

不同品种糙薏米萌芽特性比较及其工艺优化

Comparative study on germination characteristics for different varieties of unpolished coix seed and optimization of germinated technological conditions

党娟¹ 秦礼康¹ 杨先龙² 金毅¹

DANG Juan¹ QIN Li-kang¹ YANG Xian-long² JIN Yi¹

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州鑫龙食品开发有限公司, 贵州 安顺 561000)

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Xinlong Food Development Company Ltd., Anshun, Guizhou 561000, China)

摘要:以贵州和老挝生产的 5 个品种糙薏米为试材,比较其同一萌芽条件下的生理生化变化,优选出适宜萌芽的糙薏米品种。以优选出的糙薏米为原料,以发芽率和萌芽过程合成的 γ -氨基丁酸(GABA)含量为评价指标,采用单因素试验及正交试验设计优化糙薏米萌芽工艺条件,并跟踪其主要营养素与功能成分动态变化。结果表明:供试的 5 个薏米品种中,以贵州小白壳薏米(GZ-1)萌芽后的发芽率、游离氨基酸和 GABA 含量最高。贵州小白壳薏米(GZ-1)萌芽最佳工艺条件为:萌芽温度 28℃、相对湿度 90%,萌芽时间 96 h,发芽率达到 90%,GABA 含量可达 78.18 mg/100 g;萌芽期间,糙薏米的脂肪、蛋白质、淀粉、粗多糖含量逐渐降低,而还原糖、游离氨基酸、GABA、 V_C 、 V_{B1} 、 V_{B2} 逐渐增加,但薏苡仁酯含量变化幅度小。萌芽薏米是一种营养价值与生物活性更佳的功能食品基料。

关键词:薏米;萌芽;生理生化; γ -氨基丁酸;发芽率

Abstract: This comparative study to analyze the changes in physiological and biochemical in the same condition by unpolished coix seed of 5 varieties that have been produced in Guizhou or Laos, selecting out optimal germination of varieties, then optimizing the germination rate and germination by using γ -amino butyric acid(GABA) as evaluation index, using single factor experiment and orthogonal design methods, tracing its main nutrients and functional components dynamically. The results showed that the sprouts of GZ-1 from Guizhou had the highest germination rate, free amino acids and γ -amino butyric acid (GABA) levels among the five varieties. Based on the sprouting

rate and GABA level, an optimal germination condition for variety GZ-1 was developed by using a single factor test followed by an orthogonal experiment design. Under the optimal condition of temperature 28℃, relative humidity 90%, and germinating time 96 h, Germination rate of 89%, the level of GABA increased to 78.18 mg/100 g. During germination, protein, starch and polysaccharides in the sprouts decreased while reducing sugars, free amino acids, GABA, and vitamin C, B1 and B2 increased gradually. However, the change of lipids level in sprouts was not significant. With higher level of bio-available essential nutrients, the germinated unpolished coix seeds could be considered as a health promoting food material.

Keyword: coix seed; germination; physiological and biochemical; γ -amino butyric acid; germination rate

薏米作为药食两用的小宗杂粮,在印度、缅甸、中国、马来西亚和泰国等地广泛种植^[1,2],因其极高的营养价值且富含薏苡仁酯、薏仁多糖等多种活性物质^[3],被称为“生命健康之禾”^[4]。

近年来,全谷物食品的营养保健作用成为研究热点,针对全谷物食品开发的新型食品大幅增加^[5,6]。但是,全谷物存在口感粗糙、不易蒸煮的缺点。谷物萌芽是植物种子生命发展最有活力的阶段,能改善谷物口感与品质,同时可增加某些活性功能物质。Koyama M 等^[7]研究表明,将苦荞浸泡 20 h 后萌芽处理 6 d,芦丁含量从 15.8 mg/100 g 提高到 109.0 mg/100 g;Ren S 等^[8]发现苦荞种子萌芽处理期间总酚、总黄酮、芦丁含量逐渐增加,并在第 9 天达到最大值;Karladee D 等^[9]研究表明,将紫稻谷种子浸泡 3 h 后萌芽处理 24 h, γ -氨基丁酸(GABA)含量从 4.67 mg/100 g 提高到 23.63 mg/100 g。

γ -氨基丁酸(GABA)自 2009 年被中国卫生部批准为新资源食品后,以其独特的功能性和广泛的适用范围,成为开发新产品、增加产品附加值、强化产品功能等方面的一个热点研究领域^[10]。应用产品以日本可口可乐公司开发的 GABA 功能性

基金项目:贵州省农业攻关项目(编号:黔科合农 G 字[2012]4001);贵州省科技厅重大专项项目(编号:黔科合重大专项字[2014]6023);贵州省科技厅重大专项项目(编号:黔科合重大专项字[2013]6010-5)

作者简介:党娟(1989—),女,贵州大学在读硕士研究生。
E-mail:853625823@qq.com

通讯作者:秦礼康

收稿日期:2015-05-24

饮料和日本茶饮料 Gabaron 为代表,还包括米胚、米糠、绿茶、豆制品、乳酸菌、酵母富含 GABA 的食品^[1]。但结合现代生物技术对糙薏米进行萌发处理后,分析测定其主要营养成分、重要活性物质 GABA 的含量及萌芽工艺条件的研究尚未见诸于报道。本研究拟以糙薏米为原料,系统分析测定糙薏米种子萌芽过程中生理生化的变化,旨在探讨糙薏米萌芽处理过程中理化特性及适宜可行的工艺条件,以提高糙薏米食用及营养价值,并为糙薏米高值化产品开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

糙薏米(表 1):贵州鑫龙食品开发有限公司,原料于 2013 年秋后收获储藏于 4℃冷库中备用。

表 1 糙薏米品种描述

Table 1 Description of coix seed cultivars

编号	品种	千粒重/g	产区
GZ-1	小白壳薏米	79	贵州
GZ-2	黑壳薏米	79	贵州
YN-1	大粒薏米	125	老挝
YN-2	红衣薏米	81	老挝
YN-2	花壳薏米	86	老挝

1.1.2 试剂

GABA 标准品:纯度>99%,美国 Sigma 公司;
乙醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
葡萄糖标准品:分析纯,上海永叶生物科技有限公司;
考马斯亮蓝 G-250:生化试剂,南京森贝伽生物科技有限公司;
亮氨酸:生化试剂,南京奥多福尼生物科技有限公司;
牛血清白蛋白:生化试剂,上海拜力生物科技有限公司;
其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

紫外—可见分光光度计:TU-1810 型,北京普析通用仪器有限责任公司;
荧光分光光度计:F96S 型,上海棱光技术有限公司;
台式冷冻干燥机:FD-1A-50 型,北京博医康实验仪器有限公司;
恒温恒湿培养箱:CLHN-350T 型,天津市华北实验仪器有限公司;
台式高速离心机:TGI6-WS 型,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;
分析天平:BS110S 型,北京赛多利斯天平有限公司;
脂肪测定仪:SER148 型,意大利威尔普公司。

1.3 试验方法

1.3.1 萌芽糙薏米的工艺流程

糙薏米→筛选→2%的次氯酸钠消毒→蒸馏水清洗 2 次→浸泡 20 h→铺皿(3 层纱布、2 层滤纸)→萌芽(控温控湿)→萌芽薏米

糙薏米萌芽结束后,用蒸馏水清洗 2 次,液料比 3:1 (V:m) 加蒸馏水打浆,冷冻干燥,制得萌芽薏米粉,于-20℃冰箱冷藏备用。

1.3.2 不同品种糙薏米萌芽特性对比 分别筛选 5 个品种糙薏米,在温度 25℃恒温水浴锅中浸泡 20 h,控温控湿条件下萌芽 6 d,操作同 1.3.1,根据薏米生长特性及各品种薏米化学成分含量变化,选出适合萌芽薏米品种。

1.3.3 单因素试验设计 在最适萌芽薏米基础上进行萌芽温度、相对湿度、萌芽时间的单因素试验。

(1) 萌芽温度:在相对湿度 80%、萌芽时间 72 h 的条件下,分设 20,24,28,32,36,40℃共 6 个温度进行萌芽,通过发芽率和 GABA 含量的高低确定最佳萌芽温度。

(2) 相对湿度:在萌芽温度 28℃、萌芽时间 72 h 的条件下,分设 70%,75%,80%,85%,90%,95%共 6 个湿度进行萌芽,通过发芽率和 GABA 含量的高低确定最佳萌芽湿度。

(3) 萌芽时间:在萌芽温度 28℃、相对湿度 80%的条件下,分设 24,48,72,96,124,144 h 共 6 个时间进行萌芽,通过发芽率和 GABA 含量的高低确定最佳萌芽时间。

1.3.4 正交试验 在单因素试验结果的基础上,以发芽率和 GABA 含量为评价指标进行正交试验,以获得萌芽薏米中发芽率和 GABA 含量的最佳工艺条件。

1.3.5 理化指标测定

(1) 吸水特性:已知质量的各品种薏米浸泡在 25℃蒸馏水中,每 4 h 取样,吸干水分并称重,按式(1)计算吸水率。

$$W = \frac{B-G}{G} \times 100\%$$

式中:

W——吸水率,%;

G——试样擦干后的重量,g;

B——试样饱含水份以后的重量,g。

(2) 芽长:随机抽选 30 粒萌芽薏米,用游标卡尺测定其芽长。

(3) 发芽率:按 GB 3543.4—1995《农作物种子检验规程》执行。

(4) 水分:按 GB 5009.3—2012《食品中水分的测定》执行。

(5) 粗脂肪:按 GB/T 5512—2008《粮油检验 粮食中粗脂肪含量测定》中的索氏抽提法执行。

(6) 淀粉:采用蒽酮—硫酸比色法测定^[12]。

(7) 还原糖:采用 3,5-二硝基水杨酸法测定^[12]。

(8) 可溶性蛋白质:采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[12]。

(9) 游离氨基酸:采用水合茚三酮显色法测定^[12]。

(10) V_C:采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[12]。

(11) V_{B1}:按 GB/T 7628—2008《谷物中维生素 B₁测定》执行。

(12) V_{B2}:按 GB/T 7629—2008《谷物中维生素 B₂测定》执行。

1.3.6 薏苡仁酯的提取与测定 参照文献[13]。

1.3.7 薏米粗多糖提取与测定 参考文献[14]。

1.3.8 γ -氨基丁酸的提取与测定 参考文献[15]。

1.3.9 数据统计与分析 采用 Origin Pro 9.0 作图和 SPSS 19.0 软件处理试验数据进行方差分析和显著性检验。所有试验设 3 次重复。

2 结果与分析

2.1 不同品种脱壳糙薏米萌芽特性比较

2.1.1 不同品种薏米吸水率、发芽率和芽长的变化 由图 1、2 可知, 25 °C 下 5 种糙薏米吸水率和发芽率变化趋势一致, 浸泡处理 20 h 后, YN-1 的吸水率最高为 47.95%。发芽率在 72 h 之内显著增加并在 96 h 达到最高, GZ-1 和 GZ-2 的发芽率最高, 分别为 87% 和 86%, 而 YN-1、YN-2 和 YN-3 的发芽率分别为 14%, 78%, 80%。由表 1 可知, YN-1 千粒重最大, 但发芽率最低, 说明大颗粒糙薏米不适宜作为萌芽原料。由图 3 可知, GZ-1 的芽长最长为 38.6 mm, 同一萌芽

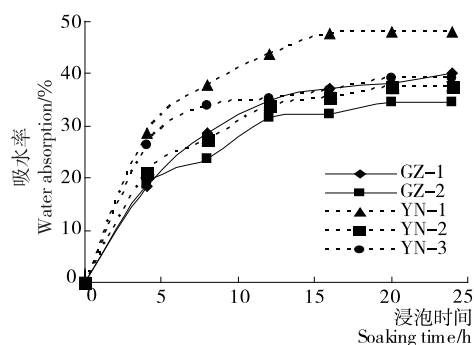


图 1 吸水率的变化

Figure 1 Change of water absorption rate

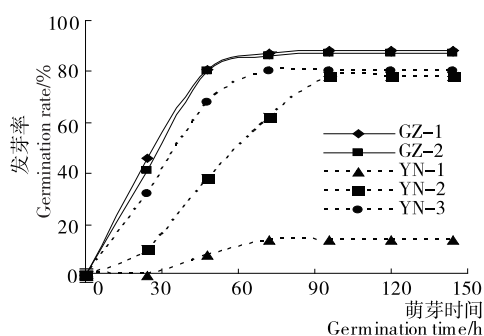


图 2 发芽率的变化

Figure 2 Change of germination rate

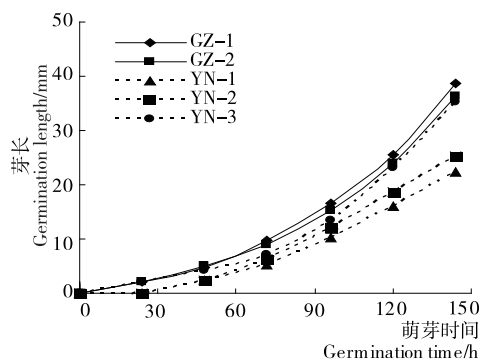


图 3 芽长的变化

Figure 3 Change of germination length

环境中, 5 种糙薏米种子中 GZ-1 的芽长最长, 生长状况最好。综上可知, 贵州小白壳薏米(GZ-1)较其他 4 个品种糙薏米更适合作为萌芽原料, 有较好的发芽率、芽长, 其生长趋势也强于其它应试品种。

2.1.2 不同品种糙薏米可溶性蛋白质和游离氨基酸的变化

由图 4 可知, 5 种糙薏米中可溶性蛋白质含量均呈现开始快速升高而后逐渐平稳的趋势, 表明种子在萌发初期, 种子内的蛋白质在蛋白酶作用下分解为氨基酸, 在约 48 h 后出现平衡期, 可溶性蛋白质含量变化幅度小。GZ-1 和 GZ-2 萌芽约 48 h 可溶性蛋白质含量快速增高并在 48 h 达到最高值, 而 YN-1、YN-2 和 YN-3 萌芽 96 h 可溶性蛋白质含量最大。由图 5 可知, 5 种糙薏米中游离氨基酸含量均呈快速增加趋势, 其中 GZ-1 和 GZ-2 增加明显, 分别增加了 421.20, 393.78 $\mu\text{g/g}$, 而 YN-1、YN-2 和 YN-3 分别增加了 190.83, 229.36, 242.20 $\mu\text{g/g}$ 。

2.1.3 不同品种薏米 γ -氨基丁酸(GABA)的变化 由图 6 可知, 随着萌芽时间的延长, GABA 含量先快速增加后缓慢降低, 萌芽 96 h 后, GZ-1、GZ-2 的 GABA 含量增至最大, 分别为 72.42, 70.12 $\text{mg}/100\text{g}$, 相比萌芽前增加了 5.80, 4.61 倍; YN-1、YN-2 和 YN-3 中 GABA 含量分别增加了 3.82, 4.75, 5.60 倍。姚森等^[16]通过建模分析糙米发芽过程, 蛋白酶和谷氨酸脱羧酶被活化, 使谷氨酸脱羧生成 GABA 的速率加快, 发芽后期, 谷氨酸的含量不断减少, GABA 积累达到一定量, 转氨酶将 GABA 转化为琥珀酸半醛的速率

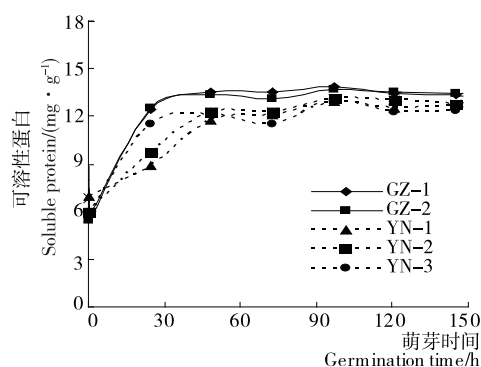


图 4 可溶性蛋白的变化

Figure 4 Change of soluble protein

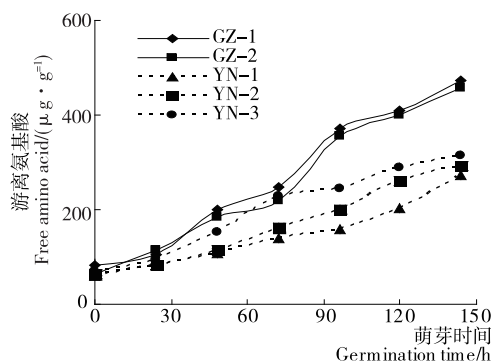


图 5 游离氨基酸的变化

Figure 5 Change of free amino acid

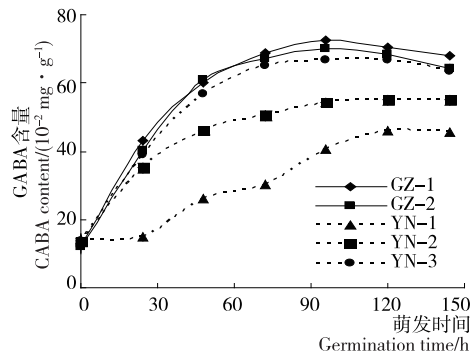


图 6 GABA 含量的变化

Figure 6 Change of GABA content

增大,导致 GABA 的消耗速率大于生成速率,所以发芽后期 GABA 的积累速率不断减慢。因此,随着萌芽时间的延长,5 种糙薏米中 GABA 含量开始缓慢下降,其原因可能就是糙薏米种子中谷氨酸被消耗,GABA 在转氨酶作用下分解。在 144 h 的萌芽时间,GZ-1、GZ-2 和 YN-3 中 GABA 含量显著高于 YN-2 和 YN-3,而 GZ-1、GZ-2 和 YN-3 之间的 GABA 含量差异不显著,考虑经济方便原则,选择 GZ-1 做萌芽原料。

2.2 单因素试验结果与分析

2.2.1 萌芽温度单因素试验 由图 7 可知,随着萌芽温度升高,糙薏米发芽率不断增加,当萌芽温度为 28 ℃时发芽率达最大值,之后曲线逐渐降低;而 GABA 含量随温度增加而增加,当萌芽温度为 32 ℃时 GABA 含量达最大值,之后曲线呈下降趋势,因此确定 28 ℃左右为最佳萌芽温度。

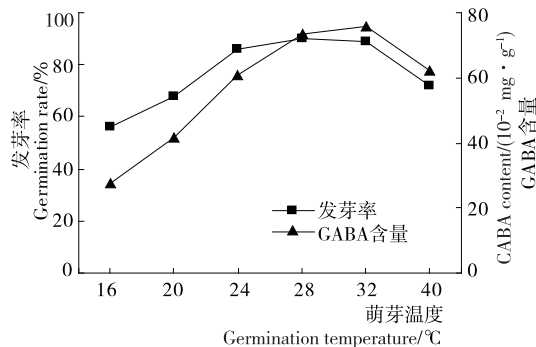


图 7 萌芽温度对发芽率和 GABA 含量的影响

Figure 7 Effect of germination temperature on germination rate and GABA content

2.2.2 相对湿度单因素试验 由图 8 可知,随着相对湿度的升高,糙薏米的发芽率不断增加,当相对湿度为 90%时发芽率达最大值,之后随着相对湿度增加,发芽率有明显的下降趋势;而 GABA 含量随着相对湿度的升高不断增加,当相对湿度为 90%时 GABA 含量达最大,之后逐渐降低。故确定 90%左右为最佳相对湿度。

2.2.3 萌芽时间单因素试验 由图 9 可知,0~48 h 内,糙薏米的发芽率和 GABA 含量快速增加,当萌芽时间为 48 h 时,糙薏米萌芽完成,发芽率达到最大值,曲线趋于平缓;当萌

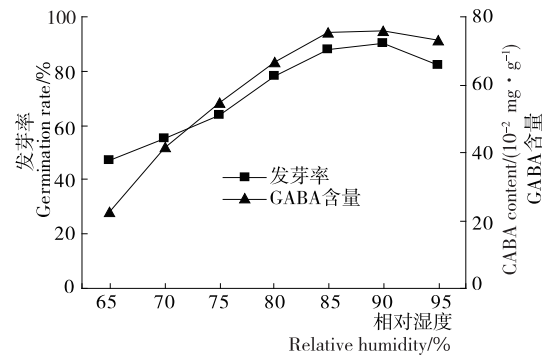


图 8 相对湿度对发芽率和 GABA 含量的影响

Figure 8 Effect of relative humidity on germination rate and GABA content

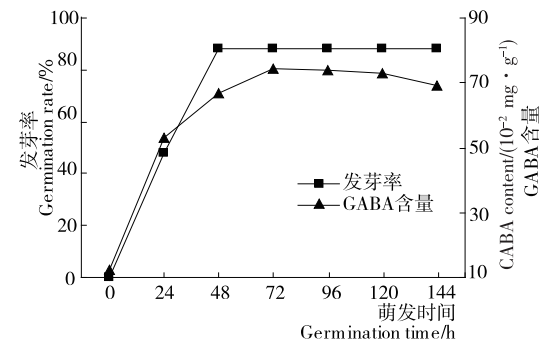


图 9 萌芽时间对发芽率和 GABA 含量的影响

Figure 9 Effect of germination time on germination rate and GABA content

芽时间为 96 h 时,GABA 含量达到最大值,随着萌芽时间的延长,GABA 含量开始缓慢下降。故确定 96 h 左右为最佳萌芽时间。

2.3 正交试验结果与分析

根据单因素试验结果,选择萌芽温度、相对湿度、萌芽时间中有意义的水平(表 2),采用 $L_9(3^4)$ 正交试验优化萌芽薏米的最佳工艺条件。正交试验的结果见表 2。

表 2 正交试验 $L_9(3^4)$ 因素水平表

水平	A 萌芽温度/℃	B 相对湿度/%	C 萌芽时间/h
1	24	85	48
2	28	90	72
3	32	95	96

由表 3 可知,各因素对发芽率和 GABA 含量的影响主次顺序均为 $C>A>B$;发芽率和 GABA 含量最佳组合条件均为 $A_2B_3C_3$,即:萌芽温度 28 ℃、相对湿度 95%、萌芽时间 96 h。以此为萌芽条件,通过进行 3 次平行实验得到萌芽薏米中发芽率平均值为 89%,相对误差为 $RSD=1.12\%$;GABA 含量平均值为 78.06 mg/100 g,相对误差为 $RSD=1.64\%$ 。结果均略低于表 3 中发芽率与 GABA 含量最高的 5 号组,这个结果不是最佳匹配数据,但是肯定是最接近最佳的,原因是同种同批次种子成熟度与活力存在不可避免

表 3 正交试验结果及极差分析
Table 3 Result of orthogonal test and range analysis

试验号	A	B	C	发芽率/%	GABA 含量/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)
1	1	1	1	65	49.90
2	1	2	2	75	59.97
3	1	3	3	83	67.91
4	2	1	2	82	66.86
5	2	2	3	90	78.18
6	2	3	1	83	67.47
7	3	1	3	84	70.36
8	3	2	1	76	63.40
9	3	3	2	88	75.08
发芽率	K ₁	74.33	77.00	74.67	
	K ₂	85.00	80.33	81.67	
	K ₃	82.67	84.67	85.67	
	R	10.67	7.67	11.00	
GABA 含量	K ₁	59.26	62.37	60.26	
	K ₂	70.84	67.18	67.30	
	K ₃	69.61	70.15	72.15	
	R	11.58	7.78	11.89	

的差异,也是造成发芽率与 GABA 积累量不稳的主要原因^[17]。因此,本试验以试验 5 为最优组合,最佳萌芽工艺条件为萌芽温度 28 ℃、相对湿度 90%、萌芽时间 96 h,发芽率和 GABA 含量分别达到 90%和 78.18 mg/100 g。

2.4 不同萌芽时间薏米各成分含量的变化

在正交试验最佳工艺条件下,对萌芽时间内糙薏米化学成分进行测定,结果见表 4。由表 4 可知,在萌芽过程中,脂肪、蛋白质、淀粉、薏米粗多糖等物质呈降低趋势,还原糖、游离氨基酸、GABA、V_C、V_{B1}和 V_{B2}等物质呈增加趋势,薏苡仁酯含量变化幅度不大,这与禾谷作物种子萌发过程中主要物质变化规律相似^[18]。糙薏米含有少量 V_C、V_{B1}和 V_{B2},经萌芽处理后,各维生素含量显著增加,郑丽娜等^[19]也发现绿豆在发芽过程中 V_A和 V_C含量呈持续增加趋势。脂肪含量呈缓慢下降趋势,减少了 0.89%,主要原因是糙薏米中脂肪分解酶,酯酶被逐渐激活,这与郑丽娜等^[19]、于立酶等^[20]研究一致。蛋白质含量下降 19.96%,相应的游离氨基酸增加了 40.12 mg/100 g,原因是种子萌芽时,内源蛋白酶被激活,蛋白质在酶的作用下分解为氨基酸。淀粉在淀粉酶作用下快速分解。GABA 含量在萌芽 96 h 过程中含量逐渐增加并在 96 h 达到最高值,原因是米胚芽蛋白中谷氨酸含量丰富,内源蛋白酶和氨基酸脱羧酶的作用下可产生 GABA,发芽培养后 GABA 快速增加^[21]。

表 4 薏米萌芽过程中各化学成分含量流向分布[†]
Table 4 The flow of distribution of the chemical composition during germinated coix seed

萌芽时间/h	水分/%	脂肪/%	蛋白质/%	淀粉/%	还原糖/%	薏米粗多糖/%
0	3.77±0.17 ^e	9.54±0.05 ^a	11.62±0.02 ^a	56.30±0.36 ^j	1.01±0.05 ^f	7.57±0.02 ^a
24	6.68±0.19 ^d	9.48±0.04 ^a	11.38±0.06 ^a	49.42±0.23 ^f	1.26±0.03 ^f	7.56±0.02 ^a
48	7.40±0.08 ^c	9.18±0.03 ^b	10.71±0.09 ^b	40.45±0.32 ^e	1.73±0.09 ^e	7.37±0.03 ^b
72	8.50±0.12 ^b	9.00±0.02 ^c	10.27±0.07 ^c	31.31±0.24 ^d	2.89±0.06 ^d	7.30±0.02 ^b
96	9.67±0.09 ^a	8.82±0.08 ^d	9.83±0.06 ^d	29.86±0.12 ^c	5.17±0.07 ^c	6.26±0.01 ^c
萌芽时间/h	游离氨基酸/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	薏苡仁酯/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	GABA/ (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	V _C / (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	V _{B1} / (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	V _{B2} / (10 ⁻² mg · g ⁻¹)
0	8.26±0.01 ^j	4.78±0.02 ^a	18.37±0.16 ^j	2.14±0.04 ^f	0.38±0.01 ^d	0.12±0.02 ^e
24	10.38±0.14 ^f	4.69±0.05 ^b	54.17±0.13 ^f	5.63±0.07 ^f	0.38±0.04 ^e	0.17±0.01 ^d
48	19.16±0.60 ^e	4.89±0.10 ^a	67.28±0.09 ^e	18.36±0.40 ^e	0.39±0.02 ^f	0.18±0.02 ^d
72	25.17±0.33 ^d	4.83±0.04 ^a	78.12±0.15 ^c	20.67±0.31 ^d	0.43±0.02 ^e	0.21±0.02 ^c
96	38.02±0.15 ^c	4.79±0.06 ^a	78.48±0.16 ^a	21.35±0.33 ^c	0.52±0.01 ^c	0.25±0.01 ^b

† 同列中字母不同者为差异显著(P<0.05)。

3 结论

在单因素试验基础上,利用正交法对贵州小白壳薏米萌芽工艺进行优化,得到了贵州小白壳薏米(GZ-1)萌芽最佳工艺条件为:萌芽温度 28 ℃、相对湿度 90%,萌芽时间 96 h,发芽率达到 90%,GABA 含量为 78.18 mg/100 g。对最优工

艺条件下萌芽糙薏米主要营养成分进行分析,萌芽糙薏米中主要营养素与功能成分动态变化:脂肪、蛋白质、淀粉、薏米粗多糖等物质逐渐降低,水分、还原糖、游离氨基酸、GABA、V_C、V_{B1}和 V_{B2}等重要营养物质逐渐增加,薏苡仁酯含量变化幅度小。试验结果表明经萌芽处理后糙薏米的营养价值显

著提高,这为后续深入开发以糙薏米为代表的具有降血脂、降血糖、抗癌等多种保健功能的高附加值产品提供依据。本研究的不足之处在于未对萌芽薏米中 GABA 对生物体内蛋白质、糖类、脂类等代谢和表达方面进行深入了解,下一步需针对上述问题进行动物试验研究。

参考文献

- 1 Apirattananusorn Supaporn, Tongta Sunanta, Cui Steve W, et al. Chemical, molecular, and structural characterization of alkali extractable nonstarch polysaccharides from Job's tears[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(18): 8549~8557.
- 2 Wang Li-feng, Chen Jing-yi, Xie Hui-hui, et al. Phytochemical profiles and antioxidant activity of adlay varieties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(21): 5103~5113.
- 3 Hsia S-M, Chiang W, Kuo Y-H, et al. Downregulation of progesterone biosynthesis in rat granulosa cells by adlay (Coix lachryma-jobi L. var. ma-yuen Stapf.) bran extracts[J]. International Journal of Impotence Research, 2005, 18(3): 264~274.
- 4 王振鸿. 薏苡的药用价值[J]. 农村实用技术, 2004(12): 56~57.
- 5 Jideani I A, Jideani V A. Developments on the cereal grains digitaria exilis (acha) and digitaria iburua (iburu)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(3): 251~259.
- 6 Seal C J, Jones A R. Whole grains uncovered[J]. Nutrition Bulletin, 2006, 31(2):129~137.
- 7 Koyama M, Nakamura C, Nakamura K. Changes in phenols contents from buckwheat sprouts during growth stage [J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 50(1): 86~93.
- 8 Ren Shun-cheng, Sun Jun-tao. Changes in phenolic content, phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity, and antioxidant capacity of two buckwheat sprouts in relation to germination[J]. Journal of Functional Foods, 2014(7): 298~304.
- 9 Karladee D, Suriyong S. γ -Aminobutyric acid (GABA) content in different varieties of brown rice during germination[J]. Science Asia, 2012, 38(1): 13.
- 10 卫生部批准 γ -氨基丁酸等 6 种新资源食品用于食品生产加工[J]. 中国食品学报, 2009(5): 156.
- 11 王辉, 项丽丽, 张锋华. γ -氨基丁酸(GABA)的功能性及在食品中的应用[J]. 食品工业, 2013(6): 186~189.
- 12 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- 13 吕峰, 杨彩霞, 姜艳梅, 等. 不同产地薏苡仁的保健与加工品质[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(4): 431~434.
- 14 商珊, 秦礼康, 杨先龙, 等. 分段热加工对薏米营养与功能成分的影响[J]. 食品科学, 2014(5): 81~84.
- 15 罗曦, 曾亚文, 杨树明, 等. 不同发芽时间下发芽稻谷和糙米不同部位 γ -氨基丁酸含量差异[J]. 食品科学, 2009(13): 124~128.
- 16 姚森, 郑理, 赵思明, 等. 发芽条件对发芽糙米中 γ -氨基丁酸含量的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 211~215.
- 17 刘劲松, 吕志勇. 影响种子发芽率的因素[J]. 新农业, 1995(6): 14~13.
- 18 Beck E, Ziegler P. Biosynthesis and degradation of starch in higher plants[J]. Ann Rev Plant Physiol, 1998(40): 95~117.
- 19 于立梅, 于新, 白卫东, 等. 山毛豆发芽过程中营养成分的变化[J]. 食品与发酵工业, 2010(2): 137~140.
- 20 郑丽娜, 曲颖. 发芽对绿豆营养成分的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(2): 144~146.
- 21 夏虹, 彭茂民, 周有祥. 发芽米中 γ -氨基丁酸含量的测定[J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 100~102.

(上接第 225 页)

艺条件下制备的河蚬抗氧化肽对羟自由基清除率较高,为制备新型抗氧化剂和具有抗氧化功效的富肽酶解物并开发系列功能食品提供理论依据,为河蚬的深度加工提供一条新的途径。

参考文献

- 1 任娇艳,赵谋明,崔春,等. 草鱼源抗氧化肽的响应面法优化制备及活性评价[J]. 食品工业科技, 2009, 30(7): 69~73.
- 2 韩鹏,王勤,陈清西. 河蚬软体部分营养成分分析及评价[J]. 厦门大学学报(自然科学), 2007, 46(1): 115~117.
- 3 Kristinsson H G, Rasco B A. Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2000(40): 43~81.
- 4 邱春江,刘利. 花蚬酶解物清除羟自由基作用研究[J]. 生物加工过程, 2007, 5(1): 50~55.
- 5 刘杰,万细妹,徐明生. 河蚬酶解液体外抗氧化作用的研究[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(6): 1093~1096.
- 6 张磊,何红梅,案金柱. 河蚬提取物对小鼠酒精性肝损伤的保护作用[J]. 齐鲁药事, 2008, 27(6): 365~367.
- 7 吴立峰,吴广印. 河蚬糖蛋白对小鼠化学性肝损伤的保护作用[J]. 中外健康文摘, 2008(6): 49~50.
- 8 王一铮,黄玲,刘如玉,等. 河蚬汤对小鼠急性乙醇肝损伤的保护作用[J]. 福建中医学院学报, 2010, 20(3): 28~29.
- 9 Tsai J S, Li T C, Chen J L, et al. The inhibitory effects of freshwater clam (*Corbicula fluminea*, Muller) muscle protein hydrolysates on angiotensin I converting enzyme[J]. Process Biochemistry, 2006(41): 2276~2281.
- 10 赵谋明,何婷,赵强忠,等. 蓝圆鲈抗氧化肽抗氧化稳定性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(1): 356~360.
- 11 鲁晶晶,王远亮,谢梦琴. 植物乳杆菌 LJ-3 产细菌素的响应面优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 242~246.
- 12 朱晓阳,钟海雁,周波,等. 油茶籽多酚超声辅助提取的响应面优化[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 166~170.
- 13 姚芳,祁兴普,刘萍. 复合蛋白酶水解低值淡水鱼工艺的响应面优化[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 229~233.