

我国马铃薯鲜切防褐变技术及装备现状

张 凯, 王希卓, 孙 洁, 杨 琴, 孙海亭 (农业部规划设计研究院, 农业部农产品产后处理重点实验室, 北京朝阳 100125)

摘要 针对我国马铃薯鲜切产业及鲜切褐变的机理, 通过广泛查阅文献对国内外马铃薯鲜切防褐变技术及装备情况进行了梳理, 总结了物理、化学、生物等不同抑制褐变的方法及马铃薯去皮、切片、切条、切丁机械现状。分析了我国马铃薯鲜切防褐变技术装备现状、存在的问题并提出了相应的建议。

关键词 马铃薯; 鲜切褐变; 多酚氧化酶; 鲜切装备

中图分类号 TS255.36 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)14-0187-04

Fresh-cut Potato Anti-browning Technology and Equipment in China

ZHANG Kai, WANG Xi-zhuo, SUN Jie et al (Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Chinese Academy of Agricultural Engineering, Ministry of Agriculture, Beijing 100125)

Abstract According to fresh-cut potato industry in China and browning mechanism, through extensive literature review, potato fresh-cut anti-browning technology and equipment at home and abroad were studied, the methods of inhibiting browning, such as physics, chemistry and biology were summarized, as well as potato peeling, slicing, dicing machine status. The status and existing problems of fresh-cut potato anti-browning technology and equipment were analyzed, corresponding suggestions were proposed.

Key words Potato; Fresh-cut browning; Polyphenoloxidase; Fresh-cut equipment

鲜切果蔬的概念起源于 20 世纪 50 年代经济较为发达的欧美等地, 60 年代发展于速食业, 80 年代在加拿大、欧美、日本等发达国家初具规模^[1-3]。由于鲜切果蔬具有新鲜、营养、方便、快捷、卫生、品质好、即食即用等特点, 在发达国家已经被广泛接受^[3]。根据国际鲜切产品协会(International Fresh-cut Produce Association)估计, 2009 年美国鲜切产品销售额已达 800 多亿美元, 并以每年 10%~15% 和 2%~5% 的增速供应零售和食品服务业的快速需求^[4]; 在英国、法国及日本等发达地区鲜切果蔬的需求量也越来越大, 21 世纪初法国鲜切果蔬处理量已达 4 万 t, 2008 年日本鲜切果蔬销售额达到 5 000 亿日元^[5]; 荷兰鲜切果蔬的品种达 200 多种, 且在不断增加, 市场零售额也迅速超过 10%^[6]。

我国鲜切果蔬研究相对晚于发达国家, 20 世纪 90 年代果蔬加工萌芽兴起, 但由于鲜切果蔬已经过前期预处理, 可更为便捷地进行后续加工。在优化了运输和垃圾处理环节后, 近年来随着我国居民消费结构的转变以及各地果蔬批发市场的建立, 我国鲜切产品市场面临重大的发展机遇。

虽然鲜切果蔬优点明显, 市场潜力巨大, 但是与原材料相比, 鲜切果蔬由于切分处理所造成的机械伤会引发一系列的生理生化变化, 如变色、变味、软化、衰老、变质等^[3], 尤其是鲜切褐变会严重影响产品的感官质量, 降低营养价值, 导致商品价值大大降低, 因此面对的困难较多。

马铃薯作为消费量较高的农产品之一, 最早进入鲜切蔬菜行业, 并被广泛研究。目前国内外常见的马铃薯鲜切品种有: 大西洋、夏波蒂、克新 13 号、荷兰 7 号及 15 号、中薯 5 号、紫花白、克拉马斯红马铃薯、褐色马铃薯等, 其加工产品以市

场消费量较大的薯块、薯条、薯片等各类鲜切产品为主。目前, 我国马铃薯鲜切产品行业还处于起步阶段, 随着我国马铃薯主粮化政策的出台, 未来几年, 可预见马铃薯产业会有长足的发展; 同时, 在我国居民消费方式逐渐由单纯数量型向品质型、结构型和营养型转变的社会背景下, 马铃薯鲜切产品以优质、安全、卫生、快捷、方便等特点, 必将促进行业加速发展。褐变是导致鲜切马铃薯品质下降并限制其货架期的主要因素, 容易造成经济损失, 因此通过相应技术装备抑制或减缓马铃薯鲜切褐变, 保持其应有性状品质, 延长鲜切产品货架期对我国鲜切果蔬市场发展具有重要意义。

1 防褐变技术

马铃薯鲜切褐变主要由酶促褐变引起, 而酶促褐变发生的 3 个必要条件分别为酶类[多酚氧化酶(PPO)]、底物(酚类物质)和氧气。根据上述条件, 研究抑制酶促褐变的方法多从 3 个方向开展: 降低 O₂ 浓度, 抑制 PPO 活性, 控制多酚含量。根据褐变发生的途径, 酶促褐变可通过物理、化学和生物方法分别进行抑制, 生产中则多为各方法复合使用进行防控。

1.1 物理方法

1.1.1 低温保鲜。低温保鲜几乎是所有果蔬贮藏保鲜的首选方式, 因为其条件简单、可控、效果好, 也是如今应用最广泛的果蔬保鲜方式之一。适度低温不仅可以通过降低酶活性减缓马铃薯体内生理生化反应活性, 同时还可以通过抑制病菌等微生物活动降低其腐烂发病率, 保持其应有品质。酶促褐变是由 PPO 催化底物进行反应从而导致马铃薯褐变的, 适当低温可有效降低 PPO 催化活性从而降低褐变反应, 有效抑制马铃薯褐变, 但需要注意虽然 PPO 活性随着温度降低而钝化, 但过低温度也会引起马铃薯其他变化造成冷害或冻害从而加剧褐变甚至腐烂情况, 因此温度不可一味降低。研究表明, 能有效抑制褐变但不造成其他品质恶化的最佳温度一般为 0~4℃。冷藏处理通常可以通过流动空气、冷冻水、冰

基金项目 国家重点研发计划项目“薯类产后储运减损技术装备及模式研究与示范”(2016YFD0401301)。

作者简介 张凯(1989—), 男, 河北黄骅人, 工程师, 从事采后农产品贮运保鲜研究。

收稿日期 2017-03-15

或真空来实现^[7]。

1.1.2 加热处理。与低温保鲜相对应,随着温度的升高,PPO 的活性先增强随后降低,呈开口向下的抛物线形状。因此适当的高温也可以通过抑制 PPO 活性甚至使其失活来抑制马铃薯褐变^[8]。但是过热处理同样会导致马铃薯性状发生改变,导致其质地、风味等发生变化,因此经过适当的温度漂烫或高温灭活等也可有效抑制马铃薯褐变。常用的高温处理有热水、热蒸汽、热空气等处理,最新研究也有通过红外线或光波进行处理,可相对保持其性状及产品品质。

1.1.3 非热处理。热处理虽然可以较好地抑制褐变,但对食品的色、香、味、营养成分及功能性造成一定的破坏,影响其品质。由于人们对食品的新鲜度要求越来越高,所以也就更加重视食品的健康要素与最小加工食品(minimally processed foods, MPF)的理念^[9]。非热加工技术可以最大限度地保留食品原有的风味和养分,因此成为热点。非热加工如超高压、高强度脉冲电场、辐照等技术,均可通过使酶分子发生聚合等方式,导致酶活性降低甚至丧失,从而在一定程度上抑制褐变^[10]。

1.1.4 气调包装。由于氧气是酶促褐变发生的必要条件,因此可以利用气调控制氧气浓度。气调贮藏方式主要有减压包装(MVP)和自发调节包装(MAP)。MAP 是通过特殊的透气性的包装材料控制气体成分,通过气体成分调节降低产品的呼吸速率。据报道,5%~10% CO₂、2%~5% O₂ 条件下,可有效降低马铃薯呼吸速率抑制 PPO 活性,从而控制褐变,延长货架期。

1.1.5 真空处理。氧气是酶促褐变发生的基本三元素之一,控制氧气含量也是控制酶促褐变的重要方向。通过真空包装隔绝外界氧气的同时驱除马铃薯果肉间隙自身溶解氧可以有效抑制酶促褐变,降低褐变和水分活度^[11]。

1.1.6 可食性涂膜。可食性涂膜是新近用于控制马铃薯褐变的新热点,通过膜透性筛选控制,可食性涂膜可以通过控制气体成分交换达到类似气调包装的效果,抑制马铃薯呼吸强度,降低氧气浓度从而控制酶促褐变速率,维持马铃薯品质。生产中,可食性涂膜通常与其他防褐变化学药剂复合使用,效果会更加明显。

1.2 化学方法 化学方法无法直接改变氧气含量,因此控制褐变多从抑制 PPO 活性及改变底物或产物方向着手。常见的褐变抑制剂大体可分为氧化还原剂、螯合剂、酸化剂、酶抑制剂和络合剂等几大类,常见的化学方法主要有以下几种。

1.2.1 改变褐变原料。基质配位法是从改变基质的结构出发,通过如基质甲基化法等方法通过结合反应减少马铃薯体内酚类物质的含量,同时反应生成物进一步钝化 PPO 活性或不与其他底物形成其他恶性连锁反应从而控制褐变的方法。一般通过这种方法,食品原本的品质可得到最大限度的保留,所以此方法的综合效果最好,但受反应原料腺苷蛋氨酸价格影响,现实中并未在生产中大规模使用。常见的基质配位法马铃薯抗褐变剂有铝化物或锌化物等。

1.2.2 添加偶联剂。据报道,某些醌类偶联剂可通过干扰

O₂ 的摄取来抑制还原反应中间生成物防止色素形成或通过褐变产物相结合将其转化为无色物,进而抑制褐变的发生。

1.2.3 抑制 PPO 的活性。化学方法抑制 PPO 方式有很多,如通过加入适当酸(有机酸、无机酸)改变其最适 pH 环境即可使 PPO 活性降低或失活^[12]。通过加入亚硫酸盐等可抑制其活性同时连锁产生漂白、生成醌类物质及抑制微生物生长等作用,但亚硫酸盐安全性近来备受质疑,已被限制使用;抗坏血酸及其衍生物等是亚硫酸盐的替代品,通过还原、螯合、改变基质结构等方式也可有效抑制酶促反应的发生^[13]。据报道,所有的芳香类羧酸都是酶的竞争性抑制剂,通过竞争性结合反应,肉桂酸、苯甲酸、聚乙烯吡咯烷酮、环庚三烯酚酮等系列物可抑制 PPO 活性;钾、钠、钙、镁等无机盐溶液通过改变细胞液渗透压或与果胶等成分发生反应也可防止褐变发生^[14]。

一些研究表明,许多氧化还原剂、酸化剂、螯合剂等单独使用时往往不能取得理想效果,而不同的方法结合使用时往往能起到协同作用,增强褐变控制的效果。因此,化学方法应多措并举复合控制,才会有更好的效果。

1.3 生物方法 与化学方法类似,某些生物提取物或小分子物质同样具有抑制褐变的效果,如植物提取液中的氨基酸、蛋白酶、小分子多肽等活性成分,蜂蜜中含有的生育酚、抗坏血酸、类黄酮、酚类物质^[15],乳酸菌产生的小分子代谢物等均可通过螯合、抗氧化、配位等不同方式的结合抑制褐变的发生。例如无花果蛋白酶^[16]、木瓜蛋白酶^[17]和菠萝蛋白酶^[18-19]这 3 种酶都是含有巯基的蛋白,已经被证明是非常有效的褐变抑制剂,使用广泛^[20]。

1.4 其他方法 试验证明,非酶棕色化反应的产物也对马铃薯 PPO 具有较强的抑制作用^[21]。此外,基因工程方法的使用,如通过反义 RNA 技术控制 PPO 的表达,可培育抗褐变品种,能从根本上解决马铃薯褐变问题^[22]。

2 鲜切及防褐变装备情况

工业化生产的绝大多数鲜切马铃薯条或薯块的防褐变处理,均在切后浸泡和包装环节进行处理,除包装设备型号与功能略有差异外,浸泡多为简易浸泡池等,通过连接装置与加工设备相连,效果受保护液种类和成分变化等影响,防褐变效果差异较大。国内外马铃薯鲜切机械主要为去皮机械、切片机械、切条机械及切丁机械等。

2.1 去皮机械 马铃薯去皮机械可根据不同工作原理大致分为机械去皮、蒸汽去皮和化学去皮 3 种类型机械(表 1)。

2.1.1 机械去皮装置。机械去皮多利用圆筒形物料桶高速旋转提供的离心力与各类型摩擦部件进行摩擦,从而完成去皮。常见的机械去皮机如图 1 所示,该机由机筒、机盖、机座、砂盘、电机等部分组成。电机通过传动装置为底部的砂盘旋转提供动力。块茎放置在圆柱形物料桶中,通过物料桶高速旋转产生离心力与桶壁进行摩擦去皮,再经过冲洗即完成了去皮过程,去皮后通过水流冲洗可将皮屑分离并排出。

2.1.2 蒸汽去皮装置。蒸汽去皮是通过密闭物料箱中高

表 1 国内外几种去皮设备的去皮性能比较

Table 1 Comparison of peeling performance of several domestic and foreign peeling equipments

机型 Type	结构 Structure	原料要求 Material requirements	产品质量 Product quality	皮屑 Damder	加热设备 Heater assembly
离心式切削去皮机 Centrifugal cutting and peeling machine	简单	卵圆形,芽眼浅,无伤痕	表面光滑,无污染,无蒸煮层	可利用	—
机械去皮机 Mechanical peeling machine	复杂	卵圆形,芽眼浅,无伤痕	表面光滑,无污染,淀粉损失大	部分利用	—
蒸汽式去皮机 Steam peeler	复杂	无要求	表面光滑,有蒸煮层,无污染	部分利用	150 ~ 200 ℃
化学法去皮机 Chemical peeling machine	简单	无要求	表面光滑,无蒸煮层,有污染	不能利用	85 ~ 95 ℃

温高压在打开的一瞬产生的内外压差结合马铃薯果肉与果皮之间的组织差异使果肉与果皮自行分离。目前,国内常见的蒸汽去皮机械有连续式链带蒸煮机和高压蒸煮锅等大型高端机械,但受资金、基地、机械操作性等影响,实际生产中,小型加工厂常使用自制的蒸煮装置。图 2 为一般食堂、饭店常用的蒸煮装置结构示意图。

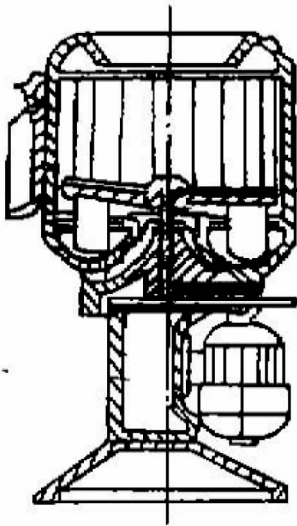
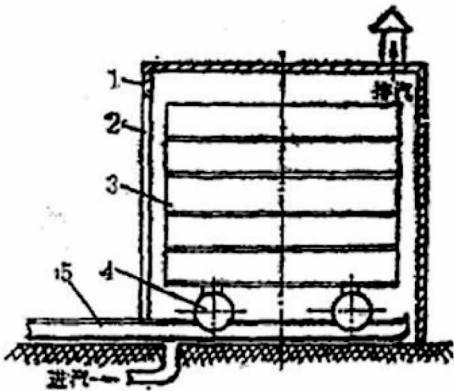


图 1 机械式摩擦去皮机结构简图
Fig.1 Mechanical friction peeler



注:1. 蒸房;2. 门;3. 笼屉;4. 平车;5. 道轨
Note: 1. Steam room; 2. Door; 3. Food steamer; 4. Flatcar; 5. Rail

图 2 间歇式蒸煮装置结构示意
Fig.2 Batch - type steaming equipment

2.1.3 化学去皮装置。化学去皮原理简单,一般为钝性物料箱中加入调配好的酸碱溶液,通过溶液浸泡腐蚀掉马铃薯外皮后再经过冲洗即完成去皮过程。此方法不受马铃薯形状、大小影响,可简便快速去皮,但是由于酸碱溶液成分浓度及配比可控性差,且不可连续使用,排出后还会造成环境污染,冲洗也需要大量清水,易造成水资源浪费、污染环境或酸碱残存导致食品安全等问题,并不推荐企业使用。常见的马铃薯去皮溶液为 15% ~ 25% 的氢氧化钠溶液,经过 2 ~ 6 min 70 ℃ 左右的溶液浸泡再经高压水冲洗可完成化学去皮。

2.2 切片机机械 随着马铃薯片市场的发生发展,切片机技术起源于 20 世纪 60 年代,发展于 70 年代,到 80 年代,国外已出现较多切片机械制造公司。20 世纪 80 年代中后期,随着机械化智能化的发展,很多全自动多功能切片机开始完善,像日本 Tokyo Semitsu 株式会社的 TSK (若干) 系列机、Okamoto Machine 株式会社的 ASM 系列机、美国 STC 公司的 STC 系列机,瑞士 Meyer - Burger AG 公司的 TS 系列机等均为当时世界著名切片机生产厂家的代表产品。切片机的原理主要是以滚动轴承为支撑通过旋转刀头进行薯片切割(图 3),根据轴承的支撑方式可分为卧式和立式 2 种类型。

我国的切片机多为摇动式切片机、滑动式切片机、轮转式切片机、推动式(雪橇式)切片机和冰冻切片机等。



图 3 马铃薯切片机
Fig.3 Potato slicer

2.3 切条机械 大型生产线采用的切条机多为复合整个生产线的水力切条机,通过物料在水道内通过水流冲刷清洗的

同时传送到机械内,经过去皮装置和清洗装置后,在切条机内被组合刀具完成切条,整个切条过程一次完成,薯条品质均匀,此类生产线为目前最常用的。图4为离心式机械切条机的结构示意图。

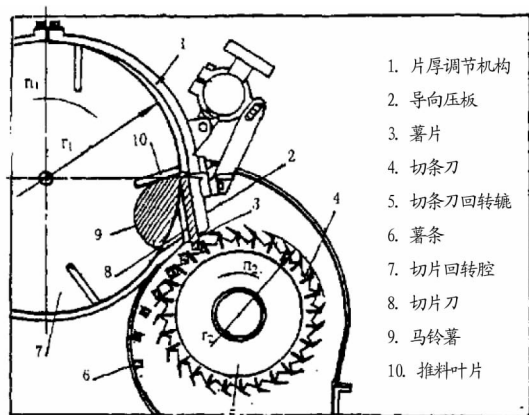
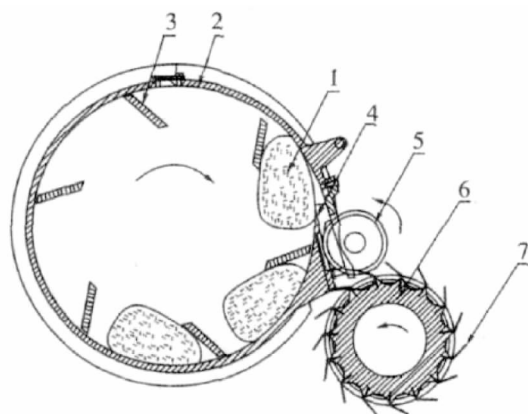


图4 离心式机械切条机主要结构示意图

Fig.4 Main structure of centrifugal mechanical strip cutting machine

2.4 切丁机械 传统的切丁方式以二维切丁为主,人工成本高、工作效率低、产品品质不均匀。随着机械产业的发展,国外发明了能实现连续喂料、分步连续切削加工作业成型的三维切割加工模式的机械^[23]。如比利时某公司的 Flexifam 三维切丁机和美国某公司的 G-A 型果蔬切丁机。近年来国内企业通过学习与创新也发明了采用三维切割模式加工的切丁机械, LG-350 型切丁机就是苏州某企业生产的三维切丁机。但受核心技术影响,国内切丁机结构有待优化,事故率高、生产效率低、切丁产品规格少、品质不均匀,尚无法满足国内的工业化需求。图5为果蔬切丁机的整机示意。



注:1. 果蔬;2. 滚筒;3. 推进器;4. 切片刀;5. 圆盘刀总成;6. 横切刀总成;7. 横切刀

Note: 1. Garden stuff; 2. Expansion cylinder; 3. Propeller; 4. Section razor; 5. Disc cutter assembly; 6. Crosscut knife assembly; 7. Crosscut knife

图5 果蔬切丁机的整机示意

Fig.5 The fruit and vegetable dicing machine

3 结论与建议

目前,国内马铃薯鲜切防褐变的基础研究相对较多,但由于我国马铃薯鲜切市场尚属于起步阶段,纵观整个马铃薯

鲜切产业,仍存在较多的问题。如:对马铃薯不同品种鲜切褐变情况对比研究较多,对适合鲜切马铃薯品种开发与利用的研究较少;对防褐变单一技术效果对比研究较多,对复合技术优化研究较少;对实验室不同防褐变技术精深研究较多,对适宜工业化推广防褐变技术研究较少;对技术研究较多,对装备研发较少等。为解决或避免以上问题,使我国马铃薯鲜切产业能够快速的发展,现提出以下建议。

3.1 培育品种专用型,加大技术研发推广力度 针对马铃薯鲜切专用品种的稀缺,通过引进国外品种,进行创新育种等,尽快丰富我国鲜切马铃薯专用品种类型,同时科研单位也应加大复合型防褐变处理技术及操作方便简单、经济适用的工业化生产技术的研发。各科研院所及高校应加强与企业联系,做到产学研相结合,加快成果转化进度,使科研成果能够尽快转化为生产力。

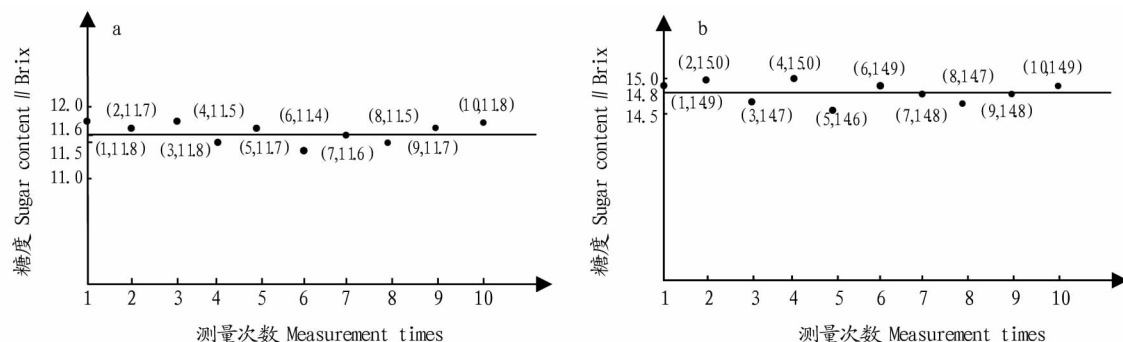
3.2 创新思路,加快复合型装备的研发速度 工业化生产不仅可大大提高鲜切马铃薯生产效率,同时可保证产品品质的统一性,是我国鲜切马铃薯的必经之路。针对如今国内马铃薯鲜切防褐变机械的缺乏,相关科研单位及企业应借鉴国外经验,结合马铃薯鲜切褐变技术研究,加快复合型鲜切防褐变装备的研发速度。不仅要满足多类型切割产品种类要求,还要通过切割方式、切割器材、切割前预处理、切割后处理、包装等各环节的创新,抑制马铃薯的鲜切褐变,保持其原有品质,延长货架期,从而保证鲜切产品应有的商品价值。

3.3 政府引导,加强政府补贴扶持力度 综合运用经济手段,通过政府宏观调控,引导并鼓励科研院所、龙头企业、社会资源等多方参与,多措并举共同促进马铃薯鲜切产业的发展。对科研院所,政府可设立专项科研基金,激励科研院所针对马铃薯鲜切存在的技术装备问题,加紧加快研究;对龙头企业和社会资源,通过拓宽融资渠道,进行政策金融方面补贴扶持,引导企业和社会资源进入马铃薯鲜切行业,同时通过政策条件制约,严格控制加工损耗、耗能、环境污染等问题,倒逼企业更新技术及装备。产业相关各级政府也要明确职责,从发展规划、招商引资、产业扶持到技术推广、产品储运各自承担相应职责,促进产业更好更快发展。

参考文献

- [1] 董玉玲. 气调包装对鲜切马铃薯货架期品质的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2014:1-2.
- [2] 侯志强. 鲜切马铃薯褐变控制技术及机理研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2013:1-5.
- [3] 张兵兵. 鲜切马铃薯品质保持技术的探讨[D]. 泰安:山东农业大学, 2010:5-7.
- [4] IRTWANG S V. Keeping freshness in fresh-cut horticultural produce[J]. Agriculture engineering international, 2006, 6:1-12.
- [5] 胡文忠. 鲜切果蔬科学与技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.
- [6] 郁志芳, 章泳. 鲜切蔬菜生产的现状和发展前景分析[M]//朱泰山. 都市农业纵横谈. 南京:南京出版社, 2002:176-179.
- [7] 刘程惠, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J]. 食品与机械, 2008, 24(2):38-42.
- [8] 田金辉, 许时婴, 王璋. 热烫处理对黑莓果汁营养成分和多酚氧化酶活力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(4):133-137.
- [9] 陈冬梅, 李铭, 林娟. 果蔬汁非热加工技术研究进展[J]. 农产品加工, 2011(6):91-95.

(下转第198页)



注:a. 实测糖度 14.8 Brix 的苹果样品;b. 实测糖度 11.6 Brix 的苹果样品

Note:a. Apple sample with actual sugar content of 14.8 Brix; b. Apple sample with actual sugar content of 11.6 Brix

图 21 重复性试验结果相关情况

Fig. 21 Results of repeated experiments

参考文献

- [1] CÉDRIC C, CHRISTEN D. Non-destructive assessment of apricot fruit quality by portable visible-near infrared spectroscopy[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(6): 1125 – 1131.
- [2] BELLON-MAUREL V, MCBRATNEY A. Near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopic techniques for assessing the amount of carbon stock in soils-Critical review and research perspectives[J]. Soil biology and biochemistry, 2011, 43(7): 1398 – 1410.
- [3] PAZ P, SÁNCHEZ M T, PÉREZ-MARÍN D, et al. Instantaneous quantitative and qualitative assessment of pear quality using near infrared spectroscopy[J]. Computers and electronics in agriculture, 2009, 69(1): 24 – 32.
- [4] 常冬, 王加华, 蒋圣楠, 等. 三种不同便携式可见/近红外分析仪对比研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2011, 2(5): 231 – 234.
- [5] 王加华, 戚淑叶, 汤智辉, 等. 便携式近红外光谱仪的苹果糖度模型温度修正[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1431 – 1434.
- [6] 代芬, 洪添胜, 尹令, 等. 基于人工神经网络的苹果可溶性固形物无损检测[J]. 农机化研究, 2011(10): 134 – 137.
- [7] ANTONUCCI F, PALLOTTINO F, PAGLIA G, et al. Non-destructive estimation of mandarin maturity status through portable VIS-NIR spectrophotometer[J]. Food and bioprocess technology, 2011, 4(5): 809 – 813.
- [8] CHAUCHARD F, COGDILL R, ROUSSEL S, et al. Application of LS-SVM to non-linear phenomena in NIR spectroscopy: Development of a robust and portable sensor for acidity prediction in grapes[J]. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 2004, 71(2): 141 – 150.
- [9] JHA S N, GARG R. Non-destructive prediction of quality of intact apple using near infrared spectroscopy[J]. Journal of food science and technology, 2010, 47(2): 207 – 213.
- [10] GREENSILL C V, WALSH K B. Optimization of instrumentation precision and wavelength resolution for the performance of NIR calibrations of sucrose in a water-cellulose matrix[J]. Applied spectroscopy, 2000, 54(3): 426 – 430.
- [11] MCGLONE V A, JORDAN R B, MARTINSEN P J. Vis/NIR estimation at harvest of pre-and post-storage quality indices for 'Royal Gala' apple[J]. Postharvest biology and technology, 2002, 25(2): 135 – 144.
- [12] SCHAARE P N, FREASER D G. Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) [J]. Postharvest biology and technology, 2000, 20(2): 175 – 184.
- [13] 范国强. 基于近红外光谱技术的苹果内部品质在线检测的机理研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2007.
- [14] 张国栋. 便携式光纤光谱仪光学系统设计与分析[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [15] 中国农业科学院蔬菜花卉研究所. 水果、蔬菜制品 可溶性固形物含量的测定 折射仪法: GB/T 12295—1990[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [16] 黄丽娟. 罗汉果果实发育、加工、贮藏过程中活性成份的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2009.
- [17] 刘佩. 高失水性新鲜果蔬包装内环境湿度调节技术的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2014.
- [17] IGARASHI K, TSUNEKUNI T, YASUI T. Inhibition of proteolytic activity of papain by browning reaction products of quercetin[J]. J Nutr Sci Vitaminol, 1983, 29(2): 227 – 232.
- [18] LOZANO-DE-GONZALEZ P G, BARRETT D M, WROLSTAD R E, et al. Enzymatic browning inhibited in fresh and dried apple rings by pineapple juice[J]. J Food Sci, 1993, 58(2): 399 – 404.
- [19] LEE C Y, WHITAKER J R. Enzymatic browning and its prevention[M]. Washington, DC: American Chemical Society, 1995: 277 – 294.
- [20] 王慧. 酶法提取米糠蛋白及其褐变控制[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.
- [21] LEE M K, PARK I. Inhibition of potato polyphenol oxidase by maillard reaction products[J]. Food chemistry, 2005, 91(1): 57 – 61.
- [22] 孙芝杨, 钱建亚. 果蔬酶促褐变机理及酶促褐变抑制研究进展[J]. 中国食物与营养, 2007(3): 22 – 24.
- [23] 杨德勇, 胡建平, 徐晓东, 等. 多功能果蔬鲜切机的研制[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 183 – 185.

(上接第 190 页)

- [10] 易建勇, 董鹏, 王永涛, 等. 应用 SRCD 和 FTIR 分析超高压处理对蘑菇多酚氧化酶二级结构的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(2): 317 – 323.
- [11] 邓云, 张庆刚. 脉冲真空和超声波对苹果渗透动力学和品质的影响[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 89 – 93.
- [12] 沈金玉, 黄家音, 李晓莉. 果蔬酶促褐变机理及其抑制方法研究进展[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 150 – 158.
- [13] 赵玉生, 于然. 植酸的食品保鲜机理及应用[J]. 中国调味品, 2007(1): 147 – 150.
- [14] 赵瑛. 果品加工中组织褐变的机理及控制方法[J]. 甘肃农业科技, 1998(1): 28 – 29.
- [15] KHAN A A, ROBINSON D S. The thermostability of purified mango isoperoxidases[J]. Food chemistry, 1993, 47(1): 53 – 59.
- [16] TAOUKIS P S, LABUZA T P, LILLEMO J H, et al. Inhibition of shrimp melanosis (black spot) by ficin[J]. Lebensm - Wiss + Technol, 1990, 23(1): 52 – 54.