

# 板栗品种褐变度差异性及其多酚氧化酶活性的相关性研究

郑龙<sup>1</sup>,肖正东<sup>2</sup>,王陆军<sup>2</sup>,蔡新玲<sup>2</sup>,傅松玲<sup>1,\*</sup>

(1.安徽农业大学林学与园林学院,安徽合肥 230036;

2.安徽省林业科学研究院,安徽合肥 230031)

**摘要:**以37个板栗品种为试材,研究了板栗果实褐变差异性及其与多酚氧化酶(PPO)活性之间的关系,并根据褐变差异性对各品种进行聚类分析。结果表明:板栗不同品种间褐变差异显著( $p < 0.05$ ),根据褐变差异性聚类分析,可将37个品种可以分为5个等级;不同品种间PPO活性差异显著( $p < 0.05$ );通过探讨不同品种间褐变度与PPO活性的关系,发现随着板栗品种间PPO活性的升高,褐变度也开始升高,当PPO活性达到 $90 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,PPO活性对褐变影响开始降低;通过褐变聚类分析,将板栗PPO活性分为5类,在优选或改良品种时,可将品种的PPO活性在第一或第二类活性范围以下作为选择依据之一。

**关键词:**褐变度,多酚氧化酶,相关性

## Study on the relationship between the browning and polyphenol oxidase activity of *Castanea mollissima*

ZHENG Long<sup>1</sup>, XIAO Zheng-dong<sup>2</sup>, WANG Lu-jun<sup>2</sup>, CAI Xin-ling<sup>2</sup>, FU Song-ling<sup>1,\*</sup>

(1.School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2.Anhui Academy of Forestry, Hefei 230031, China)

**Abstract:** In this study, 37 *Castanea mollissima* cultivars were used to study the relationship between the activities and *Castanea mollissima* browning differences and polyphenol oxidase (PPO), and according to the cluster analysis browning differences of all varieties. The results showed that the browning of different varieties was significantly ( $p < 0.05$ ) different according to the cluster analysis of browning differences. 37 varieties could be divided into 5 levels. The differences of PPO activity between cultivars were significantly. By comparison between varieties of degree the browning and PPO activity increased with the *Castanea mollissima* varieties, it was found that PPO activity, browning degree were beginning to rise. When PPO activity reached  $90 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ , PPO activity against browning began to decrease by clustering the *Castanea mollissima* browning, the activities of PPO were divided into 5 categories. When *Castanea mollissima* preferred or improved varieties, PPO activity varieties could be in the first or second activity of the range that choose one of the following as the basis.

**Key words:** the degree of browning; polyphenol oxidase; correlation

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)18-0126-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.18.017

板栗 (*Castanea mollissima* Blume) 属壳斗科 (Fagaceae) 栗属 (*Castanea*) 植物, 其营养丰富, 栗仁中含有人体必需的蛋白质、碳水化合物、脂肪和多种微量元素, 是经济价值非常高的干果<sup>[1]</sup>。板栗在储藏和加工过程中, 易产生褐变, 会严重影响其外观、风味, 降低产品质量。板栗的褐变主要有酶促褐变和非酶褐变<sup>[2]</sup>。酶促褐变主要是由栗仁中酶的作用引起的<sup>[3]</sup>, 其中多酚氧化酶 (Polyphenol Oxidase, PPO) 是起主导

作用的酶类。多酚氧化酶是大部分植物中都存在的含Cu元素的氧化还原酶, 参与呼吸末端氧化还原反应<sup>[4-5]</sup>, 易催化各种酚类 (儿茶酚等) 使之氧化成醌, 从而进一步氧化成黑色素<sup>[6]</sup>, PPO活性受多基因控制, 在2D、2A、2B、3B、6D染色体上都含有与其相关的染色体<sup>[7]</sup>。在食品加工过程中, 预防多酚氧化酶褐变的方法有很多, 主要方法是使PPO失活<sup>[8-11]</sup>。为了抑制板栗的褐变, 人们一直都在探索改变其加工工艺或者

收稿日期: 2015-01-06

作者简介: 郑龙 (1988-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 园林植物与观赏园艺, Email: zhenglong4150@126.com。

\* 通讯作者: 傅松玲 (1962-), 女, 教授, 研究方向: 森林培育教学及研究, Email: fusionsongling@ahau.edu.cn。

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (201104025-3)。

利用不同的pH、温度来抑制PPO活性<sup>[12-13]</sup>。缺乏对相关板栗品种资源PPO活性差异情况的研究,使得具有针对性的板栗品种遗传改良无法有效的展开。可以利用褐变颜色的深浅与PPO活性的关系进行比较,探索两者的关系<sup>[14]</sup>,并将板栗的PPO活性进行聚类分析,从而将板栗品种进行分类,筛选优良抗褐变品种。本研究测定了37个板栗品种的PPO活性分布规律及其与褐变的关系,为板栗品种优选或者品质改良提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

37个品种板栗(表1) 包括河北、北京引进品种16个,安徽省内品种21个,其中‘全椒1号’、‘全椒2号’、‘全椒3号’三个品种种植于滁州市全椒县,‘南谯1号’、‘南谯2号’、‘南谯4号’、‘南谯5号’四个品种种植于滁州市南谯区,其余品种于滁州沙河林木良种繁育中心统一种植,所有板栗品种于同一年度果实完全成熟时收集(即栗苞由绿色转为黄褐色,并开裂成十字裂口);PVP(聚乙烯吡咯烷酮)、PEG(聚乙二醇)、邻苯二酚、磷酸二氢钠(磷酸缓冲液) 药品均来自于合肥美丰化工仪器有限公司。

WB-2010水浴锅 天津奥特赛斯仪器有限公司;UV-7502CS分光光度计 上海欣茂仪器有限公司;HC-3515高速离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;FA2004分析天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

表1 供试板栗品种

Table 1 List of the *Castanea mollissima* varieties

材料序号	品种	材料序号	品种	材料序号	品种
1	黑山寨7号	14	莲花栗	27	河北短刺
2	全椒3号	15	早熟3号	28	南谯1号
3	燕红	16	蜜蜂球	29	栗3号
4	河北尊玉	17	二水早	30	大红袍
5	阳光3号	18	二新早	31	辛庄2号
6	处暑红	19	河北塔丰	32	河北燕明
7	叶里藏	20	栗2号	33	河北张庄子3号
8	粘底板	21	岳西2号	34	全椒2号
9	全椒1号	22	毛浦	35	南谯5号
10	节节红	23	大油栗	36	南谯4号
11	河北大粒紫王白	24	野栗2号	37	阳光2号
12	河北东陵明珠	25	油光栗		
13	南谯2号	26	河北尊达		

### 1.2 实验方法

1.2.1 多酚氧化酶活性测定 称取板栗仁10 g,加入少许含1% PVP(聚乙烯吡咯烷酮)和1% PEG(聚乙二醇)的0.2 mol/L磷酸缓冲液(pH6.5),研磨成匀浆,然后用缓冲液定容至50 mL,将匀浆液在4 ℃左右以5000 r/min的速度离心10 min,离心后取上清液即为粗酶液,置于4 ℃冰箱保存。

取1 mL酶液和2 mL 100 mmol/L的邻苯二酚于

30 ℃水浴预热5 min,混合后,用分光光度计在410 nm波长下测定5 min内吸光值的变化,以邻苯二酚加蒸馏水的自然氧化作对照<sup>[12]</sup>。在室温下,每克酶液每分钟吸光值上升0.001定义为1个酶活性单位(U),PPO活性为 $\Delta A \cdot 10^3$  ( $U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ,  $\Delta A$ 为5 min内的吸光度变化值),重复3次。

1.2.2 板栗褐变测定 将新鲜板栗脱壳去衣,洗净沥干后,用不锈钢刀将板栗切碎,称取2份2.5 g的样品,加适量磷酸缓冲液(pH5.8),研磨,再定容至25 mL,一份在4 ℃下离心(3000 r/min)5 min,取上清液置于30 ℃水浴锅中20 min,用分光光度计测定420 nm下吸光值,测得的数据为褐变初始值。另一份25 mL溶液置于4 ℃冰箱中3 d后,取出离心(3000 r/min)5 min,取上清液置于30 ℃水浴锅中20 min后,在420 nm下吸光,测得的数据为褐变终值。每处理3次重复<sup>[14]</sup>。

1.2.3 统计方法 测定重复3次,分别平均取样,结果以平均值计算,实验数据用Microsoft Excel数据处理系统进行处理,用数据统计软件SPSS 19.0进行方差分析和聚类分析(聚类所用数据是PPO活性变化值)。

## 2 结果与分析

### 2.1 板栗品种褐变度差异

从测定结果看(表2),不同品种的板栗褐变度有很大差异,在30 ℃褐变20 min的情况下,初始褐变度变化幅度为0.128~0.172,变幅范围为0.044,变幅范围较小,品种间差异小。说明板栗品种间在初始褐变时,褐变度差异较小。

在4 ℃褐变3 d的条件下,褐变度终值变化幅度为0.284~0.751,变幅范围为0.467,变动幅度较大,种间差异性显著。与初始褐变相比,褐变终值的差异较大。说明板栗品种褐变随着时间延长,褐变度差异逐渐变大。褐变变化值从0.151~0.600,变幅范围为0.449,变动幅度较大,差异性显著( $p < 0.05$ )。

分析表2中数据发现,板栗的褐变程度是随着时间延长而加深的,在研究板栗品种的抗褐变能力时,需将初始褐变值、终褐变值和褐变变化值三者结合,综合分析,才能正确评价品种的抗褐变能力,如表2中的1号(黑山寨7号)品种,其初始褐变度、终褐变度以及变化值都较小,抗褐变能力较高,而37号(阳光2号)品种,其初始褐变度较低,而其终测褐变度却很高,说明其褐变速度较快,抗褐变能力较低。

### 2.2 板栗品种PPO活性差异

板栗品种PPO活性变异区间为8.53~149.48  $U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ,变幅范围为140.95  $U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 。PPO活性主要集中在30~70  $U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,占整体的62%,呈偏态性,高活性品种和低活性品种数量较少,品种间差异显著( $p < 0.05$ )(表2),说明板栗品种间PPO活性变化幅度很大,而由于PPO活性是板栗褐变的主要影响因子,PPO活性的差异必定会对板栗的褐变程度产生影响。

### 2.3 板栗褐变与PPO活性相关性分析

通过分析板栗的PPO活性与其褐变初始值、终值以及变化度的相关性(表3),发现板栗PPO活性与其褐变度成正相关关系。其中PPO活性与其褐变度

表2 不同板栗品种的褐变度和PPO活性  
Table 2 Browning degree and PPO activity of *Castanea mollissima* varieties

序号	褐变度			PPO活性 ( $U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ )
	初始值	终值	变化值	
1	0.133±0.011a	0.284±0.024m	0.151±0.035m	8.53±1.19q
2	0.132±0.018a	0.320±0.024m	0.188±0.006lm	19.91±2.93opq
3	0.137±0.019a	0.330±0.028lm	0.192±0.026lm	16.44±1.78pq
4	0.130±0.014a	0.325±0.025lm	0.195±0.029lm	15.66±1.44pq
5	0.128±0.016a	0.329±0.025lm	0.201±0.022lm	22.63±3.12nopq
6	0.134±0.023a	0.403±0.038kl	0.269±0.052kl	26.46±2.51mnop
7	0.163±0.015a	0.461±0.040jk	0.298±0.028jk	30.47±3.82kimnop
8	0.160±0.023a	0.480±0.035ijk	0.321±0.012ijk	33.95±4.27klmno
9	0.138±0.026a	0.460±0.038jk	0.322±0.063hijk	30.13±2.14lmnop
10	0.149±0.028a	0.485±0.036ij	0.336±0.008ghijk	27.92±1.13lmnop
11	0.157±0.022a	0.514±0.039ghij	0.357±0.019fghij	41.28±7.76jklm
12	0.144±0.023a	0.505±0.037hij	0.361±0.046fghij	40.32±3.07jklm
13	0.144±0.027a	0.511±0.037hij	0.367±0.055efghij	31.72±2.63klmno
14	0.147±0.024a	0.518±0.037fghij	0.371±0.013efghij	32.01±3.12klmno
15	0.172±0.023a	0.552±0.047defghi	0.379±0.069defghij	35.04±6.09klmno
16	0.146±0.024a	0.527±0.034fghij	0.381±0.011defghij	36.50±4.19klmn
17	0.147±0.025a	0.530±0.038efghij	0.383±0.055defghij	41.98±4.01jkl
18	0.141±0.028a	0.527±0.092fghij	0.386±0.064defghij	53.24±4.00hij
19	0.137±0.021a	0.526±0.044fghij	0.390±0.025defghij	42.41±4.22jkl
20	0.145±0.022a	0.554±0.048defghi	0.409±0.041cdefghi	45.61±5.33ijk
21	0.132±0.018a	0.547±0.052defghi	0.415±0.062cdefgh	60.00±7.25fghi
22	0.137±0.021a	0.563±0.035defghi	0.425±0.014cdefg	62.61±7.04fgh
23	0.138±0.020a	0.581±0.041cdefgh	0.443±0.047cdef	71.10±6.32f
24	0.130±0.021a	0.576±0.044cdefgh	0.446±0.046cdef	59.62±5.25fghi
25	0.171±0.023a	0.621±0.040cd	0.449±0.062cdef	61.54±5.09fgh
26	0.130±0.021a	0.586±0.047cdefgh	0.456±0.051cde	53.83±5.81ghij
27	0.141±0.021a	0.600±0.043cdefg	0.459±0.050cde	68.49±5.44fg
28	0.144±0.020a	0.604±0.036cdef	0.460±0.045cde	58.95±7.08fghi
29	0.142±0.023a	0.603±0.047cdef	0.460±0.059cde	71.89±5.56f
30	0.134±0.023a	0.601±0.036cdef	0.467±0.014cd	58.20±3.97fghi
31	0.145±0.024a	0.604±0.012cde	0.469±0.052cd	71.39±5.00f
32	0.164±0.026a	0.654±0.023bc	0.491±0.020bc	113.30±20.42cd
33	0.143±0.024a	0.710±0.066ab	0.567±0.089ab	149.48±22.88a
34	0.144±0.020a	0.713±0.050ab	0.569±0.057ab	94.20±6.58e
35	0.156±0.025a	0.751±0.039a	0.595±0.025a	132.67±20.01b
36	0.145±0.024a	0.740±0.071a	0.596±0.087a	105.14±13.51de
37	0.128±0.023a	0.728±0.078ab	0.600±0.089a	125.78±10.23bc

注:表中数据为测量值的平均值±标准误差,同列不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

变化值相关性最大,与初始值相关性最小。说明在具体分析PPO活性与褐变关系时,可以利用PPO活性与褐变变化值来进行分析。

通过图1板栗品种的褐变度变化值与其PPO活性比较,发现随着板栗的褐变度的增大,PPO活性整体呈上升态势,板栗的PPO活性与其褐变度整体呈正相关。只有部分板栗品种PPO活性较大,但其褐变度却较小。在PPO活性小于 $20 U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,板栗褐变程度变化较小,在PPO活性超过 $20 U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,随着其活性增高,褐变的变化值开始加快,当PPO活

表3 板栗褐变与PPO活性相关性分析

Table 3 Correlation analysis of *Castanea mollissima* browning and PPO activity

	PPO活性	初始褐变度	褐变终值	变化值
PPO活性	1			
初始褐变度	0.114857	1		
褐变终值	0.885197	0.27328162	1	
变化值	0.893758	0.18030336	0.995443	1

性超过 $90 U \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,PPO活性与褐变度的关系开



始不太明显,但整体仍呈上升态势。这说明PPO活性影响着板栗的褐变度,活性越高,褐变度越大。

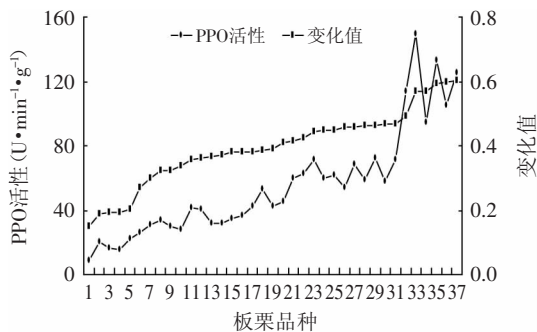


图1 板栗品种PPO活性与褐变变化值  
Fig.1 PPO activity and browning degree of *Castanea mollissima* varieties

### 2.4 板栗PPO活性聚类结果分析

板栗37个品种的PPO活性不同,利用PPO活性进行聚类分析,从分析结果看(图2),在聚类分为两类时,1~31号品种作为一类,32~37号品种为第二类;分为四类,分类结果为,第一类1~20(18号除外)号,第二类18、21~31号,第三类32、34、36号,第四类为33、35、37号;分为五类,分类结果为,第一类1~5号,第二类6~20(18号除外)号,第三类18、21~31号,第四类为32、34、36号,第五类为33、35、37号。

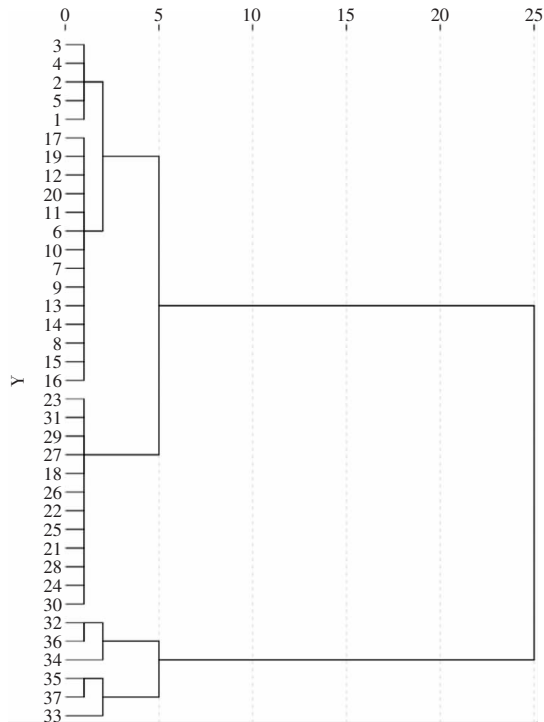


图2 板栗品种聚类分析树形图  
Table 2 Cluster analysis dendrogram of *Castanea mollissima* varieties

在几种分类结果中,分为5类时,各类数量较为均衡,较为合理,与其他几种分类方式相比,能更有效地将PPO活性进行区分。因此,各类PPO活性范围为,第

一类PPO活性为8.53~22.63  $U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}$ , 第二类26.46~45.61  $U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}$ , 第三类53.24~71.89  $U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}$ , 第四类94.20~113.30  $U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}$ , 第五类125.78~149.48  $U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}$ 。通过分类,不同类别褐变度都各自有一定的各自区间和重叠,说明PPO活性高低对板栗褐变起到了主要作用,随着活性增高,抗褐变能力越弱,但是其中也受到了其他底物的影响,随着PPO活性达到一定程度,对褐变的影响能力开始降低。

由此,发现1~5号褐变度变化小,为抗褐变能力强的品种,即‘黑山寨7号’、‘全椒3号’、‘燕红’、‘河北尊玉’、‘阳光3号’;而6~17、19~20号为较抗褐变品种;18、21~31号品种褐变变化程度中等;其余品种抗褐变能力弱。

### 3 结论与讨论

3.1 将不同板栗品种在相同的环境下进行褐变实验,并在420 nm下测量其吸光值,可有效考察不同品种的抗褐变能力,选取抗褐变的板栗品种。对于抗褐变能力不强的品种,在板栗加工过程中,为了防止其褐变,需要做更多的处理,或者辅助添加剂,从而增强抗褐变能力。通过本实验可大致将板栗抗褐变品种的褐变的变化值规范在420 nm下吸光变化值在0.35以下。

3.2 在测量板栗PPO活性实验中,以邻苯二酚为底物,在420 nm下测量5 min吸光度变化值,使各品种间变幅增大<sup>[15]</sup>,特别是对于高PPO活性的板栗品种,可使其分辨率有效提高,从而利于区分不同褐变程度的板栗的PPO活性。PPO活性影响着板栗的褐变,其褐变度整体随着板栗的PPO活性增大而增大,在进行板栗抗褐变品种优选或者品种改良时,需要将其PPO活性控制在第一类或者第二类范围以下,即至少在45.61  $U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}$ 以下,从而保证其在加工或者储藏中保持良好的品质。

3.3 板栗品种的整体PPO活性差异很大,如本研究中最高的PPO活性可达149.48  $U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}$ ,对于PPO活性高的品种,将对其加工产品的品质造成较大的影响,另外,板栗PPO活性受环境影响很大,储藏时间不同、不同外界环境因子或者处理方法等都会使得PPO活性产生差异。因此,为了进一步了解板栗褐变与PPO活性的差异,以便更好地进行品种优选和对已有品种进行改良,需要在未来进一步研究相关的分子鉴定技术。对于此方面的研究,可以借鉴对小麦的PPO活性分子鉴定的研究,确定影响PPO活性的基因的染色体<sup>[16-17]</sup>,利用相应的分子标记区分高低PPO活性等位基因,采用PCR技术判断PPO活性对褐变的影响<sup>[18-20]</sup>。

### 参考文献

[1] 王向红. 不同品种板栗的营养价值和品质分析[J]. 食品科技, 2004(2): 95-97.  
[2] 康明丽, 牟德华. 板栗加工褐变机理及防控方法进展研究[J]. 河北科技大学学报, 2003(24): 72-74.  
[3] 周家华, 常虹. 板栗多酚氧化酶的酶学特性[J]. 食品研究与

开发,2010(2):91-94.

- [4] 张宪政,陈凤玉,王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社,1994:94-97.
- [5] Park W J, Shelton D R, Peterson C J, et al. Variation in polyphenol oxidase and quality characteristics among hard white wheat and hard red winter wheat sample[J]. Cereal chem,1997, 74(1):7-11.
- [6] 帅玉忠,蒋世云,刘光东. 荔枝多酚氧化酶动力研究[J]. 山西食品工业,1999(2):2-4.
- [7] Demeke T, Morris C F, Campbell K G, et al. Wheat analytical polyphenol oxidase distribution and genetic mapping in three inbred line populations[J]. Crop Science,2001,41:1750-1757.
- [8] YI Jianyong, JIANG Bin, ZHANG Zhong, et al. Effect of ultrahigh hydrostatic pressure on the activity and structure of mushroom (*Agaricus bisporus*) polyphenoloxidase[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2012,60(2):593-599.
- [9] LIU Wei, LIU Jianhua, XIE Mingyong, et al. Characterization and high-pressure microfluidization-induced activation of polyphenol oxidase from Chinese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2009,57(12):5376-5380.
- [10] LIU Wei, LIU Jianhua, LIU Chengmei, et al. Activation and conformational changes of mushroom polyphenol oxidase by high pressure microfluidization treatment[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies,2009,10(2):142-147.
- [11] YANG Zhenfeng, CAO Shifeng, CAI Yuting, et al. Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest

- blue mold caused by *Penicillium expansum* in peach fruit[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies,2011,12(3):310-314.
- [12] 曾婷婷,张立彦,芮汉明. 板栗的酶促褐变特性及灭酶预处理研究[J]. 食品工业科技,2011(10):110-113.
- [13] 周丹,李颖佳,王建中. 板栗酶促褐变过程中多酚氧化酶和过氧化物酶活性的变化[J]. 食品科技,2014,39(6):47-50.
- [14] 李山云,隋启君,白建明,等. 抗机械损伤褐变马铃薯品种(系)的筛选[J]. 中国马铃薯,2010,24(4):193-196.
- [15] 杨朝柱,马传喜,司红起,等. 普通小麦多酚氧化酶活性的变异[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1713-1717.
- [16] 张立平,葛秀秀,何中虎,等. 普通小麦多酚氧化酶活性的QTL分析[J]. 作物学报,2002,31(1):7-10.
- [17] 孙家柱,赵军涛,刘冬成,等. 小麦籽粒多酚氧化酶(PPO)检测的方法的优化及其在育种中的应用[J]. 麦类作物学报,2012,32(3):448-453.
- [18] 孙道杰,何中虎,王辉,等. 小麦籽粒PPO活性分子标记研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(9):149-156.
- [19] He X Y, He Z H, Morris C F, et al. Cloning and phylogenetic analysis of polyphenol oxidase genes in common wheat and related species[J]. Genetic Resources and Crop Evolution,2009, 56:311-321.
- [20] He X Y, He Z H, Morris C F, et al. Allelic variation of polyphenol oxidase(PPO) genes located on chromosome 2A and 2D and development of functional markers for the PPO genes in common wheat[J]. Theoretical and Applied Genetics,2007,115: 47-58.

(上接第125页)

伤程度;而不同物料水分条件下,损伤淀粉含量与面条蒸煮品质表现出极大的相关性,损伤淀粉含量越少,面条损失率越小,吸水率越大,同时耐咀嚼性较强。

### 参考文献

- [1] 田晓红,汪丽萍,谭斌,等. 小米粉含量对小米小麦混合粉及其挂面品质特性的影响研究[J]. 中国粮油学报,2014,29(8):17-22.
- [2] Hatcher D W, Anderson M J. Effects of flour Particle size and starch damage on processing and quality of white salted noodles[J]. Cereal Chemistry,2002,79(1):64-71.
- [3] 王晓曦,杨玉民. 小麦粉中破损淀粉含量对面条食用品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报:自然科学版,2005,26(4):39-41.
- [4] 周有祥. 淀粉与碘液的呈色作用[J]. 中学生物教学,2009(5):37.
- [5] YU H, Bru O L, Dubat A. SD matic and Rice Flour[C]. Book of Abstracts of 14th ICC Cereal and Bread Congress and Forum on Fats and Oils, Beijing:2012:365-367.
- [6] Ayoub A, Liu Y K, et al. The effect of low shear on the development of fortified extruded rice products[J]. Starch/Starke, 2013:1-10.
- [7] Lorenz K, Kulp K, Every D, et al. Effect of Heat Damage on the Baking Quality of Starch Extracted from Wheat[J]. Starch/starke,1993,1(45):25-30.
- [8] 刘琳,洪静,郑学玲,等. 湿热处理改性损伤淀粉对面条品质影响[J]. 粮食与油脂,2014,27(7):14-16.
- [9] Heo S, Jeon S, Lee S. Utilization of Lentinus edodes mushroom-β-glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014(55):627-631.
- [10] Lawton B T, Henderson G A, Derlakt A E J, et al. The effect of extruder variables on gelatinization of cornstarch[J]. Journal of Food Engineering,1972,50(4):168-173.
- [11] Heo S, Lee S M, Shim J H, et al. Effect of dry- and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles[J]. Journal of Food Engineering,2013,116:213-217.
- [12] Chung H J, Cho A, Lim S T, et al. Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle[J]. LWT-Food Science and Technology,2012,47:342-347.
- [13] Mestres C, Collonna P, Buleon A. Characteristics of starch networks within rice flour noodles and mung bean starch vermicelli[J]. Journal of Food Science,1988,53:1809-1812.
- [14] Barak S, Mudgil D, Khatkar B S. Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies[J]. Food Science and Technology,2014,51(7):1342-1348.