

## 普通丝瓜褐变度概率分级与总酚的回归分析

刘建汀<sup>1,2,3</sup>, 朱海生<sup>1,2,3</sup>, 庄尹宏<sup>1,2,3</sup>, 温庆放<sup>1,2,3</sup>, 叶新如<sup>1,2,3</sup>,

王彬<sup>1,2,3</sup>, 陈敏氛<sup>1,2,3</sup>, 张前荣<sup>1,2,3</sup>, 薛珠政<sup>1,2,3</sup>

(<sup>1</sup>福建省农业科学院作物研究所, 福州 350003; <sup>2</sup>福建省农业科学院蔬菜研究中心, 福州 350003;

<sup>3</sup>福建省蔬菜工程技术研究中心, 福州 350003)

**摘要:**为运用概率分级和回归分析方法揭示普通丝瓜褐变度与总酚含量之间的相互关系,从而建立普通丝瓜基于褐变度正态分布的分级标准,研究测定38份普通丝瓜的褐变度和总酚含量。采用 $X-1.2818S$ 、 $X-0.5246S$ 、 $X+0.5246S$ 和 $X+1.2818S$ 4个点将丝瓜褐变度概率分为5级,即极低(1级)、低(2级)、中(3级)、高(4级)、极高(5级),并将其与总酚含量进行线性回归分析。普通丝瓜果肉褐变度变化范围为2.17~9.60,平均值为6.211,变异系数为29.77%,经K-S正态性检验符合正态分布,建立褐变度和总酚含量的线性回归方程 $y=3.559x-2.837$ ,两者之间存在显著的线性关系。普通丝瓜果肉褐变度与总酚含量呈显著正相关。

**关键词:**丝瓜;褐变度;概率分级;总酚;回归分析

中图分类号:S661.1

文献标志码:A

论文编号:casb17020109

### Probability Classification of Luffa Browning Degree and Its Regression Analysis with Total Phenol

Liu Jianting<sup>1,2,3</sup>, Zhu Haisheng<sup>1,2,3</sup>, Zhuang Yinhong<sup>1,2,3</sup>, Wen Qingfang<sup>1,2,3</sup>,

Ye Xinru<sup>1,2,3</sup>, Wang Bin<sup>1,2,3</sup>, Chen Mindong<sup>1,2,3</sup>, Zhang Qianrong<sup>1,2,3</sup>, Xue Zhuzheng<sup>1,2,3</sup>

(<sup>1</sup>Crops Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003;

<sup>2</sup>Vegetable Research Center, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003;

<sup>3</sup>Fujian Engineering Research Center for Vegetables, Fuzhou 350003)

**Abstract:** The research aims to use the method of probability classification and regression analysis to reveal the relationship between luffa browning degree and its total phenol content, and establish a standard luffa grade based on normal distribution of the browning degree. The browning degree and total phenol were determined among 38 luffa varieties. Furthermore, luffa browning probability was divided into five grades [i.e., extremely low (1), low (2), medium (3), high (4), extremely high (5)] according to four points (i.e.,  $X-1.2818S$ ,  $X-0.5246S$ ,  $X+0.5246S$  and  $X+1.2818S$ ), and its linear-regression with total phenol was analyzed. The K-S normality testing results showed that the browning degree which ranged from 2.17 to 9.60 conformed to normal distribution, and had an average value of 6.211 and a variable coefficient of 29.77%. There was a significant linear relationship between luffa browning degree and total phenol, and a linear regression equation was established (i.e.,  $y=3.559x-2.837$ ). The results showed that there was a significantly positive correlation between luffa total phenol and its browning degree.

**Key words:** luffa; browning degree; probability classification; total phenol; regression analysis

**基金项目:**福建省属公益类科研院所基本科研专项(2017R1026-3);福建省农业科学院创新团队PI项目“特色作物重要性状形成机理研究”(2016PI-40);国家大宗蔬菜产业体系福州试验站(CARS-25-G-20);福建省农业科学院青年人才创新基金项目“丝瓜转录组差异分析”(2015QC-6)。

**第一作者简介:**刘建汀,男,1988年出生,福建长汀人,研究实习员,研究方向为蔬菜育种。通信地址:350003 福建省福州市五四路247号 福建省农业科学院, E-mail: ljt338625@163.com。

**通讯作者:**朱海生,男,1978年出生,福建福州人,博士,主要从事蔬菜育种研究。E-mail: zhs0246@163.com。

**收稿日期:**2017-02-27, **修回日期:**2017-05-16。

## 0 引言

丝瓜(*Luffa cylindrica*)又名天罗、水瓜,属葫芦科(Cucurbitaceae)丝瓜属(*Luffa*)一年生攀缘植物,果肉细腻柔滑,味道鲜美,也可入药,是一种具有良好保健功效的瓜类蔬菜<sup>[1-3]</sup>。丝瓜分为普通丝瓜(*L. cylindrica*)和有棱丝瓜(*L. acutangula*)2个栽培种,其中以普通丝瓜更为普遍,在中国南北各地均有种植<sup>[4]</sup>。普通丝瓜果肉在采后储藏过程中容易产生褐变,严重影响其感官品质和商品价值<sup>[5]</sup>。研究表明,果蔬酶促褐变过程中,酚类物质、氧气和褐变相关酶是果蔬组织产生褐变3个物质条件,酚类物质是果蔬组织褐变的物质基础<sup>[6]</sup>。在贮藏过程中,普通丝瓜与苹果、莴苣、马铃薯等果蔬一样,体内细胞液中产生的酚类物质容易导致果肉发生酶促褐变<sup>[7-10]</sup>。褐变度是评价普通丝瓜的重要指标,但目前并没有具体的数据评价标准。王成等<sup>[11]</sup>利用沸水水浴处理进行褐变指数的计算,并将丝瓜褐变等级划分为5级。娄丽娜等<sup>[12]</sup>通过灰度关联分析法对丝瓜褐变进行分级。花秀凤等<sup>[13]</sup>利用丝瓜褐变度的频次分布,将褐变度按一定的范围划分为3级。笔者旨在运用概率分级和回归分析的方法来揭示普通丝瓜总酚含量与褐变度之间的相互关系,从而建立普通丝瓜基于褐变度正态分布的分级标准。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试的38份普通丝瓜品种为课题组前期收集34份种质资源和4份组合(表1)。材料于2016年3月15日育苗,4月26日定植于大棚内,株距40 cm,行距60 cm。田间选取表面完整、无机械损伤、大小均一的

普通丝瓜(商品期)果实,清水洗净晾干,快速削皮后切取丝瓜果实中间部位(厚约2.0 cm)作为试验材料,液氮速冻后置于-80℃冰箱中储存备用,每个样品重复3次采样<sup>[14]</sup>。

### 1.2 仪器和试剂

1.2.1 主要仪器 AR224CN 电子分析天平(上海奥豪斯仪器有限公司)、DK-8D 电热恒温水槽(上海一恒科学仪器有限公司)、BILON-96 超声波细胞粉碎机(成都比郎实验设备有限公司)、CR22N 冷冻高速离心机(北京顺心万昌科技发展有限公司)、UV1000 紫外可见分光光度计(天美科学仪器有限公司)等。

1.2.2 试剂 福林-酚购自美国 Sigma 公司;甲醇(CH<sub>3</sub>OH)、丙酮(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)、乙醇(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O)、碳酸钠(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)、没食子酸(C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>5</sub>)等均为国产分析纯(广通贸易化学试剂有限公司);双蒸水。

1.2.3 没食子酸溶液配制 称取0.11 g 没食子酸,用双蒸水溶解定容至1000 mL,得到浓度为100 μg/mL的没食子酸标准溶液。

### 1.3 方法

1.3.1 丝瓜褐变度测定 采用消光值法<sup>[14]</sup>测定丝瓜褐变度。称取2.0 g 丝瓜果肉,加4℃预冷双蒸水进行研磨至匀浆,料液比1:10(m/v),4000 r/min(4℃)离心5 min,并以双蒸水为对照,取上清液于410 nm 下测定其吸光值A。以上试验重复3次,褐变度=10A。

1.3.2 丝瓜总酚提取与测定 丝瓜总酚提取与测定分别采用超声波辅助法<sup>[15]</sup>和福林-酚法<sup>[16]</sup>。重复3次测量。

1.3.3 数据处理与分析 对试验所得数据采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件进行数据分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 褐变度变异情况

由图1可得,38个普通丝瓜品种(系)中,P-4的褐变度最高,其次为P-3和P-5,P-6最低,呈现出较大的变化幅度。对38个普通丝瓜品种(系)果肉进行描述性统计量分析发现,其褐变度变化范围为2.17~9.60,平均值为6.211,变异系数为29.77%(表2)。

### 2.2 褐变度正态性检验

正态性检验结果表明,K-S(Kolmogorov-Smirnov)检验中,K-S值为0.529, Sig.=0.943>0.05,表明丝瓜褐变度的变化符合呈正态分布(表3)。

### 2.3 褐变度的概率分级

根据K-S的检验结果,以丝瓜褐变度的正态分布样本为对象,并按照4个分点 X-1.2818S、X-0.5246S、X+0.5246S、X+1.2818S(X=μ, S=σ)将丝瓜褐变度概率分为5级,使褐变度落入1~5级的概率分别

表1 试验所用的38份普通丝瓜材料

序号	品种名称	序号	品种名称	序号	品种名称
P-1	盛一奇	P-14	福研2号	P-27	福丝4号
P-2	纯丰	P-15	福研4号	P-28	相思
P-3	黑10	P-16	福丝1号	P-29	黑10
P-4	黑13	P-17	福研5号	P-30	丰优
P-5	黑12	P-18	福研1号	P-31	星源绿剑
P-6	圆帅	P-19	福丝2号	P-32	黑10
P-7	长佳406	P-20	福研6号	P-33	绿禾
P-8	香玉白	P-21	白丽	P-34	泰国香
P-9	五叶	P-22	秀美	P-35	长香
P-10	丰绿	P-23	美特中绿	P-36	美绿
P-11	恒丰5号	P-24	高瑞	P-37	旺绿
P-12	绿神	P-25	玉龙	P-38	亚华翠绿
P-13	LI FENG	P-26	福丝3号		

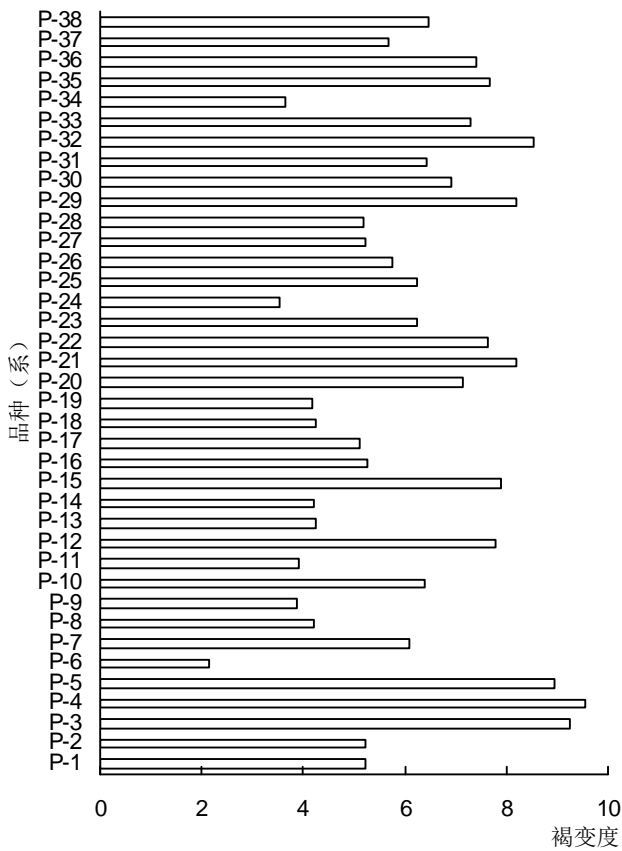


图1 丝瓜褐变度分布图

为10%、20%、40%、20%、10%<sup>[17-18]</sup>(表4)。分级结果如图2所示,褐变度3级在38个普通丝瓜品种中所占比例最高,达到38.84%,其次为4级和2级,所占比例分别为23.68%和18.42%,1级和5级所占比例相当,各为10.53%。

2.4 丝瓜总酚含量测定

对38份普通丝瓜材料中进行总酚含量测定,并选择16份丝瓜品种材料的总酚含量作为后续与褐变度的线性回归分析,其中包括褐变度较高的P-4、P-5、P-3和褐变度最低的P-6品种,其余12份材料为随机抽取。测量结果如图3所示,品种间的总酚大小趋势和褐变度基本一致,P-4品种总酚含量最高,其次为P-5、P-3和P-36,P-6含量最低。

2.5 丝瓜褐变度与总酚含量线性回归分析

对所选16份丝瓜材料的褐变度和总酚含量的测量值进行线性回归分析。模型汇总(表5)中, $R^2$ 为0.923,数值较大,说明方程拟合度较高;在表6中, $Sig.$ 为0.000小于0.005;在表7中,得出回归方程的系数值,即常量为-2.837,总酚为3.559,从而得到回归方程为 $y(\text{褐变度})=3.559x(\text{总酚})-2.837$ (图4)。由此得出,总酚与褐变度之间具有显著的线性关系,即褐变度越高,总酚含量越高。

表2 丝瓜褐变度描述性统计量

项目	品种(系)数量	均值 $\mu$	标准差 $\sigma$	极小值	极大值	变异系数/%
丝瓜褐变度	38	6.211	1.849	2.170	9.600	29.77%

表3 丝瓜褐变度K-S正态性检验

项目	褐变度	
数目	38	
正态参数 $\mu, \sigma$	均值	6.211
	标准差	1.849
最极端差别	绝对值	0.086
	正	0.086
	负	-0.084
K-S	0.529	
Sig.	0.943	

表4 丝瓜褐变度概率分级

级别	褐变度范围
极低(1级)	[2.17, 3.84)
低(2级)	[3.84, 5.24)
中(3级)	[5.24, 7.18)
高(4级)	[7.18, 8.58)
极高(5级)	[8.58, 9.60]

3 结论

本研究利用正态分布对普通丝瓜果肉褐变度等级进行分级,其结果较为准确、可靠且快速。通过测定38份普通丝瓜种质资源褐变度,不同丝瓜种质资源的褐变度之间相差4.4倍,其中P-4的褐变度最高,P-3和

P-5次之,P-6的褐变度最低。建立了丝瓜褐变度概率分级,并分析得出其褐变度变异情况:普通丝瓜果肉褐变度变化范围为2.17~9.60,褐变度平均值为6.211,变异系数为29.77%,褐变度的变异系数较大,经K-S正态性检验符合正态分布。采用 $X-1.2818S$ 、 $X-0.5246S$ 、 $X+0.5246S$ 、 $X+1.2818S$ 4个点分为5级,即极低(1级)、低(2级)、中(3级)、高(4级)、极高(5级),其中,1级占10.53%、2级占18.42%、3级占36.84%、4级占23.68%、

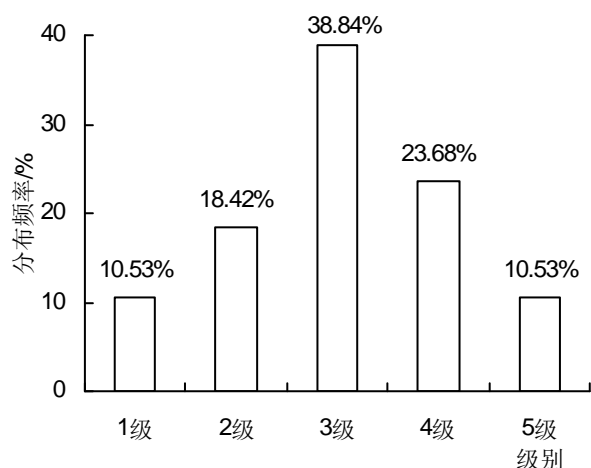


图2 丝瓜褐变度的频率分布

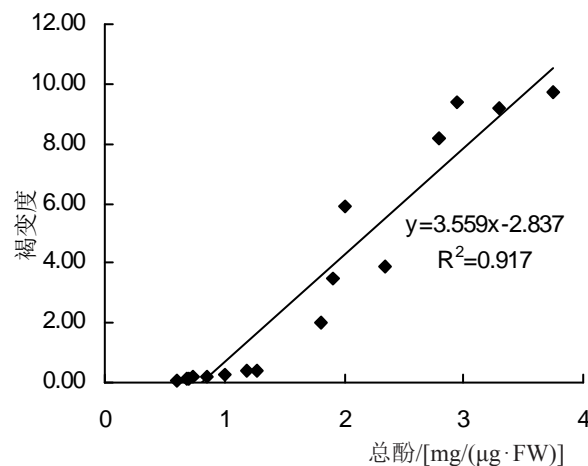


图4 总酚与褐变度线性回归关系

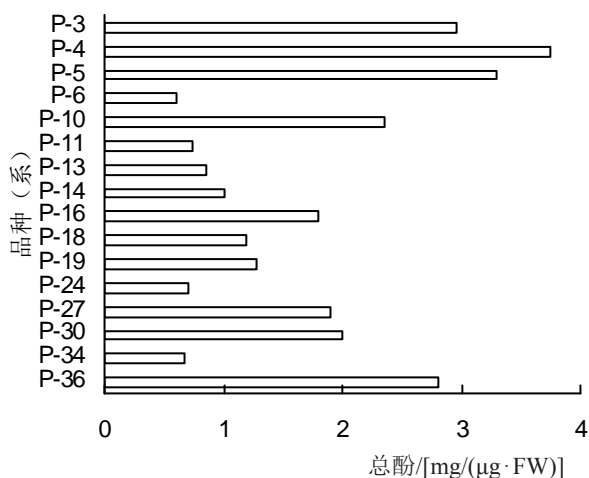


图3 丝瓜总酚含量

表5 预测变量总酚的模型汇总

R	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>	标准估计的误差
0.961	0.923	0.917	1.098

表6 因变量褐变度的方差分析

项目	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	202.346	1	202.346	167.750	0.000
残差	16.887	14	1.206		
总计	219.233	15			

5级占10.53%。将褐变度与总酚进行线性回归分析，

表7 因变量褐变度的回归系数分析

项目	非标准化系数		标准系数	t	Sig.
	B	标准误差	回归系数 R		
(常量)	-2.837	0.550		-5.157	0.000
总酚	3.559	0.275	0.961	12.952	0.000

建立了线性回归方程  $y(\text{褐变度})=3.559x(\text{总酚})-2.837$ , 得到总酚与褐变度之间存在显著的线性关系, 普通丝瓜果肉总酚含量与其褐变度呈显著正相关。

#### 4 讨论

果蔬中果实性状评价常采用基于正态分布检验的概率分级来形成相应的描述规范和数据标准, 例如桃果肉硬度<sup>[17]</sup>、杏<sup>[18]</sup>和芒果<sup>[19]</sup>数量形状的评价。褐变度是评价果蔬品质的重要形状指标, 对果蔬遗传改良过程中选育低褐变品种具有重要的参考价值。霍君生等<sup>[20]</sup>根据梨果实褐变的面积将褐变度分为5级, 测量方法较为快速和便捷, 但果实测量面积难免受肉眼观察和不规则的果实形状影响而产生一定误差。普通丝瓜作为果蔬中重要的一员, 深受广大人们的喜爱, 褐变现象常有发生, 其褐变度的分级尚未形成具体的数据评判标准。笔者以38份丝瓜种质资源为研究对象, 对丝瓜褐变度进行正态检验, 并首次建立丝瓜褐变度频率分级标准, 为丝瓜品种褐变的评价提供了一定描述规范和数据标准<sup>[21]</sup>。

研究表明, 果蔬褐变度高低与总酚含量的大小存在一定的相关性<sup>[22-23]</sup>。吕金海等<sup>[24]</sup>对金秋梨的研究发现, 褐变度高低与总酚含量的大小密切相关, 储藏过程中梨体内的褐变度升高, 其总酚含量也随之增多。李淑玲等<sup>[25]</sup>对苹果的研究发现, 苹果果实总酚含量较低的品种, 其褐变度也相对较低, 两者呈显著正相关。笔

者将16份丝瓜品种的褐变度与总酚含量测量结果进行线性回归分析,得出总酚与褐变度之间存在显著的正相关性,即褐变度高的普通丝瓜品种,其总酚含量也高。褐变是影响果实营养和品质的主要生化反应之一,可由酶促褐变和非酶促褐变引起<sup>[26-27]</sup>。研究表明,果蔬的酶促褐变与褐变相关酶(多酚氧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶等)活性的变化存在密切关系<sup>[28-31]</sup>。试验筛选得到2个发生褐变难易程度不同的丝瓜品种资源P-4和P-6,今后可将总酚含量较高的P-4(易褐变)与较低的P-6(耐褐变)品种(系)作为研究的试验材料,进一步探索丝瓜褐变度和总酚含量与褐变相关酶活性变化的关系,为普通丝瓜耐褐变质品种资源的筛选及品种选育提供理论依据。

### 参考文献

- [1] 苏小俊,徐海,高军,等.普通丝瓜果实性状的遗传分析[J].江苏农业学报,2009,25(5):1112-1118.
- [2] 颜国纲,郑振佳,时新纲,等.丝瓜的营养价值及其综合利用研究进展[J].中国果菜,2011,15(7):35-36.
- [3] 黄树苹,谈太明,徐长城,等.丝瓜多酚氧化酶的酶学特性初步研究[J].中国蔬菜,2009(10):17-22.
- [4] 罗少波,罗剑宁,郑晓明.我国丝瓜育种研究进展与展望[J].广东农业科学,2006,1:15-17.
- [5] Bustos M C, Mazzobre M F, Buera M P. Stabilization of refrigerated avocado pulp: effect of Allium and Brassica extracts on enzymatic browning[J]. Food Science and Technology,2015,61(1): 89-97.
- [6] Queiroz C, Lopes M M, Fialho E, et al. Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control[J]. Food Rev Int,2008,24:361-375.
- [7] Du Y, Dou S, Wu S. Efficacy of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice[J]. Food Chemistry,2012,135(2):580-582.
- [8] Luna M C, Tudela J A, Tomás-Barberán F A, et al. Modified atmosphere (MA) prevents browning of fresh-cut romaine lettuce through multi-target effects related to phenolic metabolism[J]. Postharvest Biology and Technology,2016,119:84-93.
- [9] Cantos E, Tudela J A, Gil M I, et al. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002,50(10):3015-3023.
- [10] 朱海生,庄尹宏,刘建汀,等.丝瓜总酚提取和测定方法的优化[J].福建农业学报,2016,30(11):1204-1209.
- [11] 王成,王辉,娄丽娜,等.普通丝瓜果肉褐变的鉴定方法[J].江苏农业科学,2012,40(11):137-138.
- [12] 娄丽娜,刘哲,苏小俊.普通丝瓜耐褐变研究进展[J].长江蔬菜,2015, 4:1-4.
- [13] 花秀凤,陈锐,黄斌斌.普通丝瓜果肉褐变的变异及低褐变品种的筛选[J].中国农学通报,2013,19:103-106.
- [14] Gammongkolrat A, Moutounet M, Price K R. Pulp browning of french prunes: methods of measurement and types of reactions involved[J]. Sciences des Aliments,1985,5:273.
- [15] 肖凤艳,孙立彬.生地黄总多酚超声法提取工艺研究[J].江苏农业科学,2012,40(11):294-295.
- [16] 严娟,蔡志翔,张斌斌,等.桃果肉总酚提取和测定方法的研究[J].江苏农业学报,2013,29(3):642-647.
- [17] 马之胜,王越辉,贾云云,等.桃种质资源果实硬度评价及概率分级[J].西南农业学报,2009,22(1):167-169.
- [18] 赵海娟,刘威生,刘宁,等.普通杏(*Armeniaca vulgaris*)种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J].果树学报,2013,30(01):37-42.
- [19] 尼章光,张林辉,解德宏,等.怒江流域杧果种质资源主要数量性状变异及概率分级[J].果树学报,2009,26(4):492-497.
- [20] 霍君生,佟代言,刘彩莉,等.鸭梨果心褐变过程中膜质过氧化及细胞内膜黏度的变化[J].园艺学报,1995,22(3):221-224.
- [21] 马小河,赵旗峰,董志刚,等.鲜食葡萄品种资源果实数量性状变异及概率分级[J].植物遗传资源学报,2013,14(6):1185-1189.
- [22] 陈艳乐.薯蓣酶促褐变机理及其控制的初步研究[D].杭州:浙江大学,2004.
- [23] 毕阳,郭玉蓉,李永才,等.冷藏期间三种梨果皮中酚类物质含量及多酚氧化酶活性变化与褐变度的关系[J].制冷学报,2002,4:52-54.
- [24] 吕金海,程丹菁.金秋梨储藏过程中褐变度及多酚含量的变化[J].现代农业科技,2009,11:21-22.
- [25] 李淑玲,陈笑笑,赵宝龙,等.10个苹果品种果实中酚类物质与褐变度分析[J].新疆农业科学,2016,53(07):1199-1203.
- [26] Du Y, Dou S, Wu, S. Efficacy of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice[J]. Food chemistry.2012,135:580-582.
- [27] Wu, S. Glutathione suppresses the enzymatic and non-enzymatic browning in grape juice[J]. Food chemistry,2014,160:8-10.
- [28] Min T, Xie J, Zheng M, et al. The effect of different temperatures on browning incidence and phenol compound metabolism in fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* G.) root[J]. Postharvest Biology and Technology,2017,123:69-76.
- [29] Pen L T, Jiang Y M. Effects of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut[J]. LWT-Food Science and Technology,2003,36(3):359-364.
- [30] He Q, Luo Y. Enzymatic browning and its control in fresh-cut produce[J]. Stewart Postharvest Review,2007,3(6):1-7.
- [31] Dokhanieh A Y, Aghdam M S, Sarcheshmeh M A A. Impact of postharvest hot salicylic acid treatment on aril browning and nutritional quality in fresh-cut pomegranate[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology,2016,57(4):378-384.