

不同热处理对籼米及其半干粉品质的影响

Effects of different heat treatment on qualities of Indica rice grains and semidry-milled rice flours

任梦影¹ 周素梅² 佟立涛² 易翠平¹

REN Meng-ying¹ ZHOU Su-mei² TONG Li-tao² YI Cui-ping¹

(1. 长沙理工大学化学与生物工程学院, 湖南长沙 410114; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193)

(1. School of Chemistry and Biological Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Institute of Food Science and Technology CAAS, Beijing 100193, China)

摘要:为考察不同热处理对籼米籽粒及其半干粉品质的影响,采用不同条件热处理籼米籽粒,分析米粒表面裂缝增加程度与其内部水分的关系,并进行半干法制粉(含水率为 30%),测定不同热处理对大米粉微生物、破损淀粉及白度的影响。结果表明,热处理后的米粒,表面裂缝开始明显增加时米粒内部水分均小于 8%;3 种热处理(60 °C 90 min, 120 °C 15 min 及 180 °C 1 min)后的大米调制粉微生物被有效抑制,且超高温短时(120 °C 15 min, 180 °C 1 min)抑菌效果优于低温长时(60 °C 90 min),破损淀粉、白度及糊化特性与干磨粉差异显著($P < 0.05$),更接近湿磨粉。通过测定米粒内部水分可判断米粒表面裂缝增加的程度,且热处理大米籽粒进行半干法制粉其粉质特性与湿磨粉相当。

关键词:热处理;半干法制粉;裂缝;水分;微生物;破损淀粉;白度

Abstract: To investigate the influences of different heat treatment on attributes of Indica rice grains and semidry-milled rice flours, rice grain was treated with different heat treatments. The relationship between the apparent cracks of rice grain and its moisture content were analyzed. And then made the semidry-milled rice flour after heat treatment of rice grains, the changes of microbial decomposition, damaged starch content and whiteness in rice flours were determined. The results showed that the water content when the surface fissures of rice grains became increased was less than 8%. The semidry-milled rice flours after three heat treatment methods (60 °C 90 min, 120 °C 15 min and 180 °C 1 min) were screened, and its microbial content was effectively inhibited. However, high-temperatures and short-time (120 °C 15 min, 180 °C 1 min) of heat processing showed

a significant faster effect than the low-temperatures and long-time (60 °C 90 min) did, damaged starch content and whiteness of rice flours were close to wet-milling. Therefore the degree of increase of grains surface fissures could be judged by moisture content measurement, and its semidry-milled rice flours can provide similar properties with wet-milled rice flours.

Keywords: heat treatment; semidry-milling; fissures; moisture content; microbial decomposition; damaged starch content; whiteness

籼米是中国南方地区主要粮食作物^[1],以籼米为主要原料加工成米粉制品在湖南、四川及云南等地区有着非常广阔的市场^[2]。由于籼米粉的粉质特性会直接影响其粉制品品质特性,因此研究籼米粉加工适用性具有重要价值。以籼米为原料的传统制粉工艺主要有湿磨磨浆工艺和干法磨粉工艺。湿法磨浆工艺在磨浆前籼米需 24 h 浸泡,使其充分软化,不仅会浪费大量的水资源及营养物质,而且长时间浸泡大米会导致杂菌大量生长进而影响产品质量安全、稳定性及风味特性^[3-4]。虽然传统干法磨粉在磨粉过程中节约大量水资源并保证了产品的质量,但是由于磨粉仪器产生的机械能和热能导致大米粉中破损淀粉增多,并不适用于米粉制品的生产^[5]。

为了降低湿法磨浆和干法磨粉对大米粉品质特性的负面影响, Tong 等^[6]选用半干法制粉工艺进行磨粉,结果表明其大米粉白度和破损淀粉与湿法磨浆的大米粉无显著差异,但大米经长时间浸泡同样造成微生物杂菌大量生长进而影响大米粉及其粉制品质量安全。于是 Tong 等^[7]又采用热风(40~60 °C, 10~30 min)处理籼米和糯米籽粒,通过增加米粒表面裂缝缩短了半干法制粉工艺中的润米时间,而且半干法制备的大米粉品质特性与湿磨粉无显著差异。但是热处理辅助半干法制粉工艺对其粉质中的微生物变化并不清楚,裂缝开始明显增加的水分及超高温对大米粉品质特性的具

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费资助(编号:201303070)

作者简介:任梦影,女,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:易翠平(1973—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: yicp963@163.com

收稿日期:2017-04-13

体影响尚未见报道。

因此,本试验拟采用不同工艺预处理大米籽粒,通过裂缝的观察、水分的测定,确定裂缝开始明显增加时水分值及筛选出裂缝开始明显增加的籼米进行半干法制粉,并测定大米粉微生物的变化、破损淀粉及白度,旨在通过水分测定判断米粒表面裂缝增加程度,缩短半干法制粉工艺润米时间,为相关企业及科学研究提供便利,同时也能够为改善大米粉品质质量安全提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

原料籼米:含水率 13.41%,湖南金健米业股份有限公司提供。

1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱:GZX-9030MBE 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

体视显微镜:SMZ800N 型,日本尼康株式会社;

胶体磨:JMS-30A 型,廊通机械有限公司;

旋风磨(叶轮 10 000 r/min、滤网 0.5/1.0 mm):CT410 型,福斯赛诺分析仪器(苏州)有限公司;

紫外可见分光光度计:TU-1900 型,北京普析通用仪器有限责任公司;

冷冻干燥机:LJGJ-25C 型,北京四环科学仪器厂有限公司;

色彩色差仪:D25LT 型,德国 HunterLab 公司;

快速黏度测定仪:Super-3 型,Newport scientific 公司。

1.3 方 法

1.3.1 原料的热处理 准确称取大米 100 g,铺成 0.5 cm 厚的薄层于托盘中,置于电热鼓风干燥箱中进行热处理。热处理温度分别为 60, 120, 180 °C,在每个温度下处理 1~150 min。

1.3.2 裂缝观察 参照 Wu 等^[8]的方法用立式显微镜观察。如果米粒表面出现≤3 个裂缝被视作轻度裂缝,反之被视作重度裂缝^[9]。

1.3.3 水分测定 按 GB/T 5009.3—2016 执行。

1.3.4 大米粉的制备

(1) 湿磨:称取 100 g 原料于 200 mL 蒸馏水中,室温浸泡 24 h,在胶体磨中磨浆。米粉浆冷冻干燥后,过筛(80 目),4 °C 保存备用^[10]。

(2) 干磨:称取 100 g 大米,通过旋风磨粉碎,过筛(80 目),4 °C 保存备用。

(3) 半干法磨粉:称取裂缝开始明显增多的籼米 100 g,以目标水分 30%,参照 Tong 等^[7]的方法润米 20 min,进行半干法制粉,同时以未处理原料作为空白对照。半干法制备的大米粉分为两组,一组用于微生物等指标测定,另一组于烘箱中 40 °C 烘至水分为 5% 左右,装于密封袋中 4 °C 保存,用于测定白度及破损淀粉。

1.3.5 大米粉指标的测定

(1) 微生物的测定:菌落总数测定按 GB/T 4789.2—

2016 执行;大肠菌群测定按 SN/T 0169—2010 执行;霉菌及酵母菌测定按 GB/T 4789.15—2016 执行。

(2) 破损淀粉的测定:采用 Megazyme 试剂盒测定^[6]。

(3) 白度的测定:参照亨特(Hunter)完全白度公式来计算大米粉白度^[11]。

$$H = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}, \quad (1)$$

式中:

L^* ——亨特(Hunter)明度指数;

a^* ——亨特色品指数红绿值;

b^* ——亨特色品指数黄蓝值;

H ——亨特完全白度,值越大表示白色程度越高。

(4) 糊化特性的测定:采用黏度仪测定大米粉糊化特性。称取样品 3.0 g(水分含量 12%),加入蒸馏水 25 mL,制备测试样品。在搅拌过程中,罐内温度变化:50 °C 保持 1 min;以 12 °C/min 速率上升到 95 °C(3.75 min);95 °C 保持 2.5 min,以 12 °C/min 降到 50 °C(3.75 min);50 °C 保持 1.4 min。搅拌器在起始 10 s 内转动速度为 960 r/min,之后保持在 160 r/min,黏度单位为 BU。

2 结果与分析

2.1 对米粒表面裂缝变化的影响

裂缝是衡量米粒吸水速率快慢的重要指标,米粒的表观裂缝越多,吸水越快^[12],润米时间越短。未处理及不同热处理条件下的米粒表观裂缝结果(图 1)表明,未处理的米粒表面光滑,晶莹剔透且无裂纹,籼米籽粒裂缝随着处理时间的增加而增加,这与 Wu 等^[8]报道的热处理时间越长,米粒表观裂缝越明显是一致的。其中 60 °C 90 min, 120 °C 15 min 及 180 °C 1 min 热处理籼米籽粒后的表面裂缝为重度裂缝^[9],说明高温处理能有效增加籼米籽粒表观裂缝。这可能是高温促进籼米籽粒内部水分迁移,而籼米籽粒表观裂缝的形成与米粒内部水分吸收和扩散密切相关^[13]。从而可推断,通过热处理能够促使籼米籽粒表观裂缝的形成。

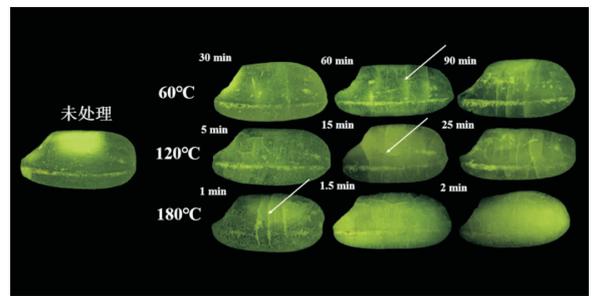


图 1 不同热处理对籼米籽粒表面裂缝的影响

Figure 1 Effects of different heat treatment conditions on surface fissures of Indica rice grain

2.2 对原料水分的影响

热处理过程中,米粒内部水分吸收和扩散可导致米粒表观裂缝的形成^[13]。由图 2 可知,米粒内部水分随着热处理时间及温度的增加而降低,这与米粒表观裂缝增加呈负相关(根据图 1)。其中,在 180 °C 条件下,米粒内部水分随着处理时间的延长而显著降低,说明热处理温度越高,米粒内部水

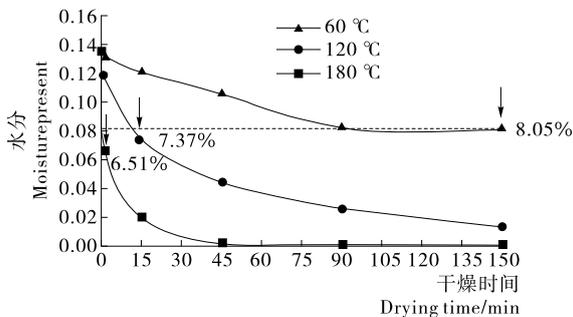


图 2 不同热处理对大米籽粒水分的影响

Figure 2 Effects of different heat treatment conditions on moisture present of rice grain

分扩散越快,这与图 1 热处理温度越高,米粒表观裂缝越多的结果是一致的。根据图 1 的研究结果,米粒表观裂缝开始明显增加的热处理温度和时间分别为 60 °C 90 min, 120 °C 15 min 及 180 °C 1 min, 而其对应的水分分别是 8.05%, 7.37%, 6.51%, 可以看出当米粒内部水分被干燥到 8% 以下时,米粒表观裂缝开始明显增加。说明可以通过测定米粒内部水分判断米粒表观裂缝增加的程度。

2.3 对大米粉微生物变化的影响

谷物中菌落总数的多少反映了原料被污染的程度,如果在原料中被大量检测出,则原料的安全及质量指标会显著降低^[14]。大肠杆菌是一种很容易导致食品污染的细菌,特别是致病性大肠杆菌可通过污染饮食造成疾病的暴发^[15];霉菌是谷物中最重要的病原微生物,可以直接或间接利用原料中的营养物质进行代谢,导致原料品质及工艺指标发生变化,甚至有些霉菌会产生毒素(如:黄曲霉毒素、毒枝菌素)危害人类的健康^[16],且有些毒素具有较强的耐热性,在食品加工过程中很难被抑制^[17]。

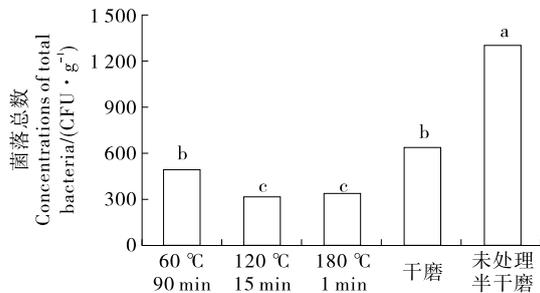
由图 3 可知,相比于未处理的半干粉,热处理后的半干粉菌落总数、大肠杆菌及霉菌均显著降低,且接近干磨粉,说明原料在半干法磨粉前进行热处理对其大米粉中微生物影响显著,可能是热处理可降低原料中的水分(根据图 2 结果水分均小于 8%),同时超高温(120, 180 °C)会破坏微生物的细胞及其蛋白^[18-19],进而抑制微生物的生长繁殖。

经热处理的大米粉中,超高温短时处理(120 °C 15 min, 180 °C 1 min)抑菌效果优于低温长时处理(60 °C 90 min),其中 120 °C 15 min, 180 °C 1 min 处理后的半干粉中大肠杆菌[图 3(b)]甚至检测不出,180 °C 1 min 处理后的半干粉中霉菌[图 3(c)]也未检测到。

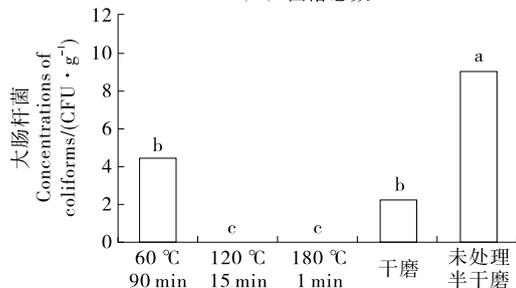
相比于干磨粉,未处理原料进行半干法磨粉后菌落总数、大肠杆菌及霉菌显著增加,说明原料中水分及润米时间对其微生物影响显著。因此原料在半干法磨粉前进行热处理,可有效抑制原料中的杂菌,进一步保证半干粉及其米粉制品质量安全。

2.4 对大米粉破损淀粉的影响

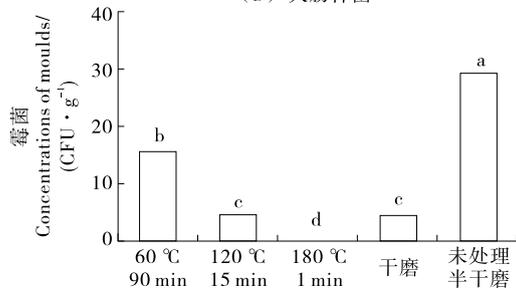
破损淀粉是评价大米粉品质的重要指标之一,破损淀粉值越低,鲜湿米粉品质特性越易被消费者所接受。由图 4 可知,与干磨粉相比,热处理后的调制粉中破损淀粉值显著降



(a) 菌落总数



(b) 大肠杆菌

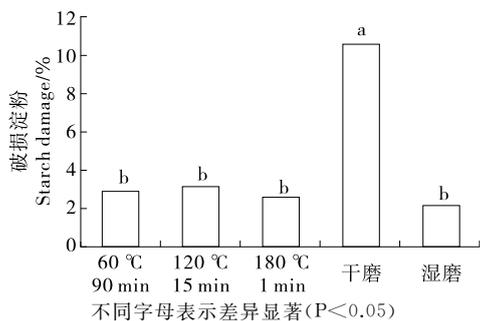


(c) 霉菌

不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 3 不同热处理对大米粉中菌落总数、大肠杆菌和霉菌的影响

Figure 3 Effects of different heat treatment conditions on survival concentrations of total bacteria, moulds and coliforms in rice flours



不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 4 不同热处理大米对大米粉破损淀粉的影响

Figure 4 Effects of different heat treatment conditions on damaged starch in rice flours

低,与湿磨粉无显著差异 ($P > 0.05$)。同样, Tong 等^[7]研究发现通过增加米粒表观裂缝可显著降低大米粉破损淀粉值,这是因为热处理可增加米粒表观裂缝(见图 1),使得糙米籽粒在浸泡过程中变得更加酥软,削弱了磨粉仪器对糙米籽粒机械损伤,因此降低大米粉中破损淀粉值^[6]。说明合适的热处理可改善调质大米粉品质特性,同时减小磨粉仪器对大米粉中淀粉的破坏。

2.5 对大米粉白度的影响

大米粉的白度是评价鲜湿米粉品质特性的重要指标之一,将直接影响鲜湿米粉外观品质。由图5可知,干法磨粉白度最低,这是因为干法磨粉过程中因磨粉仪器产生较多的热量促使大米粉中酚类等物质氧化导致^[20]。3种热处理籼米籽粒后的调质粉白度明显高于干磨粉($P<0.05$),接近湿磨粉,可能是调制后的大米比较酥软,削弱了磨粉机对大米粉产生的热能和机械损伤,其中60℃ 90 min热处理籼米籽粒其调制粉白度与湿磨粉白度无显著差异($P>0.05$),而120℃ 15 min,180℃ 1 min半干粉白度略有降低,这是由于籼米籽粒经高温长时间处理可导致美拉德非酶促褐变的发生^[21-22]。说明合适的热处理籼米籽粒不仅可改善大米粉粉质特性,而且可以减小磨粉仪器对大米粉白度的破坏。

2.6 对大米粉糊化特性的影响

由表1可知,5种大米粉的糊化温度并没有显著性差异,湿磨粉的峰值黏度、最低黏度及最终黏度要高于干磨粉,这一结果与蔡永艳等^[23]报道的一致。这可能是干磨粉含有较多的破损淀粉,因此大米粉中淀粉颗粒较大,而相对表面积

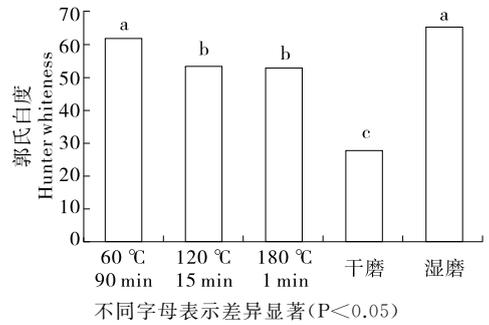


图5 不同热处理对大米粉白度的影响

Figure 5 Effects of different heat treatment conditions on Hunter whiteness in rice flours

较小,阻碍了水分子的移动扩散,其黏度较低^[24]。

经不同热处理的调质粉最低黏度、最终黏度显著高于干磨粉,其中60℃ 90 min,120℃ 15 min 2种调制粉更接近湿磨粉。不同热处理调质粉的回生值接近湿磨,且略低于干磨粉。回生值反映了在冷却降温过程中糊化样品黏度增加程度,其值越低则大米粉冷糊稳定性越好^[25]。

表1 不同热处理对大米粉糊化特性的影响

Table 1 Effects of different heat treatment conditions on pasting properties of rice flours

处理	糊化温度/°C	峰值黏度/BU	最低黏度/BU	最终黏度/BU	回生值/BU	崩解值/BU
湿磨	80.5±0.9 ^a	440.7±16.4 ^{bc}	371.5±9.4 ^{ab}	611.2±26.4 ^{bc}	170.5±10.0 ^a	69.3±7.1 ^a
干磨	79.6±1.7 ^{ab}	342.9±8.9 ^d	305.8±19.4 ^c	537.6±10.6 ^d	194.7±12.4 ^a	77.1±3.6 ^a
60 °C 90 min	78.3±0.0 ^{ab}	471.8±24.9 ^{ab}	396.5±14.3 ^{ab}	634.1±10.8 ^b	162.3±14.1 ^a	75.3±3.5 ^a
120 °C 15 min	77.2±0.7 ^b	499.7±15.0 ^a	422.1±12.6 ^a	682.3±4.1 ^a	182.5±10.9 ^a	77.8±2.5 ^a
180 °C 1 min	79.7±0.5 ^{ab}	395.6±9.3 ^{cd}	331.2±9.2 ^c	571.8±15.7 ^{cd}	176.2±10.3 ^a	64.4±0.1 ^a

† 不同小写字母表示同列的显著性差异($P<0.05$)。

3 结论

半干法磨粉是一种新型大米制粉方式,热处理辅助半干法磨粉在现代米粉加工企业中的应用尚未见报道。这种制粉方式不仅可以有效缩短湿磨制粉的浸泡时间、减少杂菌污染,品质又能接近湿磨米粉,为湿法制粉工艺节能减排、保障食用和安全品质提供一条新的思路。但是本研究仅针对一个大米品种,是否具有普遍意义尚需要进一步扩大品种试验,而且在产品中的具体应用效果亦需要进一步论证。

参考文献

[1] 李光磊, 张国丛, 刘本国, 等. 蒸汽爆破处理对籼米淀粉分子结构的影响[J]. 现代食品科技, 2014(7): 136-141.
 [2] 李里特, 成明华. 米粉的生产与研究现状[J]. 食品与机械, 2000(3): 10-12.
 [3] 佟立涛, 周素梅, 林利忠, 等. 常德鲜湿米粉发酵过程中的菌群变化[J]. 现代食品科技, 2013(11): 2 616-2 620.
 [4] 易翠平, 任梦影, 周素梅, 等. 纯种发酵对鲜湿米粉品质的影响[J]. 食品科学, 2017(4): 20-25.
 [5] KUMAR C S, MALLESHI N G, BHATTACHARYA S. A Comparison of selected quality attributes of flours: effects of dry and wet grinding methods[J]. International Journal of Food

Properties, 2008, 11(4): 845-857.
 [6] TONG Li-tao, GAO Xiao-xu, LIN Li-zhong, et al. Effects of semidry flour milling on the quality attributes of rice flour and rice noodles in China[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 62: 45-49.
 [7] TONG Li-tao, ZHU Rui-zhen, ZHOU Xian-rong, et al. Soaking time of rice in semidry flour milling was shortened by increasing the grains cracks[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 74: 121-126.
 [8] WU Jian-yong, CHEN Jun, LIU Wei, et al. Selective peroxidase inactivation of lightly milled rice by superheated steam[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(3): 623-630.
 [9] COURTOIS F, FAESSEL M, BONAZZI C. Assessing breakage and cracks of parboiled rice kernels by image analysis techniques[J]. Food Control, 2010, 21(4): 567-572.
 [10] 李里特, 鲁战会, 闵伟红, 等. 自然发酵对大米理化性质的影响及其米粉凝胶机理研究[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(12): 1-6.
 [11] 朱克瑞, 林金剑, 钱海峰, 等. 混合粉中原料粉含量与混合粉的亨特白度关系分析[J]. 食品工业科技, 2008, 29(3): 66-69.
 [12] 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(1): 213-217.
- [13] CNOSSEN A G, SIEBENMORGEN T J. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering; Effect on drying rate [J]. *Transactions of the Asae*, 2002, 43(6): 1 661-1 667.
- [14] HU Yue-ming, NIE Wei, HU Xin-zhong, et al. Microbial decontamination of wheat grain with superheated steam [J]. *Food Control*, 2016, 62: 264-269.
- [15] 石慧, 陈卓逐, 阙建全. 大肠杆菌在食品加工贮藏中胁迫响应机制的研究进展[J]. *食品科学*, 2016(9): 250-257.
- [16] 张燕燕, 蔡静平, 蒋澎. 储粮微生物危害检测技术研究进展[J]. *食品与机械*, 2013, 29(6): 267-270.
- [17] LACA A, MOUSIA Z, DIAZ M, et al. Distribution of microbial contamination within cereal grains [J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 72(4): 332-338.
- [18] PIPER P W. Molecular events associated with acquisition of heat tolerance by the yeast *Saccharomyces cerevisiae*[J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 1993, 11(4): 339-355.
- [19] WEITZEL G, PILATUS U, RENSING L. The cytoplasmic pH, ATP content and total protein synthesis rate during heat-shock protein inducing treatments in yeast [J]. *Experimental Cell Research*, 1987, 170(1): 64-79.
- [20] LU Z H, LI L T, MIN W H, et al. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodles [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2005, 40(9): 985-992.
- [21] GRAS P W, BANKS H J, BASON M L, et al. A quantitative study of the influences of temperature, water activity and storage atmosphere on the yellowing of milled rice [J]. *Journal of Cereal Science*, 1990, 12(2): 193-201.
- [22] SOPONRONNARIT S, SRISUBATI N, YOOVIDHYA T. Effect of temperature and relative humidity on yellowing rate of paddy [J]. *Journal of Stored Products Research*, 1998, 34(4): 323-330.
- [23] 蔡永艳. 米粉干法生产工艺及品质改良的研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 61.
- [24] 蔡永艳, 陈洁, 王春, 等. 米粉干法生产工艺的研究 [J]. *河南工业大学学报: 自然科学版*, 2011, 32(1): 39-42.
- [25] 孟亚萍. 挤压米粉丝加工及品质改良技术研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2015: 31.

(上接第 106 页)

- [2] 徐少平, 刘小平, 李春泉, 等. 基于区域最大相似度的快速图像分割算法 [J]. *光电子·激光*, 2013(5): 990-998.
- [3] 卢夏衍, 李昕, 冉鹏, 等. 温室幼苗图像的多算法融合区域生长分割算法研究 [J]. *中国农机化学报*, 2016, 37(6): 89-93.
- [4] KANG Chung-chia, WANG Wen-June, KANG Chung-hao. Image segmentation with complicated background by using seeded region growing [J]. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 2012, 66(9): 767-771.
- [5] 曹军, 许雷, 张怡卓, 等. 实木地板图像差分 and 形态学分割算法研究 [J]. *安徽农业科学*, 2013(28): 11 403-11 406.
- [6] 贺振东, 王耀南, 刘洁, 等. 基于背景差分的高铁钢轨表面缺陷图像分割 [J]. *仪器仪表学报*, 2016, 37(3): 640-649.
- [7] 胡敏, 蔡慧芬. 基于形态学标记连通的分水岭图像分割 [J]. *电子测量与仪器学报*, 2011, 25(10): 864-869.
- [8] 杨慧斌, 闫娟. 基于 LabVIEW 的食品包装喷码视觉检测方法 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(4): 123-126.
- [9] 何小虎. 基于计算机视觉的啤酒瓶空瓶检测图像采集技术 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(5): 105-107.
- [10] 姒绍辉, 胡伏原, 顾亚军, 等. 一种基于不规则区域的高斯滤波去噪算法 [J]. *计算机科学*, 2014(11): 313-316.
- [11] RAFAEL C Gonzalez, RICHARD E Woods. 数字图像处理 [M]. 2 版. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [12] 杨单. 基于图像差分特征的彩色图像差分预测与信息提取算法研究 [J]. *计算机科学*, 2015(1): 308-311.
- [13] 彭向前. 产品表面缺陷在线检测方法研究及系统实现 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008: 45-48.
- [14] 吴志川, 彭国华. 基于灰色聚类决策的图像分割性能评价 [J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(19): 197-200.

(上接第 148 页)

- [20] CHEUNG L M, CHEUNG P C K, OOI V E C. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts [J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(2): 249-255.
- [21] ARDESTANI A, YAZDANPARAST R. Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts [J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(1): 21-29.
- [22] SOONG Y Y, BARLOW P J. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds [J]. *Food Chemistry*, 2004, 88(3): 411-417.
- [23] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄. 草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究 [J]. *食品科学*, 2011, 32(23): 130-133.
- [24] 李斌, 高凝轩, 刘辉, 等. 大孔树脂纯化黑果腺肋花楸多酚的工艺优化 [J]. *食品科学*, 2016, 37(16): 69-74.
- [25] 周方, 赵宏飞, 杨洋. 高丛蓝莓品种花青素含量与抗氧化能力比较 [J]. *西南林业大学学报*, 2011, 31(5): 53-57.
- [26] 姚利阳, 张宇, 张立宇, 等. 黑果花楸与 2 种小浆果中黄酮类物质及多糖含量比较 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 41(1): 122-124.
- [27] 张妍妍, 李静, 卢慧颖, 等. 哈尔滨市主栽花楸果实主成分测定分析 [J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(20): 204-205, 342.
- [28] 陈梦微, 邓群仙, 张金容, 等. 葡萄不同品种和组织中白藜芦醇含量及其抗氧化活性分析 [J]. *食品与机械*, 2017, 33(1): 150-154.
- [29] 马杰, 孙勃, 薛生玲, 等. 豌豆尖主要营养成分、生物活性物质及抗氧化能力分析 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(4): 47-51.
- [30] 焦扬, 宋海, 张勇, 等. 3 种野生浆果果酒中活性物质及抗氧化活性比较 [J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(1): 60-65.
- [31] OSZMIANSKI J, WOJDYLO A. *Aronia melanocarpa* phenolics and their antioxidant activity [J]. *European Food Research and Technology*, 2005, 221(6): 809-813.