

# 不同前处理对糙米发芽的影响

程威威, 吴跃, 周婷, 林亲录\*

(中南林业科技大学食品科学与工程学院, 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 湖南长沙 410004)

**摘要:**针对发芽糙米生产中发芽时间过长效率较低等现状,研究了不同前处理对糙米发芽的影响,旨在探究提高糙米发芽率的新方法。以普通早籼米为原料,在发芽前对糙米分别进行短时浸泡、超声波、臭氧、搅拌浸泡及微波五种前处理,研究其对五个发芽时间点(6、8、10、12、14h)发芽率和 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)含量的影响。结果表明,与无前处理的糙米相比,上述五种处理方法均能显著提高糙米发芽率和GABA含量( $p < 0.05$ ),其中对糙米发芽率的平均影响程度:臭氧处理(22.2%)>搅拌浸泡处理(15.0%)>超声处理(14.8%)>微波处理(11.3%)>短时浸泡处理(10.3%);而对糙米中GABA含量的影响程度:搅拌浸泡处理(11.59mg/100g)>臭氧处理(6.08mg/100g)>超声处理(5.63mg/100g)>微波处理(4.9mg/100g)>短时浸泡处理(2.95mg/100g)。从总体来看,臭氧和搅拌浸泡处理对发芽糙米生产最有利,同时,成本低、耗能少且易于操作,因此,可在生产中尝试应用。

**关键词:**糙米,前处理,发芽率, $\gamma$ -氨基丁酸

## Effect of different pretreatment on the germination of brown rice

CHENG Wei-wei, WU Yue, ZHOU Ting, LIN Qin-lu\*

(Faculty of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, National Engineering Laboratory for Rice and By-product Deep Processing, Changsha 410004, China)

**Abstract:** Because of the long production time and the low production efficiency in the production of germinated brown rice. The influence of different pretreatments on the germination of brown rice was studied to find out the new ways of improving the germination rate of brown rice. Early indica rice as material, five kinds of processing (short-term soaking, ultrasound, stirring-soaking, ozone, and microwave) were applied to study the influence on the germination rate and GABA content in different germination time (6, 8, 10, 12, 14h). The results showed that, compared with the brown rice of non-treatment, the five kinds of pre-processing methods can significantly improve the germination rate and GABA content of brown rice ( $p < 0.05$ ). The influence of germination rate of brown rice: ozone (22.2%) > stirring and soaking (15%) > ultrasound (14.8%) > microwave (11.3%) > short-term soaking (10.3%), and the influence of GABA content of brown rice: stirring and soaking (11.59mg/100g) > ozone (6.08mg/100g) > ultrasound (5.63mg/100g) > microwave (4.9mg/100g) > short-term soaking (2.95mg/100g). As a result, ozone and stirring-soaking processing were the most advantageous for the production of germinated brown rice. Meanwhile, the two kinds of processing have the low cost, less energy consumption and are easy to implement, so they tried to have an application in production.

**Key words:** brown rice; pretreatment; germination rate;  $\gamma$ -Aminobutyric

中图分类号: TS213.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)12-0099-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.12.012

我国稻谷年产量约2亿吨,占世界总产量的37%,有着丰富的稻米资源,但稻米的精深加工导致可食用粮食资源浪费10%~20%。因此,大力开发稻米及副产物深加工产品是提高我国稻米资源利用率的有效途径,对我国粮食生产的可持续发展具有非常重要的意义。发芽糙米作为一种新型的功能性食品应运而生。然而,我国发芽糙米生产效率不高,产业化依

赖性强,市场价格昂贵,研究过于单一,缺乏引导性,故难以推广<sup>[1]</sup>。因此,研究加快糙米发芽的方法以加大生产效率,减小生产成本具有重要的现实意义。

目前,发芽糙米的生产工艺多从浸泡时间、浸泡温度、发芽时间、发芽温度和浸泡液的选择进行优化<sup>[2-3]</sup>,浸泡和发芽时间均在24h以上,生产发芽糙米所用时间较长,缺乏成形的专业设备,限于产业化生产,生产成本较高,故价格较贵,消费群体有限。而近几年大量的研究围绕GABA富集工艺<sup>[4-6]</sup>、发芽糙米副产品生产工艺<sup>[7]</sup>及发芽过程中一些功能营养成分的变化规律<sup>[8]</sup>等,而对降低发芽糙米生产成本的工艺研究较少。提高生产效率是降低生产成本的首要方法,包括化学法和物理法,考虑食品安全及未来发芽器

收稿日期: 2013-09-13 \* 通讯联系人

作者简介: 程威威(1988-),男,硕士研究生,研究方向:食品质量控制与安全检测。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD34B0202);国家自然科学基金(31050012)。

研发需要,化学法<sup>9-10</sup>虽研究较多,但难以普及和实现自动化。如何采用物理法有效提高糙米发芽率鲜有报道。因此,本文拟研究一些物理处理法对(短时浸泡处理、超声波处理、臭氧处理、搅拌浸泡处理及微波处理)糙米发芽率的影响,同时比较处理前后GABA含量变化,以期发芽糙米的高效生产及小型发芽器的研发提供理论依据和技术参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

稻谷 品种为籼稻黄华粘,取自湖南金健米业有限公司,经分样筛去除杂物后,放置于4℃冰柜中,其含水量为11.72%,千粒重为18.48;乙酸钠、乙酸 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;γ-氨基丁酸标品 纯度≥99%,美国Sigma公司;邻苯二甲醛(OPA) 美国Sigma公司;乙腈 色谱纯,美国Tedia天地试剂公司;甲醇 色谱纯,韩国SK公司;2-巯基乙醇 天津市光复精细化工研究所

LC-20型高效液相色谱分析仪( SPD-20A紫外检测器) 日本岛津公司;JLGJ4.5型检验砬谷机 浙江台州粮仪厂;FM-501型多功能活氧机 浙江百悦康臭氧设备有限公司;RAZ-128A型人工气候箱 宁波江南仪器厂;L530型台式低速离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;QE-200g型高速万能粉碎机 浙江屹立工贸有限公司;ZHWY-2102C型恒温培养振荡器 上海智城分析仪器制造有限公司;KQ-50B型超声波清洗器 杭州康纳科技有限公司;G80F23CN3P-Q5(R0)型微波炉(输入功率1300W,炉内体积:23L,工作频率2450MHz) 格兰仕微波炉电器有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 稻谷→糙米→筛选→人工精选→全胚糙米→清洗→前处理→发芽→灭酶→干燥→包装。

1.2.2 糙米的制备 从冰柜中取出除杂后的稻谷,使用砬谷机脱壳,并除去杂质、霉粒、无胚粒、不完整粒等得到全胚糙米,密封置于4℃中冰箱中备用。

#### 1.2.3 糙米的前处理

1.2.3.1 短时浸泡处理 根据王维坚<sup>[1]</sup>对糙米浸泡过程中吸水规律的分析,选取浸泡处理1、2、3h进行发芽实验(浸泡液为纯水),浸泡温度为37℃,以无浸泡处理的糙米发芽为对照,在达到相应发芽时间后,计算发芽率并将样品于70℃烘箱中干燥3h,置于4℃冰箱中备用。

1.2.3.2 超声波处理 参考史锋厚<sup>[2]</sup>的结论,将超声波频率定为59kHz,选取超声波处理时间10、20、30min进行发芽实验,以超声处理的糙米发芽为对照,在达到相应发芽时间后,计算发芽率并将样品于70℃烘箱中干燥3h,置于4℃冰箱中备用。

1.2.3.3 臭氧处理 参考江天宝<sup>[3]</sup>的结论,将臭氧发生器导气管口的臭氧气体浓度稳定维持在25μL/L,选取臭氧处理时间10、20、30min进行发芽实验,以无臭氧处理的糙米发芽为对照,在达到相应发芽时间后,计算发芽率并将样品于70℃烘箱中干燥3h,置于4℃冰箱中备用。

1.2.3.4 搅拌浸泡处理 将糙米放于装有水的三角瓶中,然后水浴振荡10、20、30min,以无搅拌浸泡处理的糙米发芽为对照,取出进行发芽实验,在达到相应发芽时间后,计算发芽率并将样品于70℃烘箱中干燥3h,置于4℃冰箱中备用。

1.2.3.5 微波处理 将糙米放于微波炉中,灭菌模式下处理5、10、15s,取出进行发芽实验,以微波处理的糙米发芽为对照,在达到相应发芽时间后,计算发芽率并将样品于70℃烘箱中干燥3h,置于4℃冰箱中备用。

1.2.4 糙米发芽条件 根据文献报道及前期预实验,固定植物生长所必需的几个因素(发芽温度:37℃;湿度:95%RH;光强:0lx、定时换气:10min/次/1.5h)。

1.2.5 发芽率的测定 设四个平行,每个平行100粒米,发芽6、8、10、12、14h后从人工气候箱中取出,计算糙米发芽数。芽长达到0.5~1mm为发芽终点。

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{在设定发芽时间糙米发芽数}}{\text{每个平行供试糙米数}} \times 100$$

1.2.6 γ-氨基丁酸的HPLC分析 参考汪阿虎<sup>[4]</sup>的方法,并做适当调整。精确称取3g过100目筛的发芽糙米粉置于三角瓶中,加入50mL 60%(v/v)的乙醇水溶液,水浴振荡3h,4000r/min离心20min,上清液移入茄形瓶中,重复上述操作,合并上清液,浓缩至10mL。取20μL浓缩液与OPA衍生液反应,静置2min后,过0.45μm滤膜,取10μL进样。以GABA标准溶液浓度为横坐标,峰面积为纵坐标,绘制标准曲线,如图1所示。

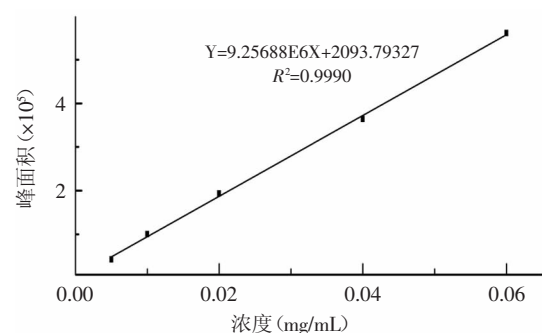


图1 GABA含量标准曲线

Fig.1 Standard curve of γ-aminobutydcacid content

色谱条件:色谱柱:intertsil ODS-C<sub>18</sub>柱(4.6×250mm,5μm)。流动相:流动相A为25mmol/L的乙酸钠,用4%的乙酸调pH至6.20±0.05;流动相B为纯乙

表1 梯度洗脱程序表

Table 1 Gradient elution program

时间 (min)	流速 (mL/min)	A (%)	B (%)
0	1.0	90	10
30	1.0	40	60
35	1.0	40	60
40	1.0	90	10
45	1.0	90	10

注:A表示流动相A所占的体积比;B表示流动相B所占的体积比。

睛。流速为1mL/min,梯度洗脱程序如表1所示,柱温40°C,进样量10 $\mu$ L,检测波长:332nm。

### 1.3 数据分析

采用SPSS 17.0软件对数据结果进行统计分析,数据结果表示为平均值 $\pm$ 标准误(SE)。采用LSD法对平均数间进行差异显著性检验,若 $p < 0.05$ 差异显著, $p > 0.05$ 无显著性差异。Origin 8.6进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 短时浸泡处理对糙米发芽的影响

浸泡处理是发芽糙米制备中大都采取的前处理,它不仅能促进发芽,并且在此过程中GABA得到积累<sup>[6]</sup>,但大多采用较长的浸泡时间,如马涛<sup>[15]</sup>浸泡12h后发芽,Kim<sup>[16]</sup>浸泡72h后发芽等。本研究以无浸泡直接发芽的糙米为对照,以浸泡和发芽总时间为考察因素,探究浸泡时间对糙米不同发芽时间点发芽率和GABA含量的影响,如图2、图3所示。浸泡处理能显著提高糙米发芽率和GABA含量( $p < 0.05$ ),不同浸泡处理时间对糙米发芽率的影响不同,其中,浸泡处理1h的糙米在各个发芽时间点(6、8、10、12、14h)的发芽率和GABA含量明显高于无浸泡处理( $p < 0.05$ ),其增幅分别为13.5%、15.5%、10.5%、9.0%、3.0%和3.68、2.88、3.14、3.25、1.82mg/100g,随着发芽时间的延长,糙米发芽率趋于饱和,故糙米在发芽14h时,不同浸泡处理对糙米发芽率的影响无明显差异;而浸泡处理3h的糙米在各个发芽时间点的发芽率却略低于无浸泡处理。这可能与糙米浸泡的吸水规律有关<sup>[11]</sup>,在相同的浸泡发芽总时间内,过长的浸泡时间

会缩短发芽时间,从而对糙米发芽不利。不同浸泡时间对糙米发芽过程中GABA含量影响较小(图3),这与图2中发芽率的结果具有一致性。

### 2.2 超声处理对糙米发芽的影响

超声波是频率大于20kHz的弹性机械波,能在介质中引起空化效应、热效应和机械效应,从而使物质受到不同程度的热和力作用,产生多种物理化学效应。若适当应用于生物组织,将会活化生物物质,调节新陈代谢,最终表现出人们预期的生物学效应。超声处理种子研究可以追溯至上世纪30年代,其能加速种子萌发也有文献报道<sup>[17]</sup>。从超声处理时间对糙米不同发芽时间点发芽率和GABA含量的影响结果(图4、图5)可知,超声处理能够显著增加糙米发芽率和GABA含量( $p < 0.05$ ),不同超声处理时间对糙米发芽率和GABA含量的影响较小,在各个发芽时间点(6、8、10、12、14h),与无超声处理的糙米相比,其最大增幅分别为16.75%、29.25%、14.50%、9.5%、4%和4.98、5.72、10.42、4.76、2.30mg/100g,可知,超声处理对糙米发芽率和GABA含量的影响存在不同步性,发芽8h时,发芽率增幅最大,而GABA增幅最大的时间点在10h;随着发芽时间的继续延长,其增幅均越来越小。不同超声波处理时间对糙米发芽的影响较小,这与郑艺梅等<sup>[18]</sup>的研究结果相一致。这可能是因为经超声波处理后的糙米有更高的吸水速率<sup>[19]</sup>,同时改变了一些酶的活性,如谷氨酸脱羧酶、淀粉酶等。从图5中可知,发芽后糙米中GABA含量明显高于未发芽前( $p < 0.05$ )。

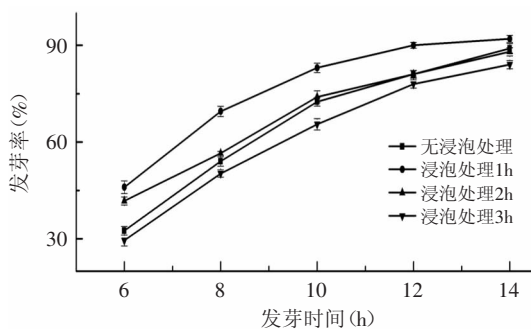


图2 浸泡处理对糙米发芽率的影响

Fig.2 Effect of soak processing on the germination rate of brown rice

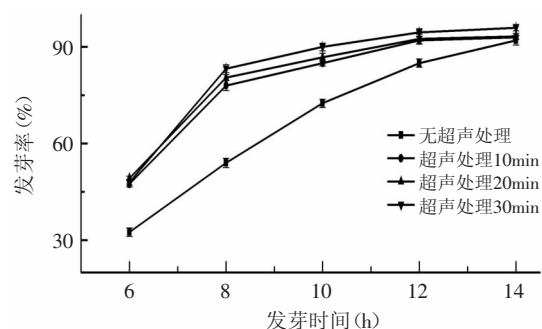


图4 超声处理对糙米发芽率的影响

Fig.4 Effect of ultrasonic processing on the germination rate of brown rice

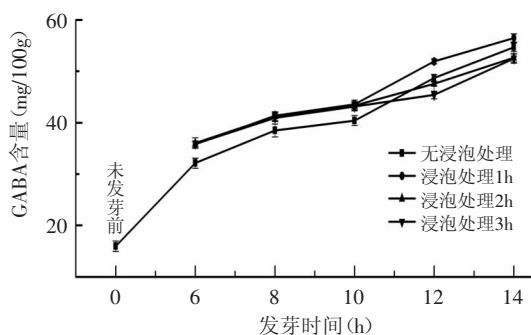


图3 浸泡处理对糙米发芽过程中GABA含量的影响

Fig.3 Effect of soak processing on the GABA content in the germination of brown rice

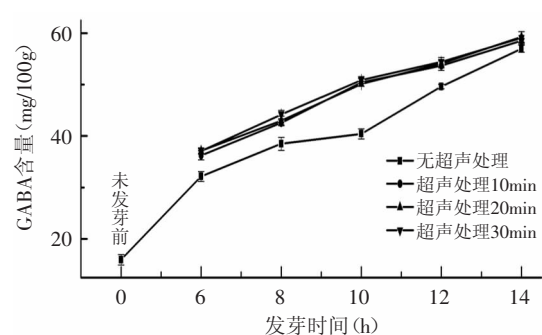


图5 超声处理对糙米发芽过程中GABA含量的影响

Fig.5 Effect of ultrasonic processing on the GABA content in the germination of brown rice

### 2.3 臭氧处理对糙米发芽的影响

臭氧处理种子不仅能杀灭影响种子发芽的微生物<sup>[20]</sup>,还能解除种子休眠,促进种子发芽<sup>[21]</sup>。糙米含有胚芽,具有种子的特征。马涛等<sup>[20]</sup>曾研究臭氧处理糙米对微生物的灭菌效果,本研究将臭氧的作用应用于实践,探究臭氧处理对糙米不同发芽时间点发芽率和GABA含量的影响(图6、图7)。臭氧处理能显著提高糙米发芽率和GABA含量( $p < 0.05$ ),不同臭氧处理时间对糙米发芽率和GABA含量的影响较小,在各个发芽时间点(6、8、10、12、14h),与无臭氧处理的糙米相比,发芽率的最大增幅分别为35%、27.5%、23%、17%、8.5%;同时,GABA含量也相应增加,其增幅分别为6.87、4.53、9.59、5.02、4.38mg/100g,其中在发芽10h时,臭氧对糙米中GABA富集影响最大;糙米发芽率和GABA含量的变化趋势保持一致性,说明在6~14h发芽时间内,发芽率和GABA含量呈正相关。

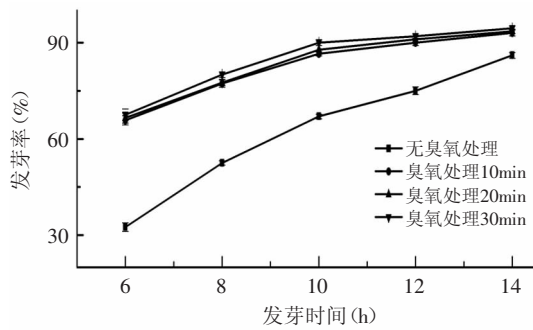


图6 臭氧处理对糙米发芽率的影响

Fig.6 Effect of ozone processing on the germination rate of brown rice

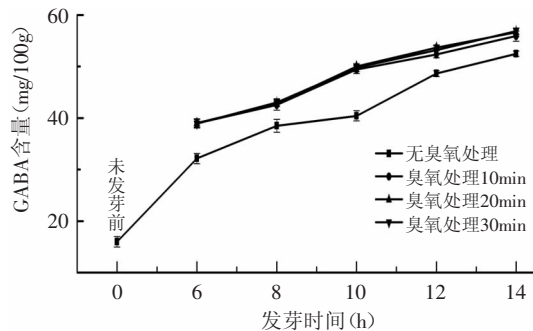


图7 臭氧处理对糙米发芽过程中GABA含量的影响

Fig.7 Effect of ozone processing on the GABA content in the germination of brown rice

### 2.4 搅拌浸泡处理对糙米发芽的影响

搅拌浸泡处理是指将糙米浸泡在水中后放入水浴摇床中振荡。在水浴振荡过程中,水中的溶解氧增多,为糙米发芽过程各种生化反应提供更多的氧气。同时,剧烈振荡可能也会打破糙米的休眠,故能加快糙米发芽。搅拌浸泡处理对糙米不同发芽时间点发芽率和GABA含量的影响结果如图8、图9所示。搅拌浸泡处理对糙米发芽和GABA积累有显著正作用( $p < 0.05$ )。在各个发芽时间点(6、8、10、12、14h),与无搅拌浸泡处理的糙米相比,发芽率和GABA含量的最大

增幅分别为20.5%、25%、18.5%、9%、2%和11.71、7.73、15.63、13.01、9.85mg/100g。比较两图可知,延长发芽时间,糙米发芽率趋于稳定,而GABA含量有继续增加的趋势,因此,糙米发芽率的增加和GABA含量积累并不完全同步,具有时限性。

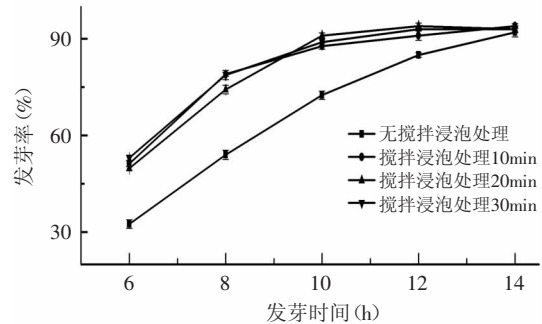


图8 搅拌浸泡处理对糙米发芽率的影响

Fig.8 Effect of stir and soak processing moving on the germination rate of brown rice

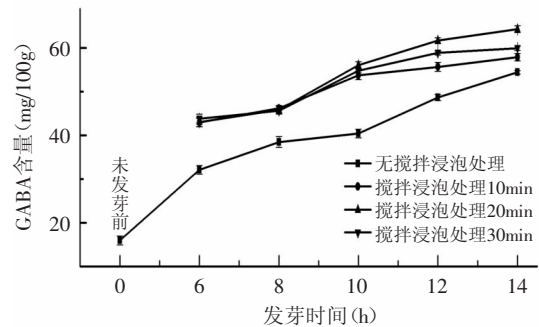


图9 搅拌浸泡处理对糙米发芽过程中GABA含量的影响

Fig.9 Effect of stir and soak processing on the GABA content in the germination of brown rice

### 2.5 微波处理对糙米发芽的影响

微波是一种频率在300MHz~300GHz(波长为1mm~1m)之间的电磁波,微波与生物系统相互作用,能够产生多种生物学效应。目前,微波处理对种子活力的影响也已有报道<sup>[22-23]</sup>。如图10、图11所示,微波处理能显著提高糙米发芽率和GABA含量( $p < 0.05$ ),在各个发芽时间点(6、8、10、12、14h),与无微波处理的糙米相比,其最大增幅分别为21%、15.5%、12%、6%、

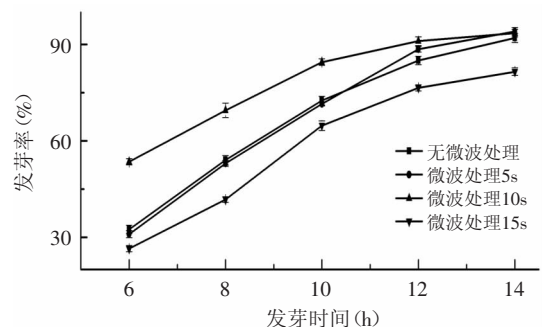


图10 微波处理对糙米发芽率的影响

Fig.10 Effect of microwave processing on the germination rate of brown rice

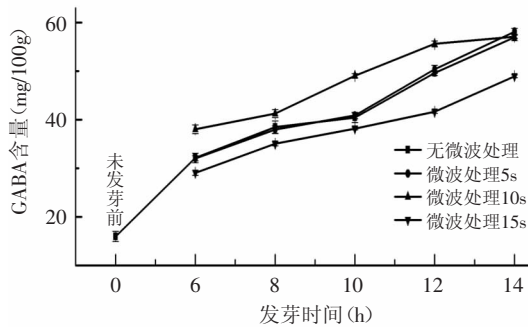


图11 微波处理对糙米发芽过程中GABA含量的影响

Fig.11 Effect of microwave processing on the GABA content in the germination of brown rice

2%和5.91、2.77、8.63、6.01、1.18mg/100g。不同处理时间对糙米发芽率和GABA含量的影响不同。其中,与无微波处理的糙米相比,微波处理5s时的糙米发芽率和GABA含量无明显差异;糙米发芽6~12h内,微波处理10s时的糙米发芽率和GABA含量显著增加,而微波处理15s却显著降低( $p < 0.05$ )。其原因可能是微波处理不仅能杀死糙米表面的微生物,同时微波产生的热量能够破坏糙米表面的蜡质层,使其在发芽过程中更容易吸水,但过短的微波处理时间对糙米发芽影响较小,过长的处理时间破坏了糙米内部酶的活性,使其发芽活力受到影响。

### 3 结论

综上所述,五种前处理方法均能显著提高糙米发芽率和糙米中GABA含量( $p < 0.05$ )。其中,臭氧处理对糙米发芽率的影响最大,五个发芽时间点(6、8、10、12、14h)的平均增幅为22.2%,其次是搅拌浸泡处理(15%)、超声处理(14.8%)、微波处理(11.3%)、浸泡处理(10.3%);搅拌浸泡处理对糙米中GABA含量的影响最大,其平均增幅为11.59%,其次是臭氧处理(6.08mg/100g)、超声处理(5.63mg/100g)、微波处理(4.9mg/100g)、浸泡处理(2.95mg/100g)。因此,从总体来看,搅拌浸泡处理和臭氧处理是效果最好的方法。另外,浸泡处理和微波处理对糙米发芽的影响受处理时间的影响较大。其中,浸泡处理1h和微波处理10s对糙米发芽率和 $\gamma$ -氨基丁酸含量具有正作用。

### 参考文献

- [1] 陈正行,王韧,王莉,等. 稻米及其副产品深加工技术研究进展[J]. 食品与生物技术报,2012,31(4):355-364.
- [2] 李苏红,邵洋,刘虹,等. 不同浸泡、发芽条件对糙米吸水率、发芽率和GABA含量的影响[C]. 2010:7.
- [3] 李思,方坚,梁建芬. 浸泡液对糙米发芽的影响研究[J]. 食

品科学,2007,28(7):138-141.

- [4] Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, et al. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice[J]. Journal of Food Engineering,2007,78(2):556-560.
- [5] 蒋静,马涛. 营养液培养糙米发芽富集GABA工艺条件优化[J]. 食品工业科技,2013,34(5):195-199.
- [6] 王琛,马涛,刘欣. 糙米发芽过程中GABA富集工艺的研究[J]. 农业科技与装备,2010(11):25-29.
- [7] 刘崑,王晶晶,于小磊,等. 发芽糙米乳酸菌饮料的研制[J]. 粮食与饲料工业,2013(3):30-33.
- [8] 王维坚,马中苏. 工艺参数对发芽糙米中植酸含量的影响[J]. 中国粮油学报,2009,24(4):156-158.
- [9] 张强,贾富国,杨瑞雪,等. 纤维素酶预处理糙米发芽工艺优化[J]. 中国粮油学报,2012,27(10):92-97.
- [10] 李思,方坚,梁建芬. 浸泡液对糙米发芽的影响研究[J]. 食品科学,2007,28(7):138-141.
- [11] 王维坚. 糙米发芽工艺的基础研究[D]. 长春:吉林大学,2004.
- [12] 史锋厚,刘传志,李晓军,等. 超声波处理对油松种子萌发的影响[J]. 种子,2011,30(8):81-83.
- [13] 江天宝. 臭氧和脉冲强光对大肠杆菌协同杀灭效果的研究[J]. 海峡药学,2009,21(6):59-62.
- [14] 汪阿虎. 高含量GABA发芽糙米的制备工艺优化和GABA的提取纯化初探[D]. 长沙:中南林业科技大学,2012.
- [15] 马涛,刘丽娜,孙炳新. 糙米发芽工艺优化研究[J]. 食品研究与开发,2010,31(6):10-13.
- [16] Kim H Y, Hwang I G, Kim T M, et al. Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination[J]. Food Chemistry,2011,134(1):288-293.
- [17] 史锋厚,刘传志,李晓军,等. 超声波处理对油松种子萌发的影响[J]. 种子,2011,30(8):81-83.
- [18] 郝艺梅,黄河,华平,等. 超声波处理对发芽糙米主要成分变化的影响[J]. 食品科学,2008,29(11):337-339.
- [19] 崔璐. 超声波处理对糙米理化性质的影响及其作用机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [20] 马涛,陈伟玲. 糙米发芽浸泡过程中臭氧对微生物灭菌效果的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(2):245-248.
- [21] Sudhakar N. Assessing influence of ozone in tomato seed dormancy alleviation[J]. American Journal of Plant Sciences, 2011,2(3):443-448.
- [22] 杨俊红,肖恒,江莎. 微波处理对不同植物种子活力及耐盐性的影响[J]. 天津大学学报,2006,39(1):53-57.
- [23] 韩玉竹,李阳春,刘晓静,等. 微波处理对紫花苜蓿种子萌发特性的影响[J]. 种子,2010,29(10):70-71,76.

权威·核心·领先·实用·全面