

杨 明,包媛媛,张新永,等. 不同贮藏温度对云薯 105 马铃薯生理品质的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(5):189-193.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.05.040

不同贮藏温度对云薯 105 马铃薯生理品质的影响

杨 明¹,包媛媛¹,张新永²,杜 鹏¹,林 奇¹

(1. 云南农业大学食品科学技术学院,云南昆明 650051; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院,云南昆明 650051)

摘要:马铃薯块茎不耐长期贮藏,受贮藏环境温湿度的影响很大。用恒温恒湿培养箱模拟大型贮藏库,将恒温恒湿培养箱的温度设置为 4 ℃、10 ℃、15 ℃、常温(20 ℃)4 个梯度,相对湿度均设置为 70%~80%,选用云薯 105 作为试验材料,研究不同贮藏温度条件对云薯 105 干物质、淀粉、还原糖、蛋白质含量和淀粉酶、淀粉磷酸化酶、蔗糖转化酶、过氧化物酶活性的影响。结果表明,云薯 105 的干物质、淀粉、维生素 C、蛋白质含量在贮藏始期达到最高值,随着贮藏时间的延长而逐渐下降,还原糖含量随着贮藏期的延长而在一定范围内逐渐上升;淀粉酶、蔗糖转化酶、过氧化物酶活性随着贮藏期的延长而逐渐上升,贮藏至 120 d 以后,蔗糖转化酶、过氧化物酶活性有所下降;淀粉磷酸化酶活性随着贮藏时间的延长先下降后上升又下降。由结果可知,不同贮藏温度对云薯 105 营养品质和酶活性的影响各异。常温贮藏马铃薯的营养损失得过快,4 ℃贮藏条件可以在一定程度上保持马铃薯的营养品质。

关键词:温度;贮藏;酶活性;马铃薯;淀粉酶;淀粉磷酸化酶;蔗糖转化酶;过氧化物酶

中图分类号: S532.01;S532.09 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)05-0189-04

马铃薯是一类营养丰富、粮蔬兼用的食材,被联合国粮食及农业组织列为“第四大主粮”。马铃薯主食化已经成为国家战略。目前我国马铃薯种植面积、总产量均居世界第一。我国社会正在全面进入营养健康发展新阶段,马铃薯主食化对于推动供给侧改革、改善居民膳食营养结构至关重要。收获后的马铃薯进行着一系列的生理生化反应。通过合理贮藏,可以降低或者延缓马铃薯的生理生化活动^[1]。通过合理贮藏,还可以调节市场供应,提高马铃薯的商业价值。影响马铃薯贮藏质量的因素有温度、湿度、CO₂ 浓度和光照等,其中温度是影响马铃薯贮藏质量的关键因素。在高温条件下,马铃薯容易失水,代谢旺盛,同时会引起马铃薯过早发芽,从而消耗马铃薯内部的营养物质,发芽的马铃薯会产生有毒物质龙葵素,导致马铃薯品质下降。当贮藏温度过低时,马铃薯容易发生“低温糖化”现象,不利于淀粉的保持,同时容易发生低温冻害和真菌感染^[2]。鲜食薯、加工用薯都有各自的贮

藏要求。通过合理贮藏,可以调节马铃薯市场的供应期,实现马铃薯增值。本试验选取青薯 9 号为试验材料,研究不同贮藏温度对马铃薯干物质、淀粉、还原糖、蛋白质含量和淀粉酶、淀粉磷酸化酶、蔗糖转化酶、过氧化物酶(POD)活性的影响,以期为不同用途的马铃薯贮藏提供理论指导,并为优化马铃薯贮藏条件提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

云薯 105 马铃薯,采自云南省寻甸县甸沙乡试验基地;UV-1800 紫外可见分光光度计,上海翱艺仪器有限公司;ESJ200-48 电子天平,沈阳龙腾电子有限公司;YLD-3000 电热恒温鼓风干燥箱,上海跃进医疗器械有限公司;HH-8 数显恒温水浴锅,常州国华电器有限公司;HYP-308 消化炉,上海纤检仪器有限公司;KQ3200E 超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司。

1.2 试验设计与处理方法

本试验地点为云南农业大学,于 2018 年 8 月开始进行试验。选取大小均一、无机械损伤和病虫害的马铃薯块茎放入 4 个恒温恒湿培养箱内。4 个恒温恒湿培养箱的温度分别设置为 4 ℃、10 ℃、15 ℃、常温 CK(20 ℃),湿度设置为 70%~80%。马铃薯自入贮藏库之日起,每隔 30 d 取样 1 次,贮藏期间

收稿日期:2018-06-19

基金项目:云南省现代农业马铃薯产业技术体系专项(编号:2017KJTX003)。

作者简介:杨 明(1992—),男,云南大理人,硕士,研究方向为薯类作物贮藏保鲜。E-mail:1223637852@qq.com。

通信作者:包媛媛,博士,讲师,研究方向为果蔬保鲜。E-mail:380984741@qq.com。

共取样 6 次,贮藏 150 d。每次取样约 500 g,洗净晾干,取马铃薯块茎的横切片研磨,测定还原糖、蛋白质含量及酶活性。取 100 g 鲜样烘干,用于测定干物质含量,将烘干后的马铃薯打成粉末,用于测定淀粉含量。各理化指标重复测定 3 次。

1.3 测定方法

干物质含量的测定采用烘干称质量法;淀粉含量的测定采用碘比色法;还原糖含量的测定采用铁氰化钾法^[3];粗蛋白质含量的测定采用凯氏定氮法^[4];维生素 C 含量的测定采用滴定法^[5];淀粉酶活性的测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[6];淀粉磷酸化酶活性的测定采用无机磷法^[7];蔗糖转化酶活性的测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[8];过氧化物酶活性的测定采用愈创木酚法^[9]。

1.4 统计分析

采用 SPSS 18.0 软件对数据进行方差分析,利用 *LSD*(最小显著性差异法)多重比较进行差异显著性分析。用 Excel 对数据进行分析与作图。

2 结果与分析

2.1 云薯 105 贮藏期间品质含量的变化

2.1.1 云薯 105 贮藏期间干物质含量的变化 干物质含量不仅会影响马铃薯的加工品质,而且会影响马铃薯的产量和经济效益^[10]。马铃薯在刚收获后,干物质含量最高,随着贮藏时间的延长,马铃薯干物质含量逐渐下降,在下降到一定程度时,干物质含量趋于平缓。有研究发现,马铃薯在贮藏期间的干物质含量与淀粉含量呈极显著正相关关系,马铃薯在贮藏期经历的一系列生理生化反应会消耗块茎内的干物质^[11]。由图 1 可知,云薯 105 的干物质含量在贮藏始期达到最高值,随着贮藏时间的延长,干物质含量逐渐下降,贮藏至 90 d 时,干物质含量迅速下降,在贮藏后期,干物质含量有所上升。经分析发现,各组间干物质含量不存在显著差异。贮藏温度越高,干物质损失得越多,在 4℃ 贮藏更容易使干物质含量得到保持。

2.1.2 云薯 105 贮藏期间淀粉含量的变化 淀粉是马铃薯的主要贮藏物质,是评价马铃薯品质优劣的重要指标。在贮藏期间,淀粉发生“糖化”现象,并转化为蔗糖、还原糖,同时蔗糖、还原糖又会转化为淀粉。淀粉转化为糖是一个可逆的动态平衡,这个动态平衡的方向和速率取决于马铃薯的品种和贮藏条件^[12]。由图 2 可知,在贮藏初期时,云薯 105

淀粉含量达到最高值,贮藏温度不同,淀粉含量的变化也各不相同。其中在 15、20℃ 贮藏条件下淀粉含量的降幅较大,贮藏 150 d 时分别下降了 20.6%、26.4%。在 4、10℃ 条件下,云薯 105 的淀粉含量的下降幅度相对较小,贮藏 150 d 时分别下降了 17.4%、14.3%。贮藏至 90 d 后,4℃ 条件下云薯 105 的淀粉含量下降幅度高于 10℃ 条件下的。在低温条件下,由于淀粉转化为糖,导致淀粉含量降低。有研究表明,呼吸作用会导致淀粉的消耗,低温降低了淀粉的呼吸速率。本研究结果表明,20℃ 处理组淀粉含量下降得最多,温度高导致呼吸速率增强,呼吸作用是影响淀粉含量的主要因素。由此推测,在马铃薯的呼吸及“低温糖化”的共同作用下,马铃薯的淀粉含量逐渐下降。

2.1.3 云薯 105 贮藏期间还原糖含量的变化 马铃薯在贮藏过程中还原糖与氨基酸发生美拉德反应,产生棕色带苦味的物质。因此,还原糖的积累会直接影响加工类马铃薯的质量^[13]。由图 3 可知,当贮藏至 120 d 时,处理组云薯 105 的还原糖含量升至最大值,随后逐渐下降。在整个贮藏期,处理组的还原糖含量都比 20℃ 处理组高,且遵循贮藏温度越低还原糖含量越高的规律。分析可知,20℃ 处理组的还原糖含量与 4、10℃ 处理组差异极显著($P < 0.01$)。由于马铃薯在贮藏过程中的“低温糖化”作用,使还原糖得到积累。

2.1.4 云薯 105 贮藏期间蛋白质含量的变化 马铃薯蛋白质具有很高的营养价值^[14]。马铃薯蛋白质包括大量黏体蛋白质,黏体蛋白质是一种多糖蛋白的混合物,能防止动脉粥样硬化的过早发生。由图 4 可知,在 4℃ 贮藏条件下,云薯 105 中蛋白质含量的变化呈先下降后升高再下降的趋势,并在贮藏 90 d 时,蛋白质含量达到最低值 2.07%,相对于贮藏始期,蛋白质含量下降了 11.5%。在 10℃ 贮藏条件下,从贮藏始期持续至贮藏 90 d 时,蛋白质含量持续下降,而后呈先上升又下降的趋势。贮藏至 150 d 时,蛋白质含量达到最低值 2.01%。在 15℃ 贮藏条件下,当贮藏至 150 d 时,蛋白质含量达到最低值 1.87%。20℃ 处理组贮藏至 90 d 后,蛋白质含量迅速下降。由此推测,低温贮藏条件能够在一定程度上缓解蛋白质的损失,在常温贮藏条件下,蛋白质含量的损失最大,贮藏 150 d 时较贮藏初期下降了 25.1%。

2.1.5 云薯 105 贮藏期间维生素 C 含量的变化

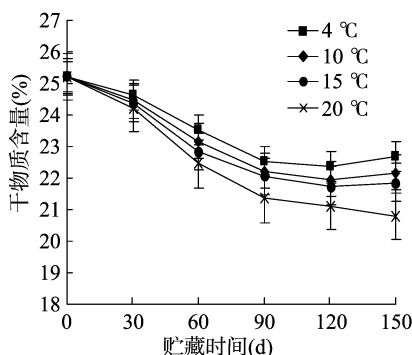


图1 不同贮藏温度对云薯 105 干物质含量的影响

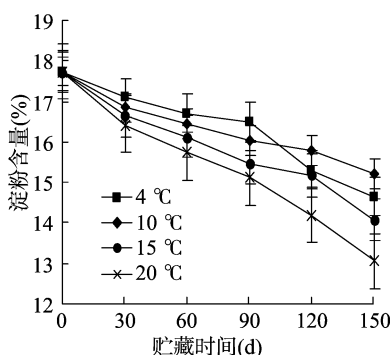


图2 不同贮藏温度对云薯 105 淀粉含量的影响

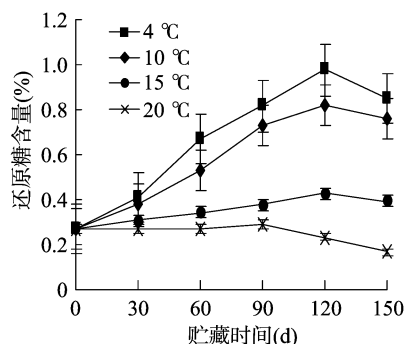


图3 不同贮藏温度对云薯 105 还原糖含量的影响

马铃薯块茎中的维生素 C 是以还原型、氧化型 2 种形式存在的,马铃薯中维生素 C 含量丰富,影响马铃薯维生素 C 含量的因素很多,其中温度是一个重要因素。由图 5 可知,云薯 105 维生素 C 含量在贮藏初期最高;随着贮藏期的延长,云薯 105 维生素 C 含量逐渐下降,贮藏至 150 d 时,4、10、15 °C 处理组的维生素 C 含量分别下降了 56.5%、58.6%、63.4%,而 20 °C 处理组下降了 69.1%。总体看出,贮藏温度较低可以减缓维生素 C 的损失。

2.2 云薯 105 贮藏期间若干酶活性的变化

2.2.1 云薯 105 贮藏期间淀粉酶活性的变化 淀粉酶可将淀粉水解成可利用态的糖,为发芽提供碳素营养和能量。当休眠解除、芽条完全生长后,淀

粉酶活性开始逐渐下降^[15]。由图 6 可知,在 4、10 °C 贮藏条件下,云薯 105 的淀粉酶活性表现出缓慢上升的态势,在 4 °C 贮藏条件下的上升幅度较 10 °C 条件下的大,可能是由于淀粉酶催化的“低温糖化”作用。4、10 °C 处理组的淀粉酶活性间无明显差异。15 °C 处理组与 20 °C 处理组的淀粉酶活性先呈下降的趋势,贮藏至 60 d 时,淀粉酶活性开始升高,由于温度高时马铃薯容易发芽,而发芽需要能量,于是淀粉酶活性开始明显增强,催化淀粉水解成糖类物质。当芽条完全生长后,淀粉酶活性开始下降。15 °C 处理组与 20 °C 处理组的淀粉酶活性无明显差异。

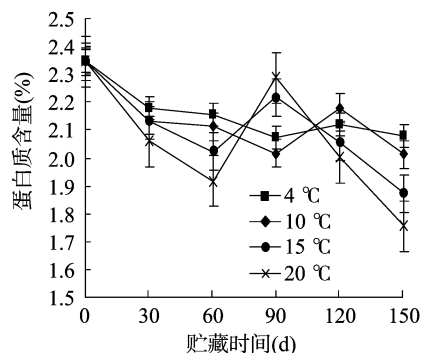


图4 不同贮藏温度对云薯 105 蛋白质含量的影响

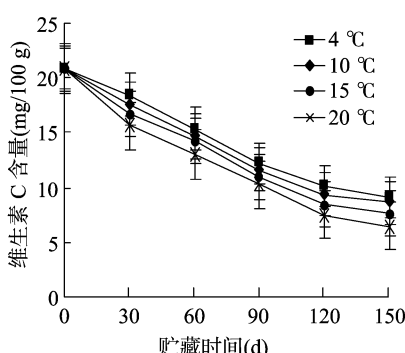


图5 不同贮藏温度对云薯 105 维生素 C 含量的影响

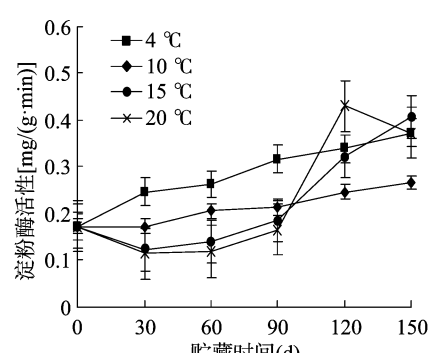


图6 不同贮藏温度对云薯 105 淀粉酶活性的影响

2.2.2 云薯 105 贮藏期间淀粉磷酸化酶活性的变化 淀粉磷酸化酶能将不可利用的淀粉分解成糖和能量,供应块茎中细胞的糖代谢,从而为发芽提供能量。在休眠期间,马铃薯块茎的代谢减缓,淀粉磷酸化酶活性也会随之降低^[9]。由图 7 可知,随着贮藏时间的延长,云薯 105 的淀粉磷酸化酶活性先下降后上升;在贮藏后期,酶活性又逐渐下降;贮藏至 120 d 时,淀粉磷酸化酶活性达到最高值;20 °C 处理组与 4、10、15 °C 处理组间的淀粉磷酸化酶活性没有明显差异。

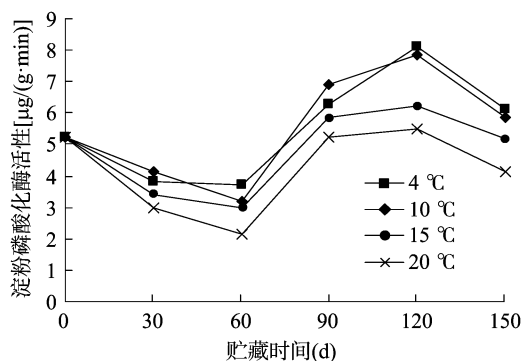


图7 不同贮藏温度对云薯 105 淀粉磷酸化酶活性的影响

2.2.3 云薯 105 贮藏期间蔗糖转化酶活性的变化

蔗糖转化酶能够不可逆地催化蔗糖水解为果糖、葡萄糖^[16]。由图 8 可知,在不同贮藏温度条件下,云薯 105 蔗糖转化酶的活性变化呈先持续升高后降低的趋势。在 4、10、15 ℃ 条件下,贮藏至 120 d 时,蔗糖转化酶活性达到最高值,分别为 1.95、1.73、1.15 mg/(g·min);贮藏至 120 d 后,酶活性开始下降。整个贮藏期间酶活性的变化遵循温度越低、酶活性越高的规律。分析表明,20 ℃ 处理组与 4 ℃ 处理组间差异极显著($P < 0.01$),与 10 ℃ 处理组间差异显著($P < 0.05$)。

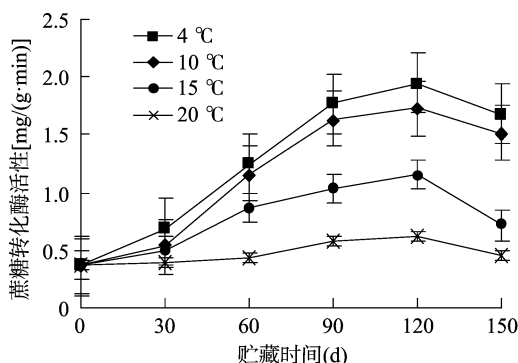


图8 不同贮藏温度对云薯 105 蔗糖转化酶活性的影响

2.2.4 云薯 105 贮藏期间过氧化物酶活性的变化

过氧化物酶是一种重要的抗氧化酶,是细胞内重要的内源性氧清除剂^[17]。过氧化物酶活性高,可以抑制发芽,增强马铃薯的抗病性^[18]。由图 9 可知,在 4、10、15 ℃ 条件下,过氧化物酶活性先升高后下降,当贮藏至 120 d 时,酶活性达到最高值,分别为 28.75、27.27、23.83 U/(g·min);20 ℃ 处理组与 4、10、15 ℃ 处理条件间差异不明显。

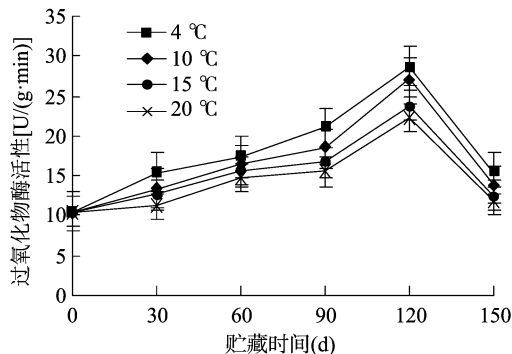


图9 不同贮藏温度对云薯 105 过氧化物酶活性的影响

3 讨论

不同贮藏温度对马铃薯的品质及酶活性的影响不同,对于不同用途的马铃薯也有不同的贮藏条

件要求。淀粉与还原糖含量处于一个动态可逆平衡状态,贮藏温度过高,会加快马铃薯蛋白质的损失,低温贮藏有利于蛋白质含量的保持。淀粉酶、淀粉磷酸化酶都能将淀粉转化为糖,糖包括还原糖、葡萄糖、蔗糖等。蔗糖转化酶能够催化蔗糖转化为果糖、葡萄糖。贮藏温度越低,酶活性越高,低温促进了糖类物质的相互转化。过氧化物酶活性高时,可抑制发芽,而当贮藏温度较高时,更易发芽。

4 结论

研究结果表明,在不同贮藏温度条件下,贮藏 0~120 d 的云薯 105 中的干物质含量都呈下降趋势,高温会使马铃薯的水分散失得更快,不利于干物质的保持。淀粉含量随着贮藏时间的延长而逐渐降低,在 4、10、15 ℃ 贮藏条件下,贮藏 0~120 d 的云薯 105 中的还原糖含量随着贮藏时间的延长而逐渐升高,产生了“低温糖化”作用。淀粉降解导致还原糖含量得到积累。在常温贮藏条件下,还原糖含量的变化程度较小。贮藏温度较高时,蛋白质损失加快。在低温条件下,淀粉酶、淀粉磷酸化酶活性都相对较高。贮藏温度较高时,马铃薯更容易发芽,而发芽需要能量,淀粉酶活性开始明显增强,催化了淀粉水解成糖类物质。当芽条完全生长后,淀粉酶活性开始下降。在不同贮藏温度条件下,蔗糖转化酶的活性先升高,到了贮藏后期呈下降的趋势。贮藏温度的高低与过氧化物酶活性呈负相关。对于鲜食用薯而言,要求淀粉、干物质含量高,建议放置于 4 ℃ 贮藏库贮藏。对于要求淀粉含量较高且还原糖含量较少的加工用薯,建议放置于 10 ℃ 贮藏库贮藏。温度是贮藏条件中的重要因素,可以通过设置不同贮藏温度调节马铃薯的贮藏特性,从而延长马铃薯的贮藏期。光与温度对马铃薯品质的影响机制有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Wang X Z, Sun H T, Sun J, et al. Effects of different storage temperature on nutritional quality of potato cultivar Kexin No. 1[J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(4): 810-814.
- [2] 贾倩民,陈彦云,陈科元. 马铃薯贮藏的环境影响因子及监控系统[J]. 农机化研究, 2014(3): 58-61, 69.
- [3] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中还原糖的测定:GB 5009.7—2016[S].
- [4] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].

陶志超,杨 昭,余 飞,等. 绿豆种子超声波-热泵联合间歇干燥动力学研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(5):193-197.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.05.041

绿豆种子超声波-热泵联合间歇干燥动力学研究

陶志超,杨 昭,余 飞,杨宗豫

(天津大学机械工程学院,天津 300350)

摘要:在连续干燥的基础上进行超声波-热泵联合间歇干燥动力学试验,探究不同干燥温度(28、33、38 ℃)、相同超声波条件(功率 100 W、频率 28 kHz)和不同间歇比(0、1/3、1/2)条件下绿豆种子的干燥动力学。结果表明,间歇干燥可以减少有效干燥时间,提高能量利用率;不同干燥温度须采取合适的间歇比才能更有效地提升干燥效果,温度较低时采用高间歇比,温度较高时采取低间歇比;缓苏期的存在确实能够提升后续干燥阶段的干燥速率,在干燥后期效果尤为明显。

关键词:绿豆种子;超声波-热泵联合;干燥动力学;间歇干燥

中图分类号: TS210.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)05-0193-05

绿豆是我国主要的食用豆类作物之一,其营养丰富,食用价值很高^[1],富含碳水化合物、脂肪、蛋白质、膳食纤维、矿质元素、维生素等^[2],产量和出口量均位于世界前列,在现代农业中占据重要位置。然而要保证绿豆来年的丰收需要大量的种子,而一般新收获的种子水分含量高达 25%~35%,高水分会加强种子呼吸作用,导致其发热霉变^[3],所以必须及时干燥,把种子水分降到安全水平以保证种子活力和安全贮藏。

收稿日期:2019-03-07

基金项目:天津市自然科学基金重点项目(编号:16JCZDJC33900)。

作者简介:陶志超(1993—),男,湖北云梦人,硕士,主要从事热泵技术研究。E-mail:916485490@qq.com。

通信作者:杨 昭,博士,教授,主要从事制冷与热泵技术研究。

E-mail:zhaoyang@tju.edu.cn。

对于种子、果蔬等热敏性物料,传统对流干燥方式将不适用,因为这种干燥方式对物料长时间高温干燥后,干燥产品的风味、颜色和营养成分会受到严重损害,干燥产品的质量降低^[4]。热泵干燥可以比较精确地控制干燥箱内温湿度条件,具有环境友好、干燥产品质量较高的特点^[5],但其较低的干燥温度会极大地延长干燥时间。超声波作为一种机械振动波,在物料内部会产生空化作用和机械效应,从而可以提高水分的扩散与迁移^[6]。因此国内外许多学者提出,将超声波技术应用于热风干燥,降低水分扩散阻力,加快物料的干燥速率^[7-8]。

间歇干燥是一种在干燥过程中改变对物料供应热能大小的干燥方式,可以通过改变干燥空气的流速、温度、湿度或者压力来实现,相比于连续干燥可以提高能源利用率和干燥质量^[9]。目前,这种干

[5] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品添加剂 维生素 C(抗坏血酸):GB 14754—2010[S].

[6] 王学奎,黄见良. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2015:189-191.

[7] 高俊凤,孙 群,曹翠玲,等. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006:103-105.

[8] 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,2004:197-199.

[9] 蔡 冲. 植物生物学实验[M]. 北京:北京师范大学出版社,2013:130-131.

[10] 秦跃龙. CO₂ 马铃薯块茎采后品质的影响研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2014:10.

[11] 石 瑛,秦 昕,卢翠华,等. 不同马铃薯品种贮藏期间还原糖及干物质的变化[J]. 中国马铃薯,2002,16(1):16-18.

[12] 田甲春,田世龙,程建新,等. 贮藏温度对马铃薯品质和采后生理的影响[J]. 保鲜与加工,2017,17(3):16-20.

[13] 陈 芳,胡小松. 马铃薯块茎“低温糖化”机理的研究及进展[J]. 马铃薯杂志,1998,12(1):52-55.

[14] 司怀军,戴朝曦,田振东,等. 贮藏温度对马铃薯块茎还原糖含量的影响[J]. 西北农业学报,2001,10(1):22-24.

[15] 朱 旭. 贮藏温度和堆码高度对克新 1 号马铃薯贮藏损失[D]. 长春:吉林大学,2014:4-5.

[16] 周长艳. 不同贮藏条件下马铃薯生理特性的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[17] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance[J]. Trends in Plant Science,2002,7(9):405-410.

[18] 刘喜平,陈彦云. 外源钾对马铃薯块茎贮藏期间酶活性的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(28):17548-17550.