

# 萌发对苦荞籽粒品质的影响及工艺优化

## Effect of germination on grain quality of tartary buckwheat and optimization of technology

童晓萌<sup>1</sup>柴春祥<sup>2,3</sup>王永强<sup>4</sup>TONG Xiao-meng<sup>1</sup> CHAI Chun-xiang<sup>2,3</sup> WANG Yong-qiang<sup>4</sup>

(1. 天津耳朵眼炸糕餐饮有限责任公司, 天津 300221; 2. 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134; 3. 天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津 300134;

4. 天津港保税区爱信食品有限公司, 天津 300461)

(1. Tianjin Erduoyan Food Co., Ltd., Tianjin 300221, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Food and Biotechnology, Tianjin 300134, China; 3. College of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 4. TPFTZ Aixin Foodstuffs Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

**摘要:**以苦荞籽粒为原料,分析了浸种和萌发温度及时间对苦荞籽粒总黄酮含量、 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)含量、DPPH 自由基清除率、发芽率及芽长的影响,并优化了其萌发工艺条件。结果表明,苦荞籽粒的最佳萌发条件为:浸种温度 20℃、浸种时间 8 h、萌发温度 26℃、萌发时间 98 h。该条件下,萌发苦荞的总黄酮含量为 10.34 mg/g,是对照组的 2.27 倍;GABA 含量为 2.86 mg/g,是对照组的 1.17 倍。制茶后,萌发苦荞茶总黄酮质量浓度为 7.678 mg/100 mL,是对照组的 3.71 倍;GABA 质量浓度为 13.142 mg/100 mL,是对照组的 1.63 倍;茶汤的颜色、透明度、香气、滋味、总分等感官评分均优于对照组。萌发处理可以提高苦荞茶的总黄酮含量、GABA 含量及感官品质。

**关键词:**苦荞茶;萌发;总黄酮; $\gamma$ -氨基丁酸;感官品质

**Abstract:** Using tartary buckwheat seeds as raw materials, the effects of different temperature and time during seed soaking and germination were analyzed, on the content of total flavonoids and  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA), DPPH free radical clearance rate, germination rate and bud length of tartary buckwheat seeds, and the germination conditions of tartary buckwheat tea were optimized. The results showed that the optimal germination conditions of tartary buckwheat seeds were as followd: soaking temperature 20℃, soaking time 8 h, germination temperature 26℃, and germination time 98 h. Under these conditions, the total flavonoids content of germinating tartary buckwheat was 10.34 mg/g, which was 2.27 times of the control group, and the

GABA content was 2.86 mg/g, which was 1.17 times of the control group. After tea preparation, the concentration of total flavonoids in germinated tartary buckwheat tea was 7.678 mg/100 mL, which was 3.71 times that of the control group. The mass concentration of GABA was 13.142 mg/100 mL, 1.63 times that of the control group. The results of sensory evaluation were better than those of the control group. Germination treatment can improve the content of total flavonoids, GABA and sensory quality of tartary buckwheat tea.

**Keywords:** tartary buckwheat tea; germination; total flavonoids;  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA); sensory quality

苦荞(*Fagopyrum tataricum* Gaertn.)又名鞑靼荞麦,富含维生素<sup>[1]</sup>、黄酮<sup>[2]</sup>、矿物质和微量元素<sup>[3]</sup>,还含有阻碍白细胞增殖的蛋白质阻碍物质<sup>[4-6]</sup>,并可杀菌消炎<sup>[7]</sup>。研究表明,萌发处理可以显著提高苦荞籽粒的黄酮类物质及 $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid, GABA)等功能性成分含量,使抗营养因子活性降低或消失<sup>[8]</sup>,并可形成独特的风味及口感<sup>[9]</sup>。其中,黄酮在降血糖、抑制肿瘤等方面发挥着重要作用<sup>[10-11]</sup>。而 GABA 具有降血压、改善脑机能等功效<sup>[12-13]</sup>。

苦荞茶是以苦荞为原料制作而成的代用茶<sup>[14]</sup>,目前研究主要集中在未萌发的苦荞籽粒茶、苦荞造粒茶上<sup>[15-16]</sup>,对萌发苦荞茶研究较少。李晓丹<sup>[17]</sup>研究了在萌发过程中添加了化学试剂的苦荞芽茶袋泡式固体饮料,彭涛等<sup>[18]</sup>研究了苦荞萌动茶发芽工艺,上述研究结果均表明萌发处理可以提高苦荞茶的营养成分含量并改善其感官品质,但萌发过程中加入了化学试剂有一定的安全隐患且不利于环境保护或制茶后营养成分富集量较低。为深入研究萌发苦荞茶萌发工艺,得到功能成分含量高

作者简介:童晓萌,女,硕士。

通信作者:柴春祥(1971—),男,天津商业大学教授,博士。

E-mail: tjccuccx@163.com

收稿日期:2020-12-03

且感官品质佳的萌发苦荞茶,研究拟以苦荞籽粒为原料,通过 Box-Behnken 试验设计,以总黄酮含量及 GABA 含量为评价指标,优化苦荞籽粒浸种及萌发工艺并将萌发苦荞籽粒制成苦荞茶。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

苦荞籽粒:江苏新泰种业批发公司;

芦丁标准品、GABA 标准品:色谱纯,上海金穗生物科技有限公司;

DPPH 标准品:色谱纯,美国 Sigma 公司;

无水乙醇:分析纯,天津市津东天正精细化学试剂厂;

亚硝酸钠:分析纯,天津市标准科技有限公司;

硝酸铝、氢氧化钠、十二水合磷酸氢二钠:分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;

茚三酮、磷酸二氢钾:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;

超纯水为纯水机自制。

#### 1.1.2 主要仪器设备

电子天平:JD200-3 型,沈阳龙腾电子有限公司;

纯水机:SMART-N 型,上海 Heal Force 公司;

鼓风干燥箱:101A-3 型,上海申光仪器仪表有限公司;

高速组织捣碎机:DS-1 型,上海标本模型厂;

碾米机:DK-130 型,深圳市洁盟清洗设备有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-6100 型,上海美普达仪器有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 苦荞茶的制备步骤

原料筛选→清洗→浸泡→萌发→蒸煮→干燥→脱壳→过筛→焙烤→成品

1.2.2 操作要点 优选饱满的苦荞籽粒。用清水充分淘洗后,将上浮的空、瘪籽粒剔除。加水至淹没籽粒 3~5 cm 进行浸泡处理。沥干后放入恒温恒湿生化培养箱中避光萌发。到达终点后,置于蒸锅中蒸至完全糊化,取出并干燥至含水量为 11% 左右。使用碾米机脱壳后过 18 目筛,取筛上荞麦米焙烤后即得成品。

1.2.3 苦荞籽粒萌发单因素试验 基于文献[9,19-20]以及预试验结果,最终确定影响苦荞萌发的因素有浸种温度、浸种时间、萌发温度、萌发时间。将未经萌发处理的苦荞籽粒设置为对照组。指标分别为总黄酮含量、GABA 含量、DPPH 自由基清除率、发芽率、芽长。

(1) 浸种温度对苦荞籽粒萌发的影响:在浸种时间为 8 h、萌发温度为 25 ℃、萌发时间为 96 h 条件下,分别考察浸种温度 10,15,20,25,30 ℃ 对苦荞籽粒萌发各指标的影响。

(2) 浸种时间对苦荞籽粒萌发的影响:在浸种温度为 20 ℃、萌发温度为 25 ℃、萌发时间为 96 h 条件下,分别考察浸种时间 4,6,8,10,12 h 对苦荞籽粒萌发各指标的

影响。

(3) 萌发温度对苦荞籽粒萌发的影响:在浸种温度为 20 ℃、浸种时间为 8 h、萌发时间为 96 h 条件下,分别考察萌发温度 15,20,25,30,35 ℃ 对苦荞籽粒萌发各指标的影响。

(4) 萌发时间对苦荞籽粒萌发的影响:在浸种温度为 20 ℃、浸种时间为 8 h、萌发温度为 25 ℃ 条件下,分别考察萌发时间 72,84,96,108,120 h 对苦荞籽粒萌发各指标的影响。

1.2.4 苦荞籽粒萌发响应面法优化试验 根据单因素试验结果以及各指标间相关性分析,以浸种温度、浸种时间、萌发温度、萌发时间作为考察因素,以总黄酮含量、GABA 含量为响应值,按 Box-Behnken 试验设计进行优化试验。

#### 1.2.5 评价指标及测定方法

(1) 总黄酮含量:参照衣申艳等<sup>[21]</sup>的方法。

(2) GABA 含量:参照王青<sup>[22]</sup>的方法。

(3) DPPH 自由基清除率:参照赵琳<sup>[23]</sup>的方法。

(4) 发芽率:萌发处理后,随机选取 100 个苦荞籽粒,以胚芽突破种皮为标准记为出芽,按式(1)计算发芽率。

$$c = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$c$ ——发芽率,%;

$m_1$ ——苦荞籽粒发芽数;

$m_2$ ——苦荞籽粒总数。

(5) 芽长:萌发处理后,随机选取 20 个苦荞籽粒,用直尺测量幼芽长度,按式(2)计算芽长。

$$l = \frac{l_1}{m_2} \quad (2)$$

式中:

$l$ ——芽长,mm;

$l_1$ ——荞麦籽粒总芽长,mm;

$m_2$ ——苦荞籽粒总数。

1.2.6 萌发处理对苦荞茶品质的影响 制茶的原料分别为萌发组及对照组苦荞籽粒,其余不变。测量萌发组及对照组苦荞茶中的总黄酮质量浓度、GABA 质量浓度,并组织 10 名经过培训的评审员按照表 1 对苦荞茶进行评分,统计各项的平均得分及总分。

### 1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 17.0、Origin 9、Design-Expert 8.0.6 进行数据处理与分析。每个样品平行测定 3 次,结果以平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 苦荞籽粒萌发单因素试验

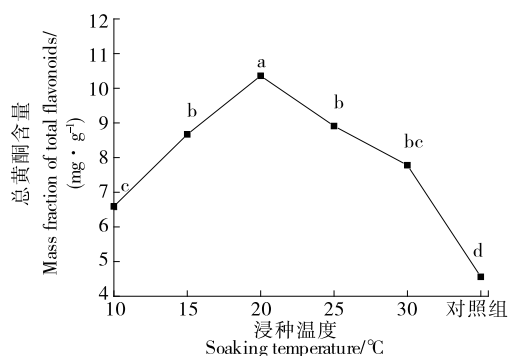
2.1.1 浸种温度对苦荞籽粒萌发的影响 由图 1 可知,当浸种温度为 20 ℃时,总黄酮含量、GABA 含量、DPPH

自由基清除率达到最大,分别是对照组的 2.27, 1.18, 1.26 倍。对种子进行浸泡是促进植物籽粒萌发的预

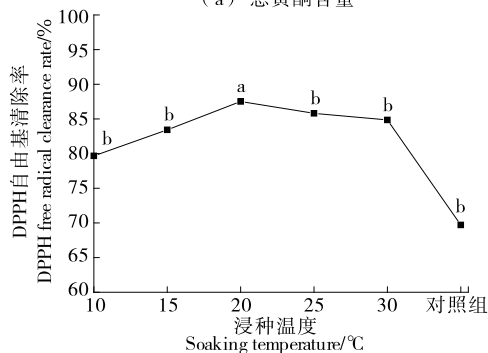
表 1 苦荞茶的感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard of tartary buckwheat tea

| 感官指标          | 评分标准                   | 分数    |
|---------------|------------------------|-------|
| 颜色<br>(25 分)  | 呈金黄色、鲜亮                | 18~25 |
|               | 呈棕黄色或黄色、较鲜亮            | 9~17  |
|               | 呈红棕色或淡黄色、色泽暗淡          | 0~8   |
| 透明度<br>(15 分) | 澄清度较好,无浑浊现象            | 11~15 |
|               | 略有浑浊                   | 6~10  |
|               | 浑浊                     | 0~5   |
| 香气<br>(25 分)  | 具有浓郁的苦荞芽焙烤后特有的香气,无异味   | 18~25 |
|               | 具有苦荞芽焙烤后特有的香气,有异味      | 9~17  |
|               | 无苦荞芽焙烤后特有的香气,有较浓的异味    | 0~8   |
| 滋味<br>(35 分)  | 清香甘醇、柔和、苦荞芽味突出,后味足,无异味 | 24~35 |
|               | 有苦荞芽味及少许苦味,适口性一般       | 12~23 |
|               | 无苦荞芽味,有明显异味,不适口        | 0~11  |



(a) 总黄酮含量

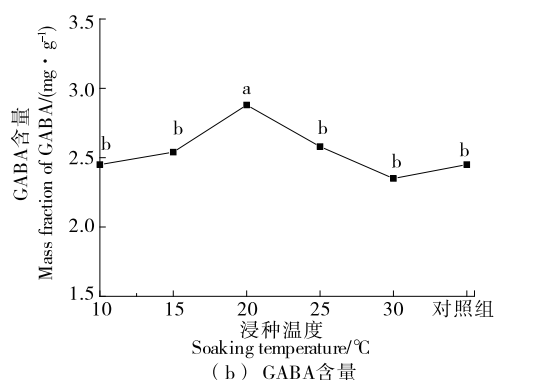


(c) DPPH 自由基清除率

处理方法之一<sup>[24]</sup>。李晓丹等<sup>[20]</sup>研究发现,浸种处理对芽苗生长和粗蛋白含量增加有促进作用,并能提高其总黄酮含量,与试验结果一致。经过合理的浸种处理后,苦荞籽粒的种子解除休眠,具有生物活性的相关酶类也由此活化,酶促反应得以顺利进行,并且为后续萌发提供了条件<sup>[25]</sup>。而温度是影响酶促反应的重要因素之一<sup>[26]</sup>。随着浸种温度的升高,酶促反应速率也随之加快。当浸种温度升至一定程度后,蛋白质开始变性失活,具有生物活性的相关酶类的活性也开始下降。综上,确定浸种温度 20 °C 为优化试验的 0 水平。

2.1.2 浸种时间对苦荞籽粒萌发的影响 由图 2 可知,当浸种时间为 8 h 时,总黄酮含量、GABA 含量、DPPH 自由基清除率达到最大,分别是对照组的 2.28, 1.16, 1.22 倍。在合理的浸种时长下,苦荞籽粒吸收水分且种皮膨胀软化,胚进行有氧呼吸<sup>[27]</sup>,各种代谢合成反应速度加快。浸种时间过长,胚由于过度吸水膨胀而破裂,胚乳外渗<sup>[28]</sup>,影响萌发。综上,确定浸种时间 8 h 为优化试验的 0 水平。

2.1.3 萌发温度对苦荞籽粒萌发的影响 由图 3 可知,当萌发温度为 25 °C 时,总黄酮含量、GABA 含量、DPPH 自由基清除率达到最大,分别是对照组的 2.23, 1.16, 1.24 倍。李海平等<sup>[29]</sup>、何俊星等<sup>[30]</sup>研究了萌发温度对荞麦种子萌发及黄酮含量的影响,得到了荞麦种子萌发的



(b) GABA 含量

(d) 发芽率与芽长

同指标小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 1 浸种温度对苦荞籽粒总黄酮含量、GABA 含量、DPPH 自由基清除率、发芽率及芽长的影响

Figure 1 Effects of soaking temperature on total flavonoids mass fraction, GABA mass fraction, DPPH free radical scavenging rate, germination rate and bud length of tartary buckwheat

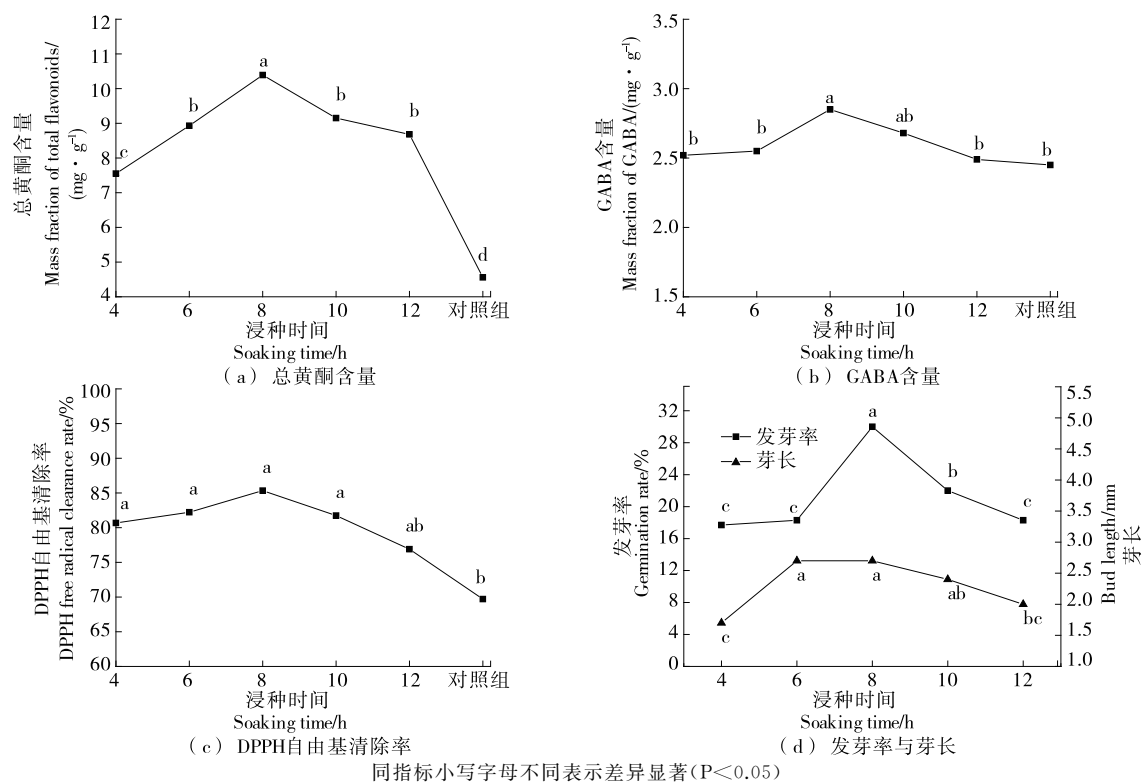


图2 浸种时间对苦荞籽粒总黄酮含量、GABA含量、DPPH自由基清除率、发芽率及芽长的影响

Figure 2 Effects of soaking time on total flavonoids mass fraction, GABA mass fraction, DPPH free radical scavenging rate, germination rate and bud length of tartary buckwheat

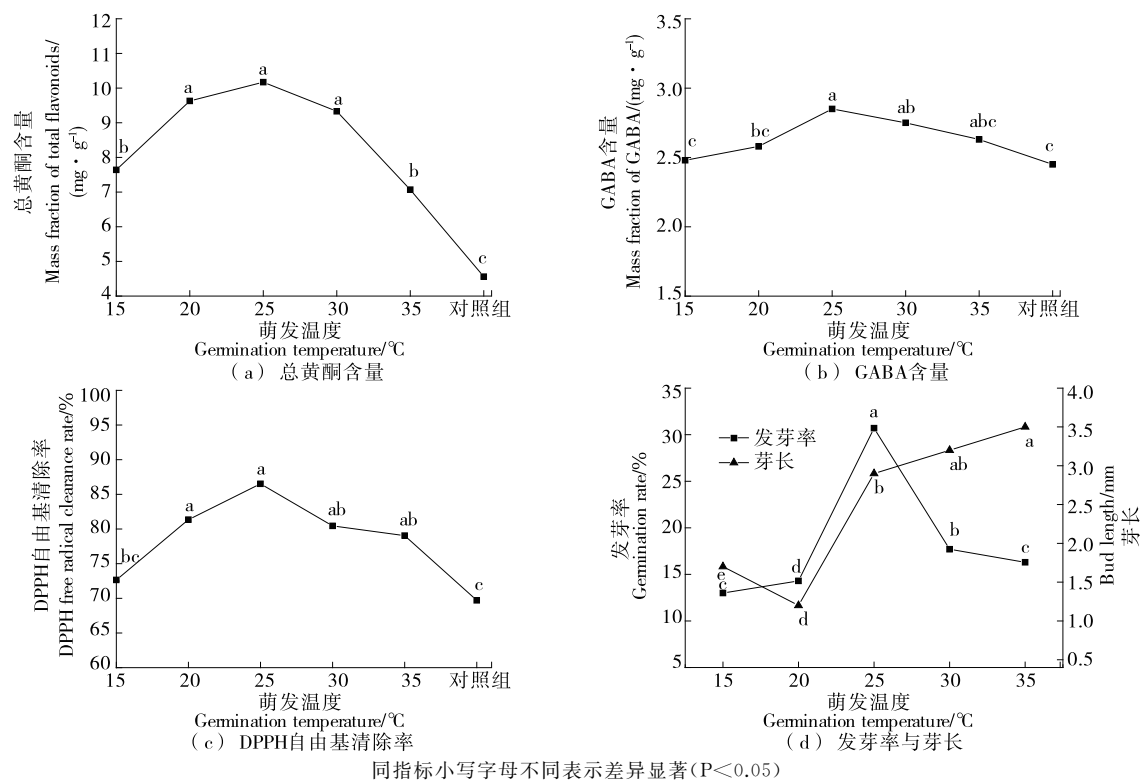


图3 萌发温度对苦荞籽粒总黄酮含量、GABA含量、DPPH自由基清除率、发芽率及芽长的影响

Figure 3 Effects of germination temperature on total flavonoids mass fraction, GABA mass fraction, DPPH free radical scavenging rate, germination rate and bud length of tartary buckwheat

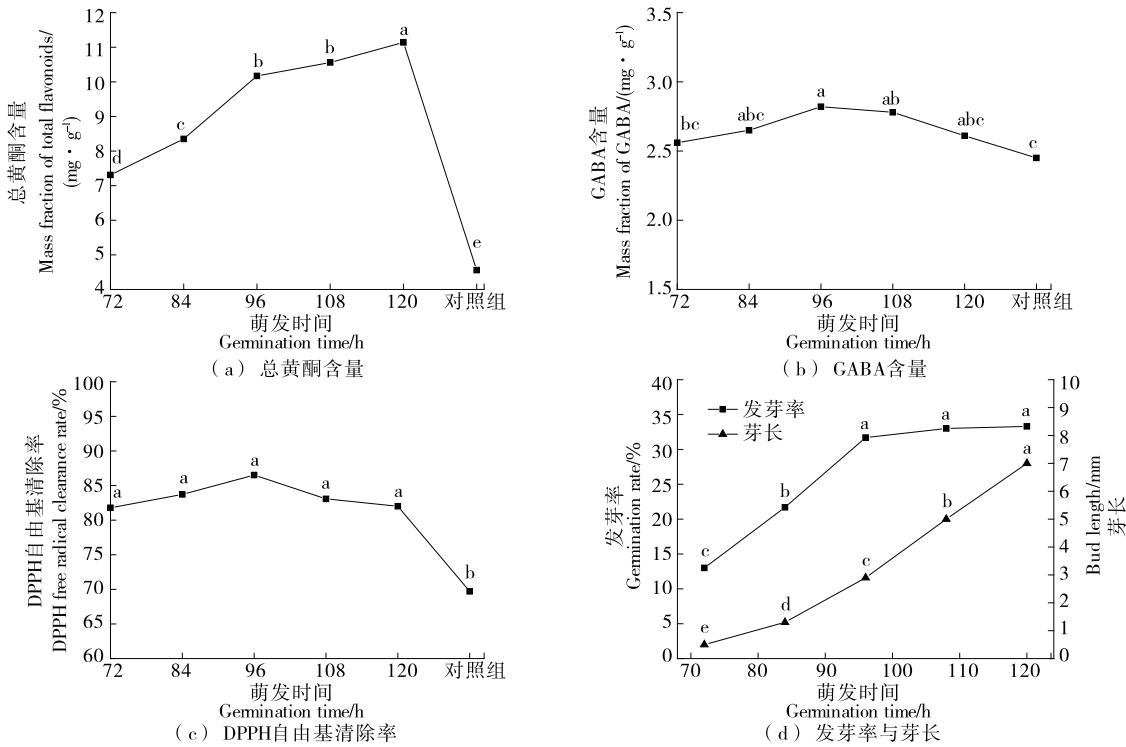
适宜温度为 25 ℃,与试验结果一致。与浸种温度相近的,在合理的萌发温度下,适度升高温度可以促进植物萌发。但萌发温度过高可导致苦荞籽粒中的酶类失去催化活力,抑制萌发<sup>[31]</sup>。综上,确定萌发温度 25 ℃为优化试验的 0 水平。

2.1.4 萌发时间对苦荞籽粒萌发的影响 由图 4 可知,当萌发时间为 96 h 时,总黄酮含量、GABA 含量及 DPPH 自由基清除率分别是对照组的 2.23,1.15,1.24 倍。虽然继续延长萌发时间可以在一定程度上提高总黄酮含量,但其提高速率明显放缓,同时也消耗胚乳中的碳水化合物、脂肪和蛋白质<sup>[32]</sup>。且 GABA 含量及 DPPH 自由基清除率开始呈降低的趋势,幼芽生长加快,在苦荞籽粒后续的生产加工中会因断裂而影响产量及营养。综上,确定

萌发时间 96 h 为优化试验的 0 水平。

2.2 萌发苦荞各指标间的相关性分析

基于单因素试验结果,通过 SPSS 软件对各指标进行相关性分析,结果如表 2 所示。总黄酮含量与 DPPH 自由基清除率及芽长显著正相关,GABA 含量与发芽率显著正相关,DPPH 自由基清除率与芽长显著正相关。孙丹等<sup>[33]</sup>研究发现,经浸泡处理后,苦荞总黄酮含量以及抗氧化活性提高,且 DPPH 自由基清除能力的趋势与总黄酮含量变化趋势相似,与试验结果一致。胡俊君等<sup>[34]</sup>研究表明,0~6 d,随着芽长的增大,苦荞籽粒的总黄酮含量逐渐升高,与试验结果一致。苦荞籽粒经浸种处理后,谷氨酸脱羧酶大量合成,并催化  $\alpha$ -谷氨酸脱羧反应进一步进行<sup>[35]</sup>,GABA 含量亦增加。且由于发芽率的提高,籽粒



同指标小写字母不同表示差异显著(P<0.05)  
图 4 萌发时间对苦荞籽粒总黄酮含量、GABA 含量、DPPH 自由基清除率、发芽率及芽长的影响  
Figure 4 Effects of germination time on total flavonoids mass fraction, GABA mass fraction, DPPH free radical scavenging rate, germination rate and bud length of tartary buckwheat

表 2 萌发后苦荞籽粒各指标的相关性分析<sup>†</sup>

Table 2 Correlation analysis of indexes in germinated tartary buckwheat

| 指标          | 总黄酮含量   | GABA 含量 | DPPH 自由基清除率 | 发芽率   | 芽长    |
|-------------|---------|---------|-------------|-------|-------|
| 总黄酮含量       | 1.000   |         |             |       |       |
| GABA 含量     | 0.856   | 1.000   |             |       |       |
| DPPH 自由基清除率 | 0.899 * | 0.616   | 1.000       |       |       |
| 发芽率         | 0.747   | 0.938 * | 0.597       | 1.000 |       |
| 芽长          | 0.914 * | 0.731   | 0.942 *     | 0.747 | 1.000 |

<sup>†</sup> \*. 在 0.05 水平上(双侧)显著相关。



中干物质含量下降,GABA 含量相对增加。发芽率及芽长可以反映萌发情况,不能精确地反映苦荞籽粒营养价值。其他各因素分析结果类似,不再赘述。综上,选择以总黄酮含量及 GABA 含量为响应值,通过响应面优化试验确定苦荞籽粒萌发最佳的条件。

2.3 苦荞籽粒萌发条件响应面优化

2.3.1 响应面优化试验设计与结果 根据单因素试验结果,选取浸种温度、浸种时间、萌发温度和萌发时间为试验因素,进行苦荞籽粒萌发条件的响应面优化试验。试验因素水平取值见表 3,结果见表 4。

2.3.2 回归方程的建立及变量分析 利用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 4 数据进行多元二次回归拟合,得到各因素对萌发苦荞总黄酮含量以及 GABA 含量响应值之间的四元二次回归方程:

$$X=-105.144\ 0+1.091\ 4A+0.417\ 8B+2.120\ 0C+1.518\ 6D-0.002\ 5AB+0.007\ 6AC+0.000\ 9AD+0.034\ 3BD-0.007\ 3CD-0.032\ 9A^2-0.229\ 9B^2-0.031\ 0C^2-0.008\ 2D^2,$$
 (3)

$$Y=-6.419\ 5+0.181\ 4A+0.328\ 2B+0.163\ 6C+0.081\ 4D+1.959\ 1\times10^{-4}AB+9.925\ 9\times10^{-5}AC+3.373\ 9\times10^{-5}AD-1.547\ 7\times10^{-3}BC-5.033\ 7\times10^{-5}BD+6.421\ 4\times10^{-5}CD-4.703\ 3\times10^{-3}A^2-0.018\ 0B^2-3.042\ 1\times10^{-3}C^2-4.253\ 1\times10^{-4}D^2。$$
 (4)

由表 5 可知,总黄酮含量及 GABA 含量的二次回归模型的  $P<0.000\ 1$ ,表明模型达到了极显著水平;二者响应值的失拟项  $P>0.05$ ,说明试验无失拟因素存在,试验误差小;试验模型的决定系数  $R^2$  分别为 0.923 4,0.950 9,说明建立的模型能分别解释 92.34%,95.09%响应值的变化;试验模型的校正系数  $R^2_{Adj}$  分别为 0.846 9,0.901 8,试验结果分别有 84.69%,90.18%受试验因素的影响;试验模型的变异系数分别为 4.43%,0.86%,均 $<10\%$ ,说明试验结果精确,可靠性较高;试验模型的信噪比分别为 13.241,13.753,均 $>4$ ,表明模型的响应信号足够强,可以用来拟合试验结果。因此,此模型可以对萌发苦荞总黄酮含量及 GABA 含量结果进行分析和预测。由各因素对响应值影响程度分析可知,影响萌发苦荞总黄酮含量的因素主次顺序为萌发时间 $>$ 浸种温度 $>$ 萌发温度 $>$ 浸种

时间;影响 GABA 含量的因素主次顺序为萌发温度 $>$ 萌发时间 $>$ 浸种温度 $>$ 浸种时间。其中,萌发温度对 GABA 含量影响极显著;萌发时间对总黄酮含量影响极显著,对 GABA 含量影响显著。

2.3.3 最佳萌发条件的确定及验证实验 利用 Design-Expert 8.0.6 软件进行优化分析并进行验证实验( $n=3$ ),得到苦荞籽粒总黄酮含量最高的萌发条件为浸种温度 21 ℃、浸种时间 8 h、萌发温度 25 ℃、萌发时间 100 h,在此萌发条件下,总黄酮含量为 10.35 mg/g,GABA 含量为 2.83 mg/g。苦荞籽粒 GABA 含量最高的萌发条件为浸种温度 20 ℃、浸种时间 8 h、萌发温度 26 ℃、萌发时间 98 h,在此萌发条件下,总黄酮含量为 10.34 mg/g,GABA

表 4 响应面试验设计方案及结果

Table 4 Experimental design and results of response surface analysis

| 试验号 | A  | B  | C  | D  | X 总黄酮含量/<br>(mg · g <sup>-1</sup> ) | Y GABA 含量/<br>(mg · g <sup>-1</sup> ) |
|-----|----|----|----|----|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1   | 0  | 1  | -1 | 0  | 8.61                                | 2.65                                  |
| 2   | 1  | 0  | -1 | 0  | 8.39                                | 2.63                                  |
| 3   | 0  | 0  | -1 | -1 | 7.53                                | 2.65                                  |
| 4   | 0  | -1 | 1  | 0  | 8.71                                | 2.76                                  |
| 5   | 0  | 0  | -1 | 1  | 9.06                                | 2.68                                  |
| 6   | 0  | 1  | 0  | -1 | 6.46                                | 2.69                                  |
| 7   | -1 | 0  | 0  | -1 | 7.08                                | 2.65                                  |
| 8   | 0  | 0  | 0  | 0  | 10.36                               | 2.88                                  |
| 9   | 0  | -1 | -1 | 0  | 8.49                                | 2.63                                  |
| 10  | -1 | -1 | 0  | 0  | 8.38                                | 2.66                                  |
| 11  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10.17                               | 2.85                                  |
| 12  | 1  | 0  | 0  | -1 | 7.38                                | 2.65                                  |
| 13  | 0  | 0  | 1  | 1  | 8.03                                | 2.77                                  |
| 14  | -1 | 0  | -1 | 0  | 8.34                                | 2.62                                  |
| 15  | 0  | 1  | 1  | 0  | 8.83                                | 2.73                                  |
| 16  | 0  | 0  | 0  | 0  | 9.99                                | 2.85                                  |
| 17  | 0  | 0  | 1  | -1 | 8.24                                | 2.71                                  |
| 18  | 1  | -1 | 0  | 0  | 8.49                                | 2.65                                  |
| 19  | -1 | 0  | 0  | 1  | 9.23                                | 2.67                                  |
| 20  | 0  | -1 | 0  | -1 | 8.46                                | 2.67                                  |
| 21  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10.39                               | 2.80                                  |
| 22  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10.45                               | 2.82                                  |
| 23  | 1  | 1  | 0  | 0  | 8.42                                | 2.65                                  |
| 24  | 1  | 0  | 1  | 0  | 9.43                                | 2.67                                  |
| 25  | 0  | 1  | 0  | 1  | 9.58                                | 2.74                                  |
| 26  | -1 | 1  | 0  | 0  | 8.41                                | 2.65                                  |
| 27  | 0  | -1 | 0  | 1  | 8.29                                | 2.72                                  |
| 28  | -1 | 0  | 1  | 0  | 8.62                                | 2.65                                  |
| 29  | 1  | 0  | 0  | 1  | 9.74                                | 2.68                                  |

表 3 苦荞籽粒萌发条件的 Box-Behnken 试验因素水平  
Table 3 Box-Behnken experimental factors and level of tartary buckwheat germination conditions

| 水平 | A 浸种温度/<br>℃ | B 浸种时间/<br>h | C 萌发温度/<br>℃ | D 萌发时间/<br>h |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -1 | 15           | 6            | 20           | 84           |
| 0  | 20           | 8            | 25           | 96           |
| 1  | 25           | 10           | 30           | 108          |

表 5 回归方程方差分析<sup>†</sup>  
Table 5 Analysis of variances for the developed regression equation

| 方差来源           | 总黄酮含量                |     |                      |                      |          |     | GABA 含量             |     |                     |        |          |     |
|----------------|----------------------|-----|----------------------|----------------------|----------|-----|---------------------|-----|---------------------|--------|----------|-----|
|                | 平方和                  | 自由度 | 均方                   | F 值                  | P 值      | 显著性 | 平方和                 | 自由度 | 均方                  | F 值    | P 值      | 显著性 |
| 模型             | 25.39                | 14  | 1.81                 | 12.06                | <0.000 1 | * * | 0.15                | 14  | 0.01                | 19.37  | <0.000 1 | * * |
| A              | 0.27                 | 1   | 0.27                 | 1.78                 | 0.203 9  |     | $9.17\times10^{-5}$ | 1   | $9.17\times10^{-5}$ | 0.17   | 0.686 7  |     |
| B              | $2.20\times10^{-2}$  | 1   | $2.20\times10^{-2}$  | 0.14                 | 0.709 9  |     | $5.08\times10^{-5}$ | 1   | $5.08\times10^{-5}$ | 0.09   | 0.763 8  |     |
| C              | 0.17                 | 1   | 0.17                 | 1.15                 | 0.301 8  |     | 0.02                | 1   | 0.02                | 28.88  | <0.000 1 | * * |
| D              | 6.42                 | 1   | 6.42                 | 42.73                | <0.000 1 | * * | $4.67\times10^{-3}$ | 1   | $4.67\times10^{-3}$ | 8.64   | 0.010 8  | *   |
| AB             | $2.50\times10^{-3}$  | 1   | $2.50\times10^{-3}$  | 0.02                 | 0.899 2  |     | $1.54\times10^{-5}$ | 1   | $1.54\times10^{-5}$ | 0.03   | 0.868 6  |     |
| AC             | 0.14                 | 1   | 0.14                 | 0.96                 | 0.343 7  |     | $2.46\times10^{-5}$ | 1   | $2.46\times10^{-5}$ | 0.05   | 0.834 1  |     |
| AD             | $1.10\times10^{-2}$  | 1   | $1.10\times10^{-2}$  | 0.07                 | 0.790 5  |     | $1.64\times10^{-5}$ | 1   | $1.64\times10^{-5}$ | 0.03   | 0.864 3  |     |
| BC             | $3.55\times10^{-15}$ | 1   | $3.55\times10^{-15}$ | $2.36\times10^{-14}$ | 1.000 0  |     | $9.58\times10^{-4}$ | 1   | $9.58\times10^{-4}$ | 1.77   | 0.204 4  |     |
| BD             | 2.71                 | 1   | 2.71                 | 18.00                | 0.000 8  | * * | $5.84\times10^{-6}$ | 1   | $5.84\times10^{-6}$ | 0.01   | 0.918 7  |     |
| CD             | 0.76                 | 1   | 0.76                 | 5.03                 | 0.041 5  | *   | $5.94\times10^{-5}$ | 1   | $5.94\times10^{-5}$ | 0.11   | 0.745 2  |     |
| A <sup>2</sup> | 4.39                 | 1   | 4.39                 | 29.17                | <0.000 1 | * * | 0.09                | 1   | 0.09                | 165.89 | <0.000 1 | * * |
| B <sup>2</sup> | 5.49                 | 1   | 5.49                 | 36.50                | <0.000 1 | * * | 0.03                | 1   | 0.03                | 62.01  | <0.000 1 | * * |
| C <sup>2</sup> | 3.91                 | 1   | 3.91                 | 25.98                | 0.000 2  | * * | 0.04                | 1   | 0.04                | 69.40  | <0.000 1 | * * |
| D <sup>2</sup> | 8.97                 | 1   | 8.97                 | 59.67                | <0.000 1 | * * | 0.02                | 1   | 0.02                | 45.00  | <0.000 1 | * * |
| 失拟项            | 1.96                 | 10  | $2.00\times10^{-1}$  | 5.48                 | 0.057 8  |     | $3.88\times10^{-3}$ | 10  | $3.88\times10^{-4}$ | 0.42   | 0.878 9  |     |
| 残差             | 2.10                 | 14  | $1.50\times10^{-1}$  |                      |          |     | $7.57\times10^{-3}$ | 14  | $5.41\times10^{-4}$ |        |          |     |
| 净误差            | 0.14                 | 4   | $3.60\times10^{-2}$  |                      |          |     | $3.69\times10^{-3}$ | 4   | $9.23\times10^{-4}$ |        |          |     |
| 总和             | 27.49                | 28  |                      |                      |          |     | 0.15                | 28  |                     |        |          |     |

<sup>†</sup> \* . P<0.05,差异显著; \* \* . P<0.01,差异极显著。

含量为 2.86 mg/g。在总黄酮含量最高的萌发条件下,萌发苦荞的总黄酮含量是对照组的 2.27 倍,GABA 含量是对照组的 1.16 倍。在 GABA 含量最高的萌发条件下,萌发苦荞的总黄酮含量是对照组的 2.27 倍,GABA 含量是对照组的 1.17 倍。经计算,在萌发苦荞总黄酮含量及 GABA 含量最高的萌发条件下总黄酮含量相近,而 GABA 含量在 GABA 含量最高的萌发条件下更佳。因此,最终确定苦荞籽粒的最佳萌发条件为:浸种温度 20℃、浸种时间 8 h、萌发温度 26℃、萌发时间 98 h。

2.3.4 应用试验 由表 6 可知,苦荞籽粒经萌发处理后,制成的苦荞茶总黄酮质量浓度及 GABA 质量浓度分别比对照组提高了 270.9% 及 62.9%。由图 5 可知,茶汤的颜色、透明度、香气、滋味分别比对照组提高了 7%,32%,2%,7%,感官评定总分比对照组提高了 9%,颜色更金黄色、鲜亮,澄清度更好,清香甘醇无异味,从整体上看说明萌发处理可以提高苦荞茶的功能性成分含量及感官品质。

3 结论

试验系统研究了浸种温度、浸种时间、萌发温度、萌发时间对萌发苦荞茶在萌发阶段总黄酮含量、GABA 含量、DPPH 自由基清除率、发芽率、芽长的影响,采用响应面设计得到了各因素与响应值关系的回归模型,得到苦荞籽粒的最佳萌发条件为:浸种温度 20℃、浸种时间

8 h、萌发温度 26℃、萌发时间 98 h。在此条件下,萌发苦荞的总黄酮含量、GABA 含量以及制茶后苦荞茶的总黄酮含量、GABA 含量及茶汤的颜色、透明度、香气、滋

表 6 苦荞茶总黄酮及 GABA 质量浓度的对比  
Table 6 Comparison of total flavonoid massconcentration and GABA mass concentration of tartary buckwheat tea

| 组别  | 总黄酮质量浓度         | GABA 质量浓度        |
|-----|-----------------|------------------|
| 萌发组 | $7.678\pm0.137$ | $13.142\pm0.244$ |
| 对照组 | $2.070\pm0.160$ | $8.070\pm0.420$  |

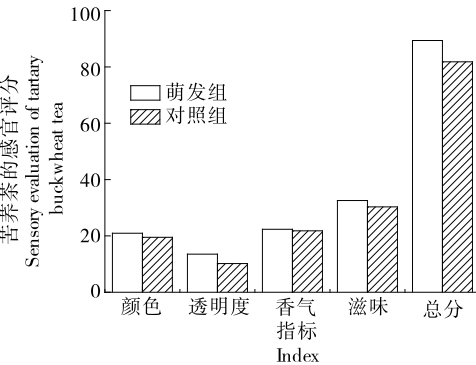


图 5 苦荞茶的感官评定结果  
Figure 5 Sensory evaluation oftartary buckwheat tea

味、总分等感官评分均优于对照组。后续可进一步对萌发苦荞进行深加工并开展相关产品品质形成机理研究,以拓宽萌发苦荞利用范围并提高其附加值。

### 参考文献

- [1] 张杰,程伟,李娜,等.苦荞营养成分及其黄酮类物质提取工艺研究[J].酿酒,2019,46(5):12-16.
- [2] MORIN B, DAVIES M J, DEAN R T. The protein oxidation product 3, 4-dihydroxyphenylalanine mediates oxidative DNA damage [J]. Biochemical Journal, 1998, 330 (3): 1 059-1 067.
- [3] 陈鹏,刘洋,张曼,等.苦荞籽粒蛋白质亚基的分离及其营养评价[J].营养学报,2011,33(1):10-13.
- [4] KIM S L, KIM S K, PARK C H. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable[J]. Food Research International, 2004, 37(4): 319-327.
- [5] VANESA Guillén-Casla, ROSALES-CONRADO N, MARÍA Eugenia León-González, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(3): 456-464.
- [6] 蒲升惠,高颖,赵志峰,等.苦荞中活性物质及其保健功效研究进展[J].食品工业科技,2019,40(8):331-336.
- [7] BONAFACCIA G, MAROCCHINI M, KREFT I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat[J]. Food Chemistry, 2003, 80(1): 9-15.
- [8] 童晓萌.萌发发芽荞麦茶的研制及品质评价[D].天津:天津商业大学,2019:1-3.
- [9] 石磊,刘超,梁霞,等.萌发荞麦中芦丁和槲皮素含量变化的研究[J].食品研究与开发,2016,37(15):30-33.
- [10] MERENDINO N, MOLINARI R, COSTANTINI L, et al. A new "functional" pasta containing tartary buckwheat sprouts as an ingredient improves the oxidative status and normalizes some blood pressure parameters in spontaneously hypertensive rats [J]. Food & Function, 2014, 5(5): 1 017-1 026.
- [11] RAMOSROMERO S, HEREU M, ATIENZA L, et al. Functional effects of the buckwheat iminosugar d-fagomine on rats with diet-induced prediabetes [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2018, 62(16): 1-32.
- [12] UNICHENKO P, KIRISCHUK S, LUHMANN J. GABA transporters control GABA ergic neurotransmission in the mouse subplate[J]. Neuroscience, 2015, 304 (7): 217-227.
- [13] 陈春旭,李海虹,高红梅,等.一种发芽苦荞格瓦斯饮料制备工艺研究[J].安徽科技学院学报,2020,34(1):56-63.
- [14] 曾婷婷,张伟,付婷婷,等.重庆地区市售代用茶质量安全初步调查[J].南方农业,2019,13(34):36-39.
- [15] 赵英彩.一种苦荞茶的加工方法:CN107912572A[P].2018-04-17.
- [16] 巩发永,李静.一种挤压成型苦荞茶的制备工艺:CN106560047A[P].2017-04-12.
- [17] 李晓丹.苦荞胁迫萌发及功能性成分的研究[D].无锡:江南大学,2013:17-38.
- [18] 彭涛,马文锦,张怀予,等.利用响应面法优化苦荞萌动茶发芽工艺的研究[J].食品科技,2013,38(1):103-108.
- [19] 张乐宏,付建瑞,李岩,等.麦饭石水培养养麦的发芽工艺及麦芽的抗氧化活性[J].现代食品科技,2018,34(7):187-195,186.
- [20] 李晓丹,王莉,王韧,等.金属盐离子对苦荞萌发及其总黄酮含量的影响[J].中国粮油学报,2012,27(10):26-31.
- [21] 衣申艳,陆国权.甘薯黄酮含量近红外反射光谱分析模型的构建及其应用[J].光谱实验室,2013,30(2):860-864.
- [22] 王青.苦荞萌发物中营养成分提取测定及黄酮类化合物抗肿瘤活性的研究[D].上海:上海海洋大学,2011:19-28.
- [23] 赵琳.挤压苦荞茶生产工艺的优化及其对秀丽隐杆线虫生理生化指标的影响[D].长沙:湖南农业大学,2015:10-20.
- [24] 李强,孙步功,张鹏,等.紫花苜蓿种子破眠方法的设计与试验研究[J].农机化研究,2021,43(6):161-165.
- [25] 马紫怡.野大麦种子休眠与萌发特性的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2019:2-12.
- [26] 张良晨,李东红,于森,等.发芽糙米 $\gamma$ -氨基丁酸富集工艺的研究进展[J].农业科技与装备,2019(4):51-53.
- [27] 张绍智,普红梅,张静,等.培养条件及干燥方式对苦荞芽苗品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2020,11(7):2 109-2 115.
- [28] 裴淑敏,陈茗,赵天瑶,等.浸种与光照时间对蚕豆芽苗菜生长与品质的影响[J].中国农业大学学报,2019,24(10):1-9.
- [29] 李海平,李灵芝,任彩文,等.温度、光照对苦荞麦种子萌发、幼苗产量及品质的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2009,34(5):158-161.
- [30] 何俊星,何平,张益锋,等.温度和盐胁迫对金荞麦和荞麦种子萌发的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2010,35(3):181-185.
- [31] 李静舒.温度和干旱胁迫对荞麦种子萌发的影响[J].山西农业科学,2014,42(11):1 160-1 162,1 168.
- [32] 胡靳缤.发酵型萌动苦荞麦酸奶的研究[D].太原:山西大学,2014:2-9.
- [33] 孙丹,黄士淇,蔡圣宝.不同加工方式对苦荞中总酚、总黄酮及抗氧化性的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(1):141-147.
- [34] 胡俊君,仪鑫,李红梅,等.苦荞发芽期不同部位的活性成分含量变化[J].食品研究与开发,2017,38(23):13-17,87.
- [35] BOUCHE N, LACOMBE B, FROMM H. GABA signaling: A conserved and ubiquitous mechanism [J]. Trends in Cell Biology, 2003, 13(12): 607-610.