

玛咖采后贮藏过程中质构与色泽变化的研究

涂行浩, 郑 华, 张 弘*, 张雯雯, 宋国彬

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局特色森林资源工程技术研究中心,
云南昆明 650224)

摘 要:目的:旨在揭示玛咖块根采后贮藏期间质构与色泽变化状况,为利用仪器分析代替感官评价测定玛咖块根质地品质提供理论依据。方法:利用质构仪采用质地多面分析(Texture Profile Analysis, TPA)法,研究不同温度贮藏期间玛咖块根采后质地参数变化的规律。结果:在4、20℃两个贮藏温度下,玛咖块根硬度值先下降后缓慢上升,其他各项质地参数变化规律总体均呈现下降趋势;硬度与凝聚性、咀嚼度以及颜色饱和度值呈现极显著的正相关性,而与粘附性呈负相关性;咀嚼度与硬度、凝聚性呈极显著正相关性;反映玛咖表面色泽状况的指标-颜色饱和度值与硬度、弹性呈极显著正相关,与咀嚼度、凝聚性呈显著正相关,但与粘附性呈显著负相关。结论:玛咖块根4℃贮藏的质地变化速度明显缓慢于20℃贮藏的值,说明玛咖在低温下贮运更易保持质构品质,这些质构参数指标可应用于检测玛咖质地的变化,为玛咖的货架期提供一定的理论指导,但其与感官评价指标的相关性还有待进一步分析。

关键词:玛咖, 质地多面分析(TPA), 贮藏温度, 相关性

Study on the changes of texture properties and color of maca tubers during storage

TU Xing-hao, ZHENG Hua, ZHANG Hong*, ZHANG Wen-wen, SONG Guo-bin

(Research Center of Engineering and Technology on Forest Resources with Characteristics, State Forestry Administration,
Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China)

Abstract: Objective: The variation of postharvest texture of maca tubers was investigated to provide a theoretical basis for the determination of maca tuber texture quality using instrumental analysis instead of sensory evaluation. Methods: The texture profile analysis (TPA) by Texture Analyzer was applied for the determination of texture characteristic of maca tubers under the storage of 4℃ and 20℃. Results: Under the storage of 4℃ and 20℃, the variation trend of hardness of maca tubers was showed to be down first and then slowly up. These variation trends of other parameters of texture were in general showed to be down. In addition, the value of hardness was positively related to the values of cohesiveness, chewiness and color saturation, but negatively related to adhesiveness. The value of chewiness was positively related to the values of hardness and cohesiveness resilience, also negatively related to adhesiveness. The surface color saturation reflected the color quality of maca. The result showed that index values were positively correlated with hardness and springiness. It was significant positive correlated with chewiness and cohesiveness, but negatively correlated with adhesion. Conclusion: Results indicated the texture changes of maca tubers stored at 4℃ was significantly slower than those at 20℃, and low temperature storage should be used to ensure the quality of maca tubers.

Key words: maca; texture profile analysis (TPA); storage temperature; correlation

中图分类号: TS205.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)08-0331-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.08.067

玛咖 (*Lepidium meyenii* Walp.) 为药食两用十字花科植物, 原产于秘鲁, 能够在缺氧、昼夜温差大, 长期冰封的独特恶劣环境下生长, 被国际植物学界专家誉为不可多得的优良物种^[1-2]。玛咖主要食用部位

是块根部分, 其中含有丰富的营养物质及多种次生代谢产物, 具有抗疲劳、提高生育力、抗氧化、缓解更年期综合症等多种保健功效^[3-4]。玛咖集中采收后, 由于加工能力的限制, 需要有一定的流通和贮藏期, 这段时期需尽可能维持玛咖块根品质。其中质地是玛咖块根贮藏保鲜的重要品质指标之一, 也是用于表征玛咖块根成熟度和耐贮性的重要依据。玛咖块根随贮藏时间延长其块根组织会发生变化, 可能出现

收稿日期: 2013-08-30 * 通讯联系人

作者简介: 涂行浩(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 休闲农产品加工。

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201004028)。

腐败软化或风干皱缩等现象,严重时影响食用品质和商品价值。目前,感官评价常用于检验果蔬质地变化状况,但一般情况下,通过人的视觉、味觉及触觉等感觉进行评价,因此受主观影响程度较大,评价值欠稳定且难以量化。

物性分析仪质地多面分析法(Texture profile analysis, TPA)是一种新型仪器测试方法,其原理是模拟人口腔的咀嚼运动,对样品进行两次压缩的力学过程,感应元件与微机相连,通过界面输出质地测试结果曲线,一般所得质构参数包括硬度、弹性、内聚性、粘附性、胶粘性、咀嚼度以及回复性,这些指标可以直接和客观地分析样品相关质地状况^[5-6]。采用TPA法分析玛咖块根贮藏期间质地参数变化情况,可为仪器分析代替感官评价测定玛咖块根质地品质提供理论依据。由于TPA测试结果更为客观,国内外已将其广泛应用于食品质地评价领域,如奶酪^[7]、草莓^[8]、月饼^[9]、枇杷^[10]、圣女果^[11]、虾仁^[12]等。

目前关于玛咖采后贮藏期间块根质地及色泽变化方面的研究没有相关报道,本实验拟通过TPA法,对玛咖采后不同温度贮藏期间的质地参数变化规律进行研究。通过对不同贮藏阶段玛咖块根质地参数的相关性进行分析,找出可灵敏反映块根品质变化的指标,作为玛咖贮藏期间质地评价的参数,以期对玛咖的贮藏与加工提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

玛咖 采收于中国林科院资源昆虫研究所滇中高原实验站,运回国家林业局特色森林资源工程技术研究中心进行相关处理;聚乙烯保鲜袋 10×15cm,厚度0.05cm。

TMS-PRO型物性分析仪 美国FTC有限公司; EYELA.MTI-201型温度梯度恒温箱 东京理化器械株式会社;BCD-539WT型双开门冰箱 青岛海尔股份有限公司;ColorQA Series4型便携式色差计 美国PocketSpec公司;AB204-S型精密型电子天平 HR83-P型快速卤素水分测定仪 梅特勒-托利多(中国)有限公司。

1.2 试材处理

玛咖采收后,选取新鲜、无机械伤、大小一致的玛咖块根,经清洗、晾干,于0℃普通冷库中进行预冷处理6h,然后用聚乙烯保鲜袋包装,分别放置于4℃和20℃梯度恒温箱中进行贮藏(初始含水率72.3%)。每组实验设5个重复,每2d取箱内的玛咖块根进行质地参数检测。经过课题组前期预实验结果,玛咖块根表面颜色饱和度值上升超过一倍时几乎失去商品价值^[13],当4℃贮藏温度下玛咖块根14d时,通过色彩色差计检测其表面颜色饱和度值,较初始值已上升超过一倍,终止实验。

1.3 玛咖块根颜色饱和度测定

颜色饱和度值测定:用便携式色差计分别测定玛咖块根不同部位的红、绿、蓝(R、G、B)三种颜色,每组样品平行测定9次,结果取平均值。为使数据处理更接近人眼的视觉效果,利用HIS颜色模型(Hue-

Saturation-Intensity, HSD进行饱和度品质分析,对RGB色差坐标进行转化: $I = (R+G+B)/3$, $S = 1 - [\min(R, G, B)/I]$,当饱和度值 $S=0$ 时,表示为白色; $S=1$ 时,表示为黑色^[14-16]。

1.4 玛咖块根质地分析

为保证取样的均匀性,使用打孔器掘取玛咖块根赤道面小圆柱体样,样品直径12mm,高10mm。将样品放置于质构仪测试平板上,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,测前速度为2mm/s,检测速度为1mm/s,返回速度为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℃^[17]。由质地特征曲线得到评价玛咖贮藏期间果肉状况的质地参数:硬度、弹性、凝聚性、粘附性、咀嚼性和回复性。平行测定9次,结果取平均值。玛咖块根TPA典型质地特征曲线如图1所示。

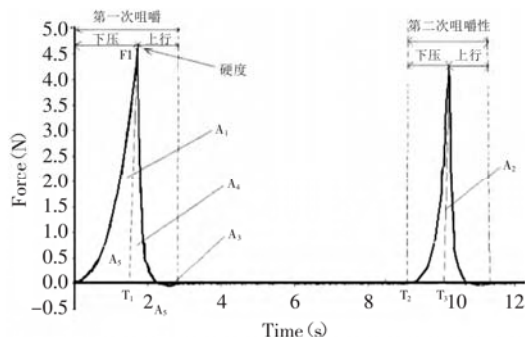


图1 玛咖块根TPA实验质地特征曲线

Fig.1 The curve from typical texture profile analysis of maca tubers

1.5 数据处理

图表的绘制采用Origin 8.0,利用SPSS 17.0统计软件对实验数据进行皮尔逊相关性分析(Pearson correlation analysis)。

2 结果与分析

2.1 玛咖块根贮藏期间硬度的变化

硬度(hardness)是反映玛咖块根品质(新鲜度)的要素之一,也是判断玛咖块根成熟度和贮运品质的一个重要指标,它决定了玛咖块根的耐贮性和货架期。在TPA特征曲线中,如图1所示,硬度是用第一

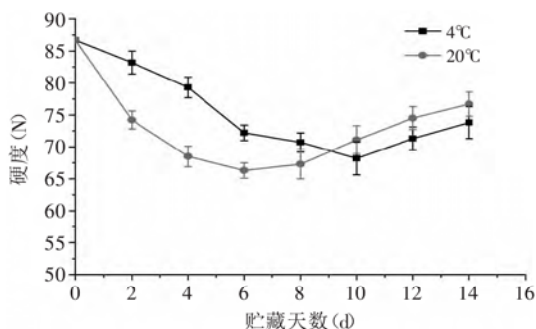


图2 贮藏温度对玛咖块根硬度的影响

Fig.2 Effect of storage temperature on the hardness of maca tuber

次下压样品时的最大峰值来表示的,它是指样品达到一定变形所需的力。玛咖块根贮藏期间硬度的变化如图2所示,由图2可知,4℃及20℃贮藏条件下,玛咖块根随着贮藏时间的延长,硬度值变化趋势均为前期下降而后增加,贮藏前期玛咖块根硬度值下降可能是因为生理代谢活动导致组织中果胶、蛋白等物质的分解而软化,硬度值后期增加可能由于玛咖块根失水风干、干物质沉积所致^[18]。20℃贮藏与4℃相比,前4d硬度值下降较为迅速,从第4d开始下降幅度变缓,从第6d开始缓慢上升。而4℃贮藏时前10d硬度值均呈下降趋势,从第10d开始缓慢上升,差异显著($p<0.05$)。

2.2 玛咖块根贮藏期间凝聚性的变化

凝聚性(cohesiveness)表示测试样品经过第一次压缩变形后所表现出来的对第二次压缩的相对抵抗能力,即两次压缩周期的曲线面积比,反映在图1中为面积 A_2 与 A_1 的比值。贮藏温度对玛咖块根凝聚性的影响如图3所示,从图3及统计结果可知,在4℃及20℃贮藏条件下,随着贮藏期的延长,玛咖块根凝聚性整体呈下降趋势,且差异极显著($p<0.01$)。凝聚性反映的是咀嚼果肉组织时,果粒等组织抵抗受损并紧密相连,从而使果实保持完整的性质,它反映了细胞间结合力的大小。20℃贮藏时,玛咖块根的凝聚性下降较4℃贮藏时更快,说明在较高贮藏温度下,玛咖块根内部结合力随时间的延长而迅速降低,使块根组织变得更为疏松和绵软。

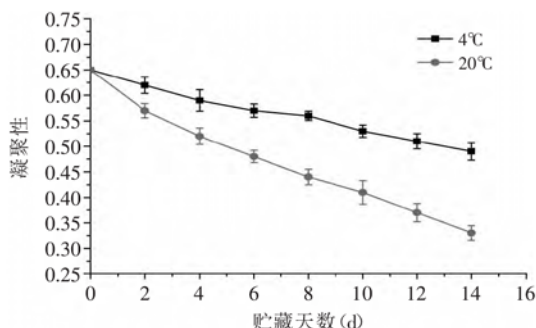


图3 贮藏温度对玛咖块根凝聚性的影响

Fig.3 Effect of storage temperature on the cohesiveness of maca tuber

2.3 玛咖块根贮藏期间弹性的变化

弹性(springiness)是样品受外力作用而发生形态变化、除去作用力后恢复原来状态的性质。运用TPA分析时,指样品经过第一次压缩以后能够再恢复的程度,感官定义即第一次挤压结束后第二次挤压开始前样品恢复的高度;数值可表示为第二次压缩从起始到峰值的时间(T_3-T_2)与第一次压缩中达到峰值的时间 T_1 的比值,弹性= $(T_3-T_2)/T_1$ (图1)。在4℃贮藏条件下,贮藏温度对玛咖块根弹性的影响不显著(图4),第0d时的弹性为0.912,到第14d时为0.832;而在20℃贮藏条件下,玛咖块根的弹性下降较快,贮藏到第14d时,弹性值下降为0.742。在一定程度上表明:玛咖随贮藏期的延长而后熟衰老,导致块根组织

致密程度下降。这种变化可能与样品水分散失、可溶性固形物及有机酸等含量的下降有关,其具体原因待进一步研究。

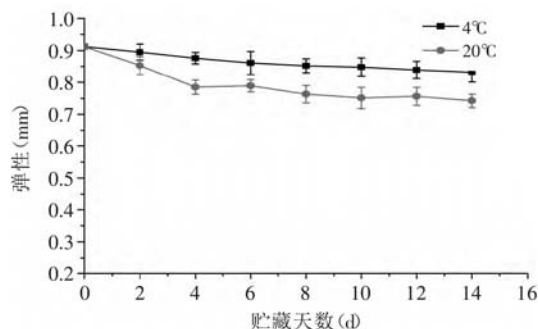


图4 贮藏温度对玛咖块根弹性的影响

Fig.4 Effect of storage temperature on the springiness of maca tuber

2.4 玛咖块根贮藏期间粘附性的变化

粘附性(adhesiveness)表示克服食品表面同其他物质表面接触之间的吸附力所需要的能量,在仪器定义中指第一次挤压的负峰面积,是探头脱离样品表面所做的功。贮藏温度对玛咖块根粘附性的影响如图5所示。由图5及统计结果可知,在4℃和20℃贮藏条件下,随着贮藏期的延长,玛咖块根的粘附性前期呈上升趋势,后期逐渐下降;4℃贮藏时,第8d开始有明显下降,而20℃贮藏,第4d即开始显著下降,不同贮藏温度之间差异显著($p<0.05$)。粘附性前期上升可能与块根组织软化后,果胶、可溶性糖等粘性物质游离出细胞组织,同时糖类的合成代谢大于分解代谢有关;后期代谢活动不断消耗糖类物质,分解代谢大于合成代谢使粘性物质浓度降低,同时块根表面失水皱缩从而导致玛咖粘附性逐渐下降^[19-21]。

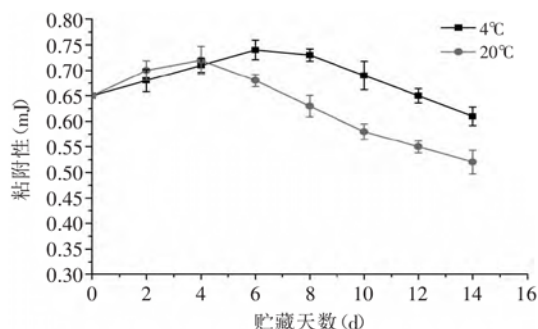


图5 贮藏温度对玛咖块根粘附性的影响

Fig.5 Effect of storage temperature on the adhesiveness of maca tuber

2.5 玛咖块根贮藏期间咀嚼度的变化

咀嚼度(chewiness)用于描述将固体食品咀嚼到可吞咽时需要的功,它综合反映了样品对咀嚼的持续抵抗性,在仪器定义中用硬度、凝聚性和弹性的乘积表示,是反映果蔬食用价值的重要因素之一。不同贮藏温度对玛咖块根咀嚼度的影响如图6所示,由

图6可知,4℃及20℃贮藏条件下,玛咖块根的咀嚼性在贮藏期整体呈下降趋势,贮藏前期下降更为明显,其中4℃贮藏时第10d玛咖块根的咀嚼度值趋向于平稳,而20℃贮藏时,玛咖块根咀嚼度一直呈下降趋势,初始值是51.43mJ,到贮藏第14d咀嚼度值下降为15.52mJ,此时两种温度贮藏时的值差异极显著($p < 0.01$)。说明随贮藏期延长玛咖咀嚼度下降,组织致密程度下降、气孔变大、变得更绵软。

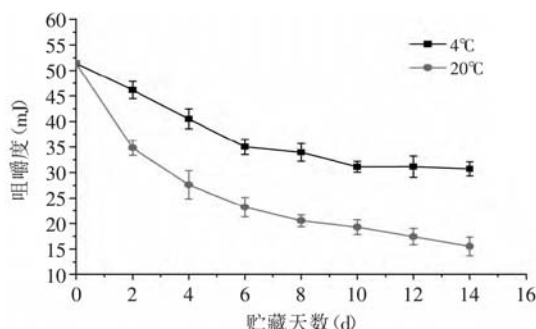


图6 贮藏温度对玛咖块根咀嚼度的影响

Fig.6 Effect of storage temperature on the chewiness of maca tuber

2.6 玛咖块根贮藏期间回复性的变化

回复性(resilience)反映的是玛咖块根在受压状态下快速恢复变形的能力,也就是样品在第一次压缩过程中回弹的能力,即第一次压缩至峰值后返回时果肉所释放的弹性能与压缩时探头耗能之比,反映在质地特征曲线图1上为面积 A_4 与面积 A_5 的比值;而弹性表示玛咖块根在一定时间内恢复变形的能力,二者都可以反映玛咖块根的生物体弹性,区别在于恢复变形的一个时间过程。贮藏温度对玛咖块根回复性的影响如图7所示,由图7可知,不同温度贮藏期间玛咖块根的回复性整体呈下降趋势。4℃贮藏时回复性下降较慢,第14d下降为0.261;而20℃贮藏时,从第4d开始玛咖块根回复性下降较为迅速,第12d趋于平稳,到第14d时回复性下降到0.223,此时两种温度贮藏时的值差异显著($p < 0.05$)。说明4℃低温贮藏的玛咖块根,保持生物体弹性的能力要好于20℃常温贮藏,这与其低温下贮藏较常温贮藏质地更为紧密有关。

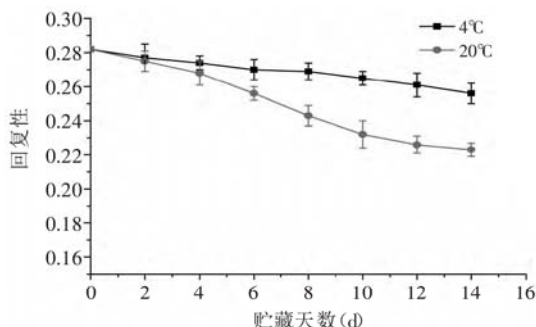


图7 贮藏温度对玛咖块根回复性的影响

Fig.7 Effect of storage temperature on the resilience of maca tuber

2.7 玛咖块根贮藏期间颜色饱和度值的变化

玛咖块根不同温度下贮藏表面颜色饱和度值变化规律见图8,由图8可以看出,玛咖块根表面颜色饱和度值S随着贮藏时间的延长,逐渐升高,同时观察到玛咖块根表面颜色逐渐发生褐变而变暗,这说明测量玛咖块根表面的颜色饱和度值可以反映其褐变程度。低温能有效抑制玛咖块根表面颜色上升速度,从而减轻褐变程度,例如低温4℃贮藏,玛咖块根表面颜色的饱和度值上升最为缓慢,贮藏到第14d,饱和度值才由最初的0.17上升到0.35,而20℃时贮藏到第8d饱和度值已经达到0.35,此时该温度贮藏的玛咖块根商品率显著下降($p < 0.05$),据本课题组之前实验数据及经验,玛咖块根表面颜色饱和度值超过一倍时,此时玛咖块根表面一半面积以上出现褐变,基本失去商品价值,因此可认为玛咖块根低温(4℃)贮藏与常温(20℃)贮藏相比,其货架期延长了6d。

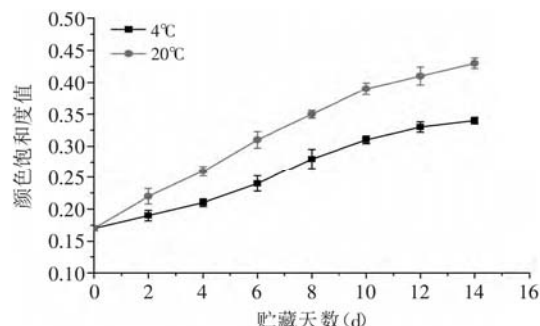


图8 贮藏温度对玛咖块根颜色饱和度值的影响

Fig.8 Effect of storage temperature on color saturation of maca tuber

2.8 各项质构参数之间的相关性

玛咖块根质构参数的相关性如表1所示,由表可知,玛咖块根的粘附性和硬度、凝聚性、弹性、咀嚼度以及回复性均呈现负相关,说明硬度、凝聚性、弹性、咀嚼度及回复性高的玛咖块根黏附性较低。玛咖块根的咀嚼度和硬度呈现较好的相关性($R=0.9783$),是因为二者均能反映玛咖块根的致密程度和坚实程度,可以从侧面反映玛咖块根贮藏时的新鲜程度。从表1可以看出,弹性和咀嚼度、回复性等参数之间的相关性较差,这可能与该参数的局限性有关。玛咖块根的凝聚性和硬度、咀嚼度以及回复性则呈现较好的正相关性(R 值分别为0.9586、0.9236和0.9127),说明这4个质构参数中的任意一个可以用来表征玛咖块根采后品质的变化规律,这与潘秀娟等^[22]对苹果采后的质构特性的研究结果在一定程度上类似。玛咖块根表皮颜色饱和度值一定程度上反映了其褐变程度,从表1可以看出,该指标与硬度、弹性呈极显著正相关,与咀嚼度呈显著正相关,与粘附性呈负显著相关。

3 结论

本研究应用质构仪TPA实验法,对不同贮藏温度对玛咖块根质地的影响进行了测定。结果表明,在不同贮藏温度下,玛咖块根的硬度与凝聚性、咀嚼度

表1 玛咖块根各项质构参数之间的相关性

Table 1 Correlation among textural parameters of the TPA test

指标	硬度	粘附性	凝聚性	弹性	咀嚼度	回复性	颜色饱和度值
硬度	1						
粘附性	-0.5132	1					
凝聚性	0.9586**	-0.3681	1				
弹性	0.4675	-0.1758	0.8926*	1			
咀嚼度	0.9783**	-0.5125	0.9236**	0.5684	1		
回复性	0.8586*	-0.1896	0.9127**	0.6186	0.8362*	1	
颜色饱和度值	0.9263**	-0.8637*	0.8761*	0.9427**	0.8829*	0.7513	1

注: *表示 $p < 0.05$; **表示 $p < 0.01$ 。

以及回复性均呈现较好的正相关性;而粘附性、弹性与其他质构参数相关性较差;玛咖块根的凝聚性与硬度、咀嚼度以及回复性则呈现较好的正相关性。凝聚性、咀嚼度和回复性质构参数均随储存时间延长而迅速下降,说明这3个质构参数中的任何一个均较灵敏地反映了块根品质的变化,可作为玛咖块根品质的评价指标。TPA测试模式提供了玛咖块根多个质地参数的变化趋势,结果一定程度上反映了玛咖块根细胞间结合力大小、组织结构等,进一步可用于分析玛咖块根物理性状、品质特性^[23]。颜色饱和度值变化结果在一定程度上反映玛咖块根的褐变程度,玛咖块根品质评价应与其质构参数、外观色泽相结合,本研究初步分析了玛咖块根贮藏期间颜色饱和度值与质构参数的相关性,其与感官评定的相关性还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 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 postharvest drying[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1576-1583.
- [2] 张弘, 郑华, 于连松. 玛咖真空干燥特性及工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(25): 267-272.
- [3] Wang Y L, Wang Y C, Mcneil B, et al. Maca: An Andean crop with multi-pharmacological functions[J]. Food Research International, 2007, 40(7): 783-792.
- [4] 甘瑾, 冯颖, 张弘, 等. 三种色型玛咖芥子油苷组分及含量分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(7): 1365-1371.
- [5] Sanabria R G G, Yamani B V, Filho F F. Effects on starch and amylolytic enzymes during *Lepidium meyenii* Walpers root storage[J]. Food Chemistry, 2012, 134(3): 1461-1467.
- [6] 刘亚平, 刘兴华, 李红波. 葡萄冷藏中电学参数与质地特性变化规律[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 343-348.
- [7] 郑远荣, 刘振民, 莫蓓红, 等. 切达奶酪成熟过程中微观结构变化及其对质构的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(3): 503-508.
- [8] 宋钰兴, 邵兴锋, 张春丹, 等. 测试条件的变化对草莓质地剖面分析结果的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 15-17.
- [9] 文波, 张名位, 张雁, 等. 广式月饼感官评分与TPA参数的相关性[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 91-96.
- [10] 宋肖琴, 张波, 徐昌杰, 等. 采后枇杷果实的质构变化研究[J]. 果树学报, 2010, 27(3): 379-384.
- [11] 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]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 383-386.
- [12] 曹荣, 刘淇, 殷邦忠, 等. 虾仁TPA质构分析及不同熟制加工方式对其品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6): 1-5.
- [13] 涂行浩, 张弘, 郑华, 等. 贮藏温度对玛咖块根采后品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 282-287.
- [14] Hiary A H, Ahmad S B, Reyat M. Fast and Accurate Detection and Classification of Plant Diseases[J]. International Journal of Computer Applications, 2011, 17(1): 31-38.
- [15] 周存山, 张艳萍, 马海乐. 微波对山药酶促褐变抑制作用的实验研究[J]. 粮油加工与食品机械, 2004(7): 70-71.
- [16] Barnes M, Duckett T, Cielniak G, et al. Visual detection of blemishes in potatoes using minimalist boosted classifiers[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98(3): 339-346.
- [17] 李志刚, 袁慧蓉, 石建春. 鲜切冬瓜贮藏过程中质构品质变化分析[J]. 山西农业大学报: 自然科学版, 2010, 30(3): 270-273.
- [18] Yang Z F, Zheng Y H, Cao S F, et al. Effect of storage temperature on texture properties of Chinese bayberry fruit[J]. Journal of Texture Studies, 2007, 38: 166-177.
- [19] 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]. 食品生物技术学报, 2011, 30(3): 353-358.
- [20] Chiabrando V, Giacalone G, Rolle L. Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 38: 166-177.
- [21] 高海生, 贾艳茹, 魏建梅, 等. 用物性分析仪检测鸭梨和京白梨果实采后质地的变化[J]. 园艺学报, 2012, 39(7): 166-170.
- [22] 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.
- [23] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松. 质构仪穿刺实验检测冬枣质地品质方法的建立[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1210-1217.