination by CIELAB L^*, a^*, B^* and Hunter color–difference methods and the relationship of roasted peanut color to roasted peanut flavor response [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(3):519–523

[25] 李伟, 李保国, 朱珩, 等. 液氮速冻技术在食品中的应用[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(1):66–70

[26] HONG W L, DONG H. The processing technology of quick–frozen vegetables by IQF[J]. Science and Technology of food Industry, 2008, 10(4):309–314

[27] BROWN M S. Texture of frozen fruit and vegetables [J]. Journal of Texture Studies, 2010, 7(4):391–404

[28] 于海杰, 姚文秋. 果蔬速冻保鲜贮藏技术 [J]. 黑龙江农业科学, 2010, 1(7):132–135

[29] 陆胜民, 果雅凝. 抗褐变剂和充气包装对鲜切芋头保鲜效果的研究[J]. 中国食品学报, 2007, 7(2):92–97

[30] 张丽华,李顺峰,李珍珠,等.热处理对鲜切果蔬品质影响的研究进展[J].食品工业科技,2019, 40(7):290–295

[31] 何凤平, 潘永贵. 鲜切果蔬变色及其控制技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7):2420–2426

[32] 宋慕波, 帅良, 陈振林, 等. 热处理对抑制鲜切马蹄褐变效果的研究[J]. 食品科技, 2017, 42(5):36–40

[33] 袁明芬, 刘程惠, 胡文忠, 等. 热处理对抑制鲜切香蕉褐变的效果的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7):332–335

[34] 郑重禄. 鲜切水果酶促褐变机理及其有效控制途径[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(4):5–8

[35] 王斌, 黄嘉坪, 肖艳辉, 等. 芳香植物纯露处理对鲜切芋头保鲜效果的影响[J].保鲜与加工, 2020, 20(3):41–46

收稿日期：2020–01–10