

# 藜麦萌发促进其活性成分的释放

王雨<sup>1</sup>, 左永梅<sup>2</sup>, 周学永<sup>1</sup>, 付荣霞<sup>1</sup>, 肖建中<sup>3</sup>, 任贵兴<sup>4</sup>, 周海涛<sup>5</sup>

(1. 天津市农副产品深加工技术工程中心, 天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300384)

(2. 河北省农林科学院滨海农业研究所, 河北唐山 063200) (3. 天津市黑马工贸有限公司, 天津 301711)

(4. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081) (5. 张家口市农业科学院, 河北张家口 0750002)

**摘要:** 本研究以青海藜麦为研究对象, 考察了温度和时间对藜麦萌发干重的影响, 分析了多酚、黄酮、皂苷、单宁、植酸等活性成分含量及产率变化。结果表明, 萌发温度和时间对藜麦芽干重均有较大影响, 在20 °C条件下萌发24 h藜麦芽干重增加最大(25.20%), 此后干重下降, 而在其它温度条件下藜麦芽干重总体上呈减小的趋势。萌发温度和时间对藜麦芽中活性成分含量均有一定影响, 在12~72 h之间, 藜麦芽中多酚、黄酮和皂苷含量随萌发时间延长而增加, 而单宁含量则呈波动变化趋势, 至72 h时, 单宁含量在25 °C条件下最高(2.08 mg/g), 而在15 °C条件下最低(0.70 mg/g); 在15~35 °C条件下藜麦芽植酸含量随萌发时间的延长而下降。本研究从活性成分产率的角度(为评价指标)进行综合分析, 以提高多酚和黄酮的产率, 降低皂苷、单宁和植酸等抗营养因子产率, 最终筛选出的适宜萌发条件是: 萌发温度30 °C, 萌发时间48~60 h。本研究为藜麦芽产品开发提供了实验依据。

**关键词:** 藜麦; 萌发温度; 萌发时间; 活性成分

文章编号: 1673-9078(2020)08-126-133

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.8.1177

## Quinoa Germination Promoted the Release of its Active Ingredients

WANG Yu<sup>1</sup>, ZUO Yong-mei<sup>2</sup>, ZHOU Xue-yong<sup>1</sup>, FU Rong-xia<sup>1</sup>, XIAO Jian-zhong<sup>3</sup>, REN Gui-xing<sup>4</sup>,  
ZHOU Hai-tao<sup>5</sup>

(1. Tianjin Engineering and Technology Research Center of Agricultural Products Processing, College of Food Science and Bioengineering, Tianjin Agriculture University, Tianjin 300384, China) (2. Binhai Agricultural Research Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Tangshan 063200, China) (3. Tianjin Heima Industry and Trade Limited Company, Tianjin 301711, China) (4. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China) (5. Zhangjiakou City Academy of Agricultural Science, Zhangjiakou 075002, China)

**Abstract:** In this study, Qinghai quinoa was taken as the research object, the effects of germination temperature and time on the dry weight of germinated quinoa were investigated, then the contents and the yield changes of active ingredients such as polyphenols, flavonoids, saponins, tannins and phytic acid were analyzed. The results showed that the dry weight of quinoa sprouts was greatly influenced by germination temperature and time, and had the greatest increment (by 25.20%) after a 24 h germination at 20 °C, with a decreasing trend detected in the dry weight of quinoa sprouts at other temperatures. The contents of active ingredients in quinoa sprouts were also affected by both germination temperature and time. After germination for 12 to 72 h, the contents of polyphenols, flavonoids and saponins in quinoa sprouts increased with germination time, while the tannin content showed a fluctuating trend. After germination for 72 h, the tannin content was the highest (2.08 mg/g) at 25 °C but the lowest (0.70 mg/g) at 15 °C. The content of the phytic acid content in quinoa sprouts decreased with prolonged germination time at a temperature between 15 °C and 35 °C. In the present study, a comprehensive analysis of the yields of active ingredients (as the evaluation

引文格式:

王雨,左永梅,周学永,等.藜麦萌发促进其活性成分的释放[J].现代食品科技,2020,36(8):126-133

WANG Yu, ZUO Yong-mei, ZHOU Xue-yong, et al. Quinoa germination promoted the release of its active ingredients [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 126-133

收稿日期: 2019-12-02

基金项目: 大学生创新训练国家级项目(201910061006); 天津市科技支撑重点项目(18YFZCNC01270)

作者简介: 王雨(1997-), 女, 本科, 研究方向: 食品生物工程

通讯作者: 周学永(1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物安全与工程; 共同通讯作者: 付荣霞(1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工工程

indices) was conducted, to improve the yields of polyphenols and flavonoids and reduce the yields of anti-nutritional factors such as saponins, tannins and phytic acids. The optimum conditions for germination were finally established as follows: germination temperature 30 °C, and germination time 48~60 h. This study provides an experimental basis for the development of quinoa sprout products.

**Key words:** quinoa; germination temperature; germination time; active ingredients

藜麦是原产于南美洲安第斯山区的传统粮食作物, 2011年被我国山西省静乐县正式引种成功后, 青海<sup>[1]</sup>、西藏<sup>[2]</sup>、新疆<sup>[3]</sup>、甘肃<sup>[4]</sup>、宁夏<sup>[5]</sup>、吉林<sup>[6]</sup>和四川<sup>[7]</sup>等地相继开展种植研究, 目前全国栽培面积约 9000 hm<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。藜麦属于双子叶藜科植物<sup>[9]</sup>, 其果实称之为瘦果; 而常见粮食大部分属于禾本科谷物, 其果实称之为颖果。因此, 藜麦果实通常被称之为“拟谷物”。但就粮食特性而言, 藜麦果实与常见谷物差别并不大, 印度出版的农业专著就将藜麦列入谷物范畴<sup>[10]</sup>。藜麦蛋白质、纤维素和微量元素含量高, 且富含人体必需的氨基酸<sup>[11,12]</sup>, 因此受到了消费者的广泛关注。

藜麦不仅营养价值高, 而且富含黄酮、多酚、多糖、植物甾醇、蜕皮激素等多种活性成分<sup>[13,14]</sup>, 具有抗氧化、抗衰老、抗三高(高血压、高血糖、高血脂)、增强免疫等生理功效<sup>[15]</sup>。此外, 藜麦还含有皂苷、植酸等抗营养成分<sup>[16]</sup>, 对营养吸收会产生负面影响, 尤其是皂苷, 由于其味道苦涩, 对藜麦的口感影响较大<sup>[17,18]</sup>。据国外报道<sup>[19]</sup>, 藜麦萌发不仅能够降低皂苷含量, 还有软化谷物、激发酶活性和提高营养的作用。国内胡洁等<sup>[20]</sup>研究发现, 藜麦种子萌发 3 d 后, 多酚、黄酮、 $\gamma$ -氨基丁酸等活性物质含量提高, 但没有考察皂苷、植酸含量变化。

综上所述, 藜麦在萌发过程中会发生许多生理生化反应, 伴随营养和生物活性物质的转化。如果藜麦萌发能够提高抗氧化等生物活性物质的功能, 同时又能降低皂苷、植酸等抗营养物质含量, 那么萌发处理将成为提高藜麦营养价值的一个重要手段。截至目前, 国内外相关研究没有考虑萌发过程中活性物质产率的变化, 也没有考虑萌发温度的影响。本研究系统探索萌发温度和时间对藜麦活性成分及干重的影响, 分析活性成分产率的动态变化, 提供成本计算依据, 为下游产品奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

藜麦种子为来自青海省农科院的青藜 2 号, 多酚、黄酮、皂苷、单宁和植酸检测试剂均为分析纯。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 藜麦种子萌发实验

每次称取藜麦种子 5.00 g, 用无菌水清洗两遍, 放置于铺有两层滤纸的托盘中。托盘内洒上无菌水, 置于培养箱, 萌发温度分别设置为 15、20、25、30、35 °C。每隔 12 h 淋无菌水 1 次, 并分别于 12、24、36、48、72 h 取样, 观察发芽情况并测定干重。发芽率测定按 GB/T 5520-2011《粮油检验 发芽实验》进行, 干重测定采用 60 °C 烘干后称量法(g)。

#### 1.2.2 多酚含量测定

准确称取 1.00 g 藜麦芽粉于三角瓶中, 加入 30 mL 70% 的乙醇溶液, 密封瓶口, 在水浴振荡器中提取 (50 °C, 120 r/min, 2 h) 后过滤, 定容至 50 mL, 得到多酚提取液。取多酚提取液 1 mL, 加入 1 mL 福林酚和 10 mL 水并混匀。在 5~8 min 内, 加入 3 mL 20% 的碳酸钠溶液, 充分反应后用蒸馏水定容, 并摇匀, 避光反应 2 h, 测定吸光度 (波长 765 nm)。做出没食子酸标准曲线, 以其计算多酚含量<sup>[21]</sup>。

#### 1.2.3 黄酮含量的测定

准确称取藜麦芽粉末 0.50 g 于 10 mL 离心试管中, 加入 50% 乙醇 5 mL, 振荡提取 (300 次/min) 5 h, 离心得到黄酮提取液。取 1 mL 提取液于容量瓶中, 依次加入亚硝酸钠溶液 (5%)、硝酸铝溶液 (10%) 各 1 mL, 氢氧化钠溶液 4 mL (10%), 摇匀, 放置 20 min 后加蒸馏水定容至 25 mL。测定吸光度 (波长 500 nm), 做出芦丁标准曲线, 以其计算黄酮含量<sup>[22]</sup>。

#### 1.2.4 皂苷含量的测定

在 10 mL 离心管中加入准确称量的藜麦芽粉 0.20 g, 再加入 75% 的乙醇溶液, 振荡提取 8 h, 离心去除沉淀。取提取液 0.20 mL, 加入 0.20 mL 的香草醛-乙酸溶液 (5%) 和高氯酸 0.80 mL, 置于 60 °C 水浴 15 min, 取出, 放入冰水中冷却后, 加入 4 mL 乙酸, 摇匀静置 10 min。测定吸光度 (波长 546.5 nm), 做出齐墩果酸标准曲线, 以其计算皂苷含量<sup>[23,24]</sup>。

#### 1.2.5 单宁含量的测定

在 50 mL 离心管中加入准确称量的藜麦芽粉 1.00 g, 再加入 10 mL 75% 二甲基甲酰胺溶液, 封好后在室温下振荡提取 1 h, 离心, 得单宁提取液。将提取液 1 mL 移入离心管中, 加入蒸馏水 2 mL, 氨水溶液 (8 g/L) 1 mL, 混匀, 静置 10 min, 测定吸光度 (波长 525 nm), 数值记为 A<sub>1</sub>。再移取 1 mL 提取液于离

心管中,加入蒸馏水 1 mL,柠檬酸铁铵溶液(3.50 g/L) 1 mL 和氨水溶液(8 g/L) 1 mL,混匀,静置 10 min,测定吸光度(波长 525 nm),数值记为  $A_2$ 。利用两次吸光度差值( $A_2-A_1$ )及标准曲线图计算单宁含量<sup>[25,26]</sup>。

### 1.2.6 植酸含量测定

在 50 mL 离心管中加入准确称量的藜麦芽粉 1.00 g,加入 25 mL 硝酸溶液(0.50 mol/L),30 °C 振荡提取 4 h,离心,得到植酸提取液。将提取液 2.0 mL 移入离心管中,依次加入硝酸溶液(0.5 mol/L) 5.40 mL,硫酸铁铵溶液(0.02%) 0.60 mL,摇匀,放入沸水浴中 20 min,结束后,放于流水中快速冷却,达到室温后,移入 0.20 mL 硫氰酸铵溶液,混匀,静置 2 min,测定吸光度(波长 500 nm),做出植酸钠标准曲线,以其计算植酸含量<sup>[27]</sup>。空白对照样品制备步骤与上相同,但不加入硫酸铁铵溶液。

### 1.2.7 活性成分产率计算

藜麦芽中多酚、黄酮、皂苷、单宁和植酸等活性成分产率按以下公式计算:

$$\text{活性成分产率}(\%) = \frac{M_1 \times W_1}{M_0 \times W_0}$$

式中:  $M_0$ 、 $M_1$  分别为藜麦种子和藜麦芽中活性成分含量,%;  $W_0$ 、 $W_1$  分别为藜麦种子和藜麦芽的干重, g。

### 1.2.8 数据处理

采用 Excel 2016 软件处理实验数据与作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 萌发温度对藜麦芽干重的影响

藜麦种子分别在 15~35 °C 条件下萌发,每隔 12 h 取样烘干,藜麦芽干重变化结果见图 1。

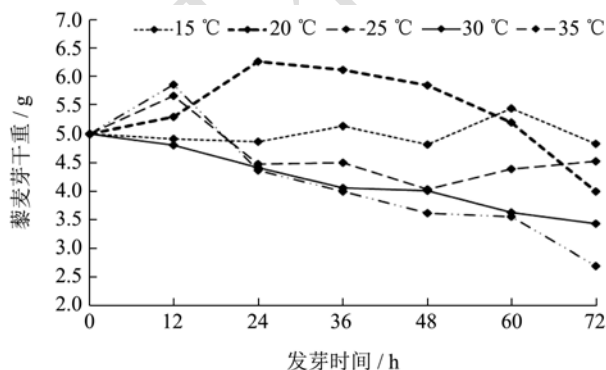


图 1 萌发温度对藜麦芽干重的影响

Fig.1 Effect of germination temperature on the dry weight of quinoa

由图 1 可知,藜麦种子在萌发过程中温度对干重变化有较大影响。15 °C 条件下藜麦芽干重变化不大,在

20 °C 条件下藜麦芽干重增加最为明显,至 24 h 达到最大值,干重增加 25.20%,此后逐渐下降。在 25 °C、30 °C、35 °C 培养条件下,藜麦芽干重总体呈逐渐下降的趋势。

### 2.2 萌发温度对藜麦芽多酚含量和产率的影响

在温度为 15~35 °C 条件下,萌发温度对藜麦芽多酚含量的影响见图 2。

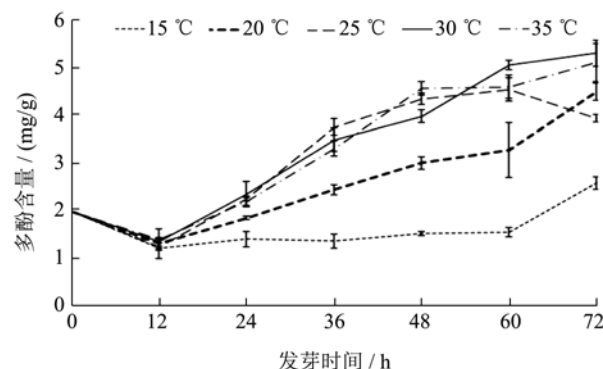


图 2 萌发温度对藜麦芽多酚含量影响

Fig.2 Effect of germination temperature on the content of polyphenols in quinoa malt

藜麦种子萌发前多酚含量为 1.97 mg/g,在种子萌发过程中,多酚含量大体上呈先降低后增加的趋势。当发芽 12 h 时,各个温度条件下藜麦芽多酚含量均降低至 1.20~1.30 mg/g 左右,此后多酚含量开始上升,并因萌发温度不同而呈现一定差异。至萌发 72 h 时,30 °C 条件下培养的藜麦芽中多酚含量最大(5.29 mg/g),35 °C 条件下次之(5.09 mg/g),而 15 °C 条件下培养的藜麦芽中多酚最低(2.57 mg/g)。

苗灵香<sup>[21]</sup>实验证实,藜麦萌发 6~16 h,多酚含量呈增加趋势。胡洁等<sup>[20]</sup>研究发现,藜麦萌发 1 d 之后,多酚含量呈现先增加后逐渐减少的趋势,第 3 d 达到峰值 4.94 mg/g。Carciochi 等<sup>[28]</sup>报道,藜麦萌发 24~72 h,主要酚类物质如对羟基苯甲酸、香草酸、对香豆酸、阿魏酸、槲皮素等含量均呈上升趋势。上述报道与本研究结果一致。

萌发温度对藜麦芽多酚产率的影响见图 3。由图 3 可知,在 15 °C 萌发条件下,藜麦芽多酚产率最低,而在 20 °C~35 °C 萌发条件下,藜麦芽多酚产率在 36~60 h 区段相差不大,处于 165%~201% 之间。藜麦多酚具有重要的抗氧化作用。国外有研究表明<sup>[29]</sup>,藜麦种子和嫩芽中的多酚含量较高。由于酚羟基结构可以清除体内过剩的自由基,阻止活性氧引起的生物大分子(如脂类、蛋白质、DNA)的氧化损伤,从而表现出较强的抗氧化能力<sup>[30]</sup>。因此,为了使藜麦芽中多酚具有较高产率,选择在 20 °C~35 °C 条件下萌发 36~60 h 为宜。

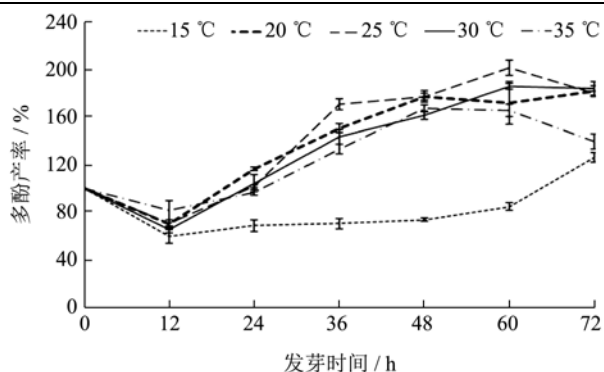


图3 萌发温度对藜麦芽多酚产率影响

Fig.3 Effect of germination temperature on the yield of polyphenols in quinoa malt

### 2.3 萌发温度对藜麦芽黄酮含量和产率的影响

在温度为15~35 °C条件下，萌发温度对藜麦芽黄酮含量的影响见图4。

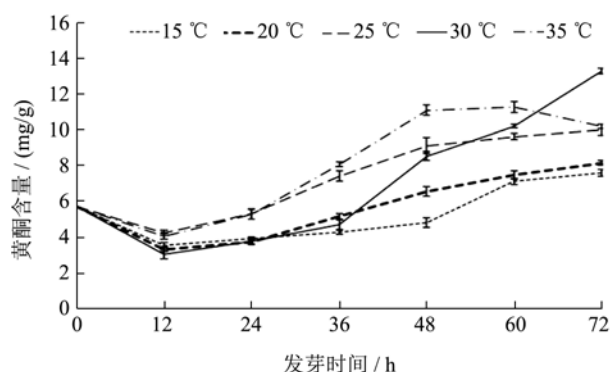


图4 萌发温度对藜麦芽黄酮含量影响

Fig.4 Effect of germination temperature on the content of flavonoid in quinoa malt

由图4可知，藜麦种子萌发前黄酮含量为5.71 mg/g。在种子萌发过程中，黄酮含量大体上呈先降低后增加的趋势。至发芽12 h时，在不同培养温度下藜麦芽内的黄酮含量均降低至3~4 mg/g左右。此后，黄酮含量开始上升并因培养温度不同而呈现一定差异。至72 h时，30 °C条件下培养的藜麦芽中黄酮含量最大（13.26 mg/g），35 °C和25 °C条件下次之（分别为10.18和9.98 mg/g），而在15 °C条件培养的藜麦芽中黄酮含量最低（7.59 mg/g）。

有研究表明<sup>[21]</sup>，藜麦萌发6~16 h，黄酮含量呈增加趋势（0.70~1.20 mg/g），16 h以后没有继续研究。胡洁<sup>[20]</sup>研究证实，藜麦萌发第4 d黄酮含量达到最高值1.29 mg/g，此后由于旺盛的呼吸作用消耗使黄酮含量下降。本研究结果中黄酮含量变化趋势与文献报道一致，但含量差异较大。分析原因，这可能与藜麦品种以及提取方法不同有关。据国外报道<sup>[31,32]</sup>，南美洲安第斯山区藜麦黄酮含量在0.36~1.44 mg/g之间，不同品

种呈现出较大差异。此外，提取方法对测定结果也有较大影响。采用乙醇浸提法测定藜麦种子总黄酮含量，其平均得率为2.65 mg/g<sup>[33]</sup>；如果乙醇提取过程中借助微波辅助技术，则藜麦黄酮提取量达到6.50 mg/g<sup>[34]</sup>。萌发温度对藜麦芽黄酮产率影响见图5。

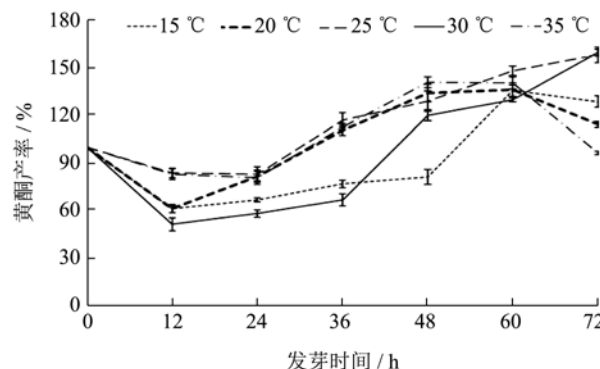


图5 萌发温度对藜麦芽黄酮产率影响

Fig.5 Effect of germination temperature on the yield of flavonoid in quinoa malt

由图5可知，在36~60 h萌发区段，20 °C、25 °C和35 °C条件下藜麦芽黄酮产率相差不大。15 °C和30 °C萌发条件下黄酮产率总体偏低，但在48~60 h区间，30 °C萌发条件下黄酮产率提高较快，达到120%~130%之间，与最高产率接近。

### 2.4 萌发温度对藜麦芽皂苷含量和产率的影响

在温度为15~35 °C条件下，萌发温度对藜麦芽皂苷含量的影响见图6。

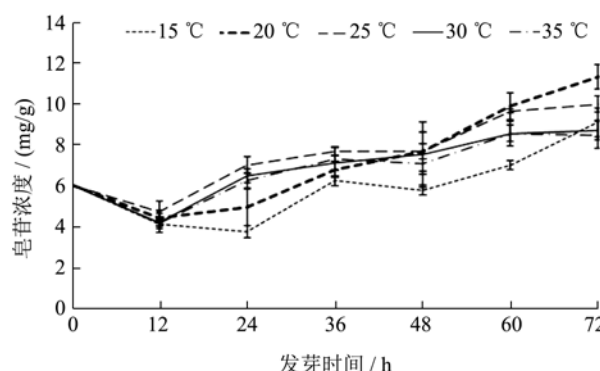


图6 萌发温度对藜麦芽皂苷含量影响

Fig.6 Effect of germination temperature on the content of saponin in quinoa malt

藜麦种子萌发前皂苷含量为6.06 mg/g，在种子萌发过程中，皂苷含量大体上呈先降低后增加的趋势。至发芽12 h时，藜麦芽皂苷含量均降低至4~5 mg/g左右，此后缓慢上升。在48~72 h阶段，15 °C条件下萌发的藜麦芽皂苷含量总体最低，其次为30 °C和35 °C条件下，而20~25 °C培养的藜麦芽中皂苷含量较高。以萌发72 h计算，20 °C条件下皂苷含量最高（11.31

mg/g), 35 °C条件下皂苷含量最低(8.49 mg/g)。国外有文献报道, 萌发可以降低藜麦种子中皂苷含量<sup>[35]</sup>, 但文中并没有提供数据支持。黄金等<sup>[36]</sup>报道, 藜麦萌芽初期(6 h内)皂苷含量迅速下降, 在6~42 h期间含量保持平稳, 42 h后逐渐升高直至96 h时达最高值7.80 mg/g, 萌芽120 h后皂苷含量再次开始下降。本研究也发现了萌发初期皂苷含量下降现象, 但12 h后皂苷含量边逐步上升。由于萌发4~5 d后部分藜麦芽出现烂根萎缩现象, 本研究没有继续探讨萌发72 h以后的结果。萌发温度对藜麦芽皂苷产率影响见图7。

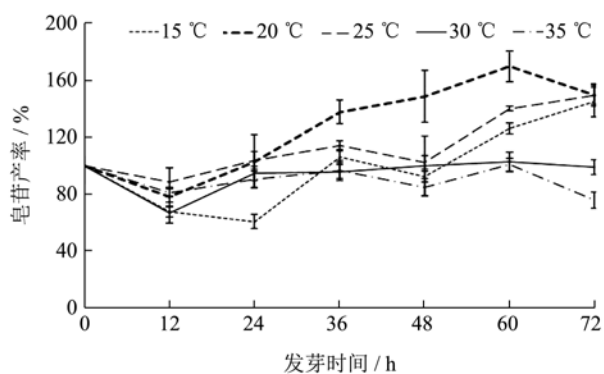


图7 萌发温度对藜麦芽皂苷产率影响

Fig.7 Effect of germination temperature on the yield of saponin in quinoa malt

由图7可见, 萌发温度和时间对藜麦芽皂苷产率有较大影响。在36~72 h萌发区段, 20 °C条件下藜麦芽皂苷产率最高, 而35 °C条件下藜麦芽皂苷产率最低。尤其需要指出的是, 在48 h阶段, 除20 °C条件以外, 其余各温度下藜麦芽皂苷产率均处于较低水平。

藜麦皂苷是一种抗营养物质<sup>[16]</sup>, 且味道苦涩, 对藜麦口感和营养吸收均有较大影响。本研究虽未发现萌发能够降低皂苷含量, 但在30~35 °C条件下萌发可以降低藜麦皂苷产率, 这一结果可以为藜麦芽产品的开发提供重要参考价值。

## 2.5 萌发温度对藜麦芽单宁含量和产率的影响

在温度为15~35 °C条件下, 萌发温度对藜麦芽单宁含量的影响见图8。

藜麦种子单宁含量为0.96 mg/g。在种子萌发过程中, 单宁含量呈现波动变化趋势, 但在24~60 h区间, 15和20 °C条件下萌发的藜麦芽中单宁含量总体上低于其它温度。至72 h时, 25 °C条件下萌发的藜麦芽中单宁含量最高(2.08 mg/g), 与萌发前种子相比增加了100%; 而在15 °C条件下最低(0.70 mg/g), 与萌发前种子相比降低了27.09%。可见, 温度对藜麦萌发过程中的单宁含量变化有较大影响。据国外报道<sup>[32]</sup>, 藜麦种子中单宁含量在0.50%左右, 其含量高于本研究

所采用的青藜2号样品, 差异原因可能与品种和测定方法有关。萌发温度对藜麦芽单宁产率影响见图9。

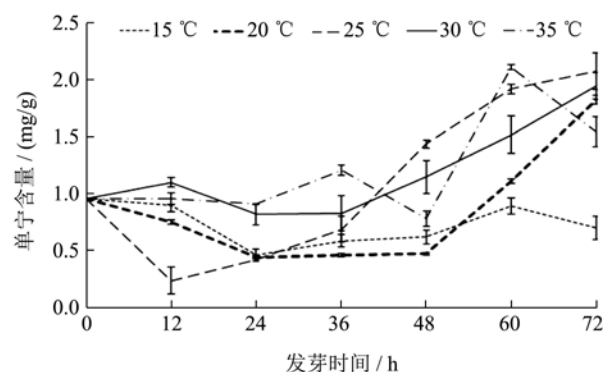


图8 萌发温度对藜麦芽单宁含量影响

Fig.8 Effect of germination temperature on the content of tannin in quinoa malt

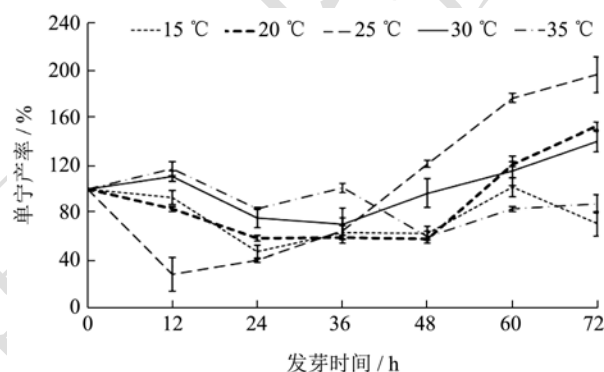


图9 萌发温度对藜麦芽单宁产率影响

Fig.9 Effect of germination temperature on the yield of tannin in quinoa malt

由图9可知, 萌发温度和时间对藜麦芽单宁产率有较大影响。在48~72 h萌发阶段, 在25 °C条件下藜麦芽单宁产率最高, 而在15 °C、20 °C、30 °C和35 °C条件下藜麦芽单宁产率相对较低。

单宁具有一定的抗氧化功能<sup>[37]</sup>, 但由于是抗营养物质, 它的存在能使食品中的蛋白质形成难溶性络合物, 从而降低蛋白酶、脂肪酶等消化酶类的活性, 抑制蛋白质、脂肪等营养物质的吸收<sup>[38]</sup>。因此, 从营养吸收的角度, 藜麦芽中单宁含量应控制在较低水平。

## 2.6 萌发温度对藜麦芽植酸含量的影响

在温度为15~35 °C条件下, 萌发温度对藜麦芽植酸含量的影响见图10。藜麦种子萌发前植酸含量为10.96 mg/g。在种子萌发过程中, 植酸含量大体上呈降低的趋势。30 °C萌发条件下, 植酸含量减少速率最快, 72 h时降低至3.52 mg/g; 15 °C萌发条件下植酸含量减少速率最慢, 72 h时降低至7.75 mg/g。由此可见, 植酸含量受温度影响较大。

Kozioł<sup>[39]</sup>检测了5个品种的藜麦, 植酸含量在

10.50~13.50 mg/g 之间,其结果与本研究藜麦种子植酸含量基本一致。据 Valencia 等<sup>[40]</sup>研究,藜麦种子在 30 °C 条件下萌发 30 h,植酸含量下降 48.60%,其趋势与本研究结果一致。

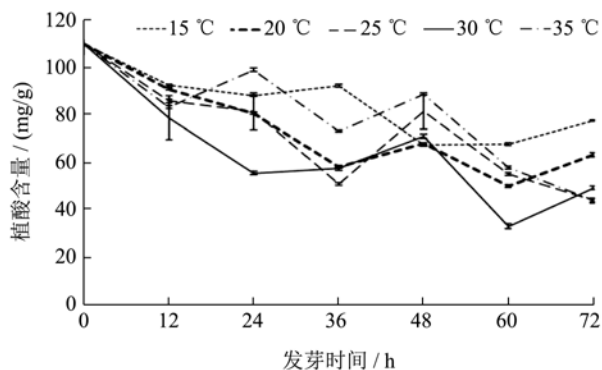


图 10 萌发温度对藜麦芽植酸含量影响

Fig.10 Effect of germination temperature on the content of Phytic acid in quinoa malt

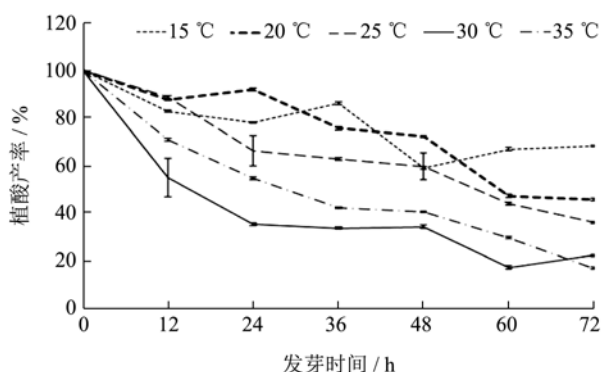


图 11 萌发温度对藜麦芽植酸产率影响

Fig.11 Effect of germination temperature on the yield of Phytic acid in quinoa malt

萌发温度对藜麦芽植酸产率影响见图 11。从图 11 可以看出,随着萌发的进行,藜麦芽植酸产率呈下降的趋势,但温度有较大影响。在 15~25 °C 条件下萌发,藜麦芽植酸产率居于较高水平,而在 30~35 °C 条件下萌发,藜麦芽中植酸产率居于较低水平。

### 3 结论

藜麦种子含有多种活性成分,如多酚、黄酮类化合物、皂苷、单宁和植酸,萌发温度和时间对上述活性成分含量变化具有较大影响。但由于萌发温度和时间对藜麦干重有较大影响,因此,仅凭活性成分含量变化确立最佳萌发温度和时间是不全面的,应从活性成分产率的角度进行综合分析。为了提高藜麦芽产品的抗氧化功能,应尽量提高多酚、黄酮的产率,同时尽可能降低皂苷、单宁和植酸等抗营养因子成分的产率。在此基础上,本研究筛选出 30 °C 条件下萌发 48~60 h 的萌发条件,可使藜麦芽活性成分组合达到

较优水平。本研究为藜麦芽产品开发工艺优化提供了实验依据。

### 参考文献

- [1] 康建奎.青海高原有机藜麦栽培技术[J].青海农技推广, 2018,4:24-25  
KONG Jian-kui. Cultivation techniques of organic quinoa in Qinghai plateau [J]. Qinghai Agricultural Technology Promotion, 2018, 4: 24-25
- [2] 毛浓文,扎西群措,张玉,等.拉萨藜麦引种及栽培技术[J].西藏农业科技,2017,39(4):33-37  
MAO Nong-wen, ZHAXI Qun-cuo, ZHANG Yu, et al. Introduction and cultivation techniques of quinoa in Lhasa [J]. Tibet Journal of Agricultural Sciences, 2017, 39(4): 33-37
- [3] 周英,魏明锋.新疆北疆地区藜麦栽培技术[J].新疆农垦科技,2017,7:20-21  
ZHOU Ying, WEI Ming-feng. Cultivation techniques of quinoa in northern Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Reclamation Technology, 2017, 7: 20-21
- [4] 魏玉明,黄杰,顾娟,等.甘肃省藜麦产业现状及发展思路[J].作物杂志,2016,1:12-15  
WEI Yu-ming, HUANG Jie, GU Xian, et al. Current situation and development strategy of quinoa industry in Gansu province [J]. Crops, 2016, 1: 12-15
- [5] 马维亮,魏亦勤,程炳文,等.宁夏藜麦产业发展现状及对策[J].宁夏农林科技,2018,59(3):57  
MA Wei-liang, WEI Yi-qin, CHENG Bing-wen, et al. Current situation of and suggestions for quinoa industry in Ningxia [J]. Ningxia Journal of Agricultural and Forestry Science & Technology, 2018, 59(3): 57
- [6] 田娟,张曼,孙墨可,等.白城地区藜麦栽培技术[J].现代农业科技,2018,5:21-22  
TIAN Juan, ZHANG Man, SUN Mo-ke, et al. Cultivation techniques of quinoa in Baicheng area [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018, 5: 21-22
- [7] 蒋云,张洁,郭元林,等.四川藜麦种植的现状、问题及发展对策分析[N].四川科技报,2019-3-22(007)  
JIANG Yun, ZHANG Jie, GUO Yuan-lin, et al. The current situation, problems and development countermeasures of quinoa cultivation in Sichuan province [N]. Sichuan Science and Technology News, 2019-3-22(007)
- [8] K.墨菲,J.马坦吉翰.藜麦研究进展和可持续生产[M].北京:科学出版社,2018  
Kevin Murphy, Janet Matanguihan. Quinoa Improvement and Sustainable Production [M]. Beijing: Science Press, 2018

- [9] 贡布扎西,旺姆,张崇玺.南美藜在西藏的生物学特性表现[J].西南农业学报,1994,7(3):54-62  
GONGBU Trashi, WANG Mu, ZHANG Chong-xi. The biological characters and the performance of quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd. in Tibet [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1994, 7(3): 54-62
- [10] Bajaj Y P S. Biotechnology in Agriculture and Forestry 6(Crops II) [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1988: 386-403
- [11] Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, et al. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review [J]. Sci Food Agric, 2010, 90: 2541-2547
- [12] Ana C, Nascimento A C, Mota C, et al. Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the north of Argentina: proximates, minerals and trace elements [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 420-426
- [13] 魏爱春,杨修仕,么杨,等.藜麦营养成分及生物活性研究进展[J].食品科学,2015,36(15):272-276  
WEI Ai-chun, YANG Xiu-shi, YAO Yang, et al. Progress in research on nutritional and functional components and bioactivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Science, 2015, 36(15): 272-276
- [14] 于跃,顾音佳.藜麦的营养物质及生物活性成分研究进展[J].粮食与油脂,2019,32(5):4-6  
YU Yue, GU Yin-jia. Research progress on nutrients and bioactive components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Grain and Oil, 2019, 32(5): 4-6
- [15] 胡一晨,赵钢,秦培友,等.藜麦活性成分研究进展[J].作物学报,2018,44(11):1579-1591  
HU Yi-chen, ZHAO Gang, QIN Pei-you, et al. Research progress on bioactive components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(11): 1579-1591
- [16] 卢宇,张美莉.藜麦生物活性物质研究进展[J].农产品加工, 2015,19:58-62  
LU Yu, ZHANG Mei-li. Research advance of quinoa biologically active substance [J]. Farm Products Processing, 2015, 19: 58-62
- [17] Galwey N W, Leakey C L A, Price K R, et al. Chemical composition and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Sciences and Nutrition, 1990, 42: 245-261
- [18] Michala J, Lucia M, Alexander D. Quinoa a review [J]. Czech J. Food Sci, 2009, 27(2): 71-79
- [19] Bhathal S, Kaur N. Effect of germination on nutrient composition of gluten free quinoa (*Chenopodium quinoa*) [J]. International Journal of Scientific Research, 2015, 4(10): 423-424
- [20] 胡洁,陈树俊,庞震鹏,等.藜麦萌发过程中营养物质变化规律及藜麦芽乳制浆工艺研究[J].食品工业科技,2016,37(19): 136-142  
HU Jie, CHEN Shu-jun, PANG Zhen-peng, et al. Study on the nutrients change rules during germination of quinoa and quinoa malted milk pulping process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(19): 136-142
- [21] 苗灵香.萌发藜麦成分动态分析及其多酚的研究[D].太谷:山西农业大学,2015  
MIAO Ling-xiang. Dynamic analysis of germinating quinoa component and its polyphenol's research [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2015
- [22] 赵春艳,普晓英,曾亚文,等.大麦麦芽总黄酮类化合物含量的测定分析[J].植物遗传资源学报,2010,11(4):498-502  
ZHAO Chun-yan, PU Xiao-ying, ZENG Ya-wen, et al. Determination of the content of general flavone in barley malts [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(4): 498-502
- [23] 熊成文,李晓伟,徐得娟.藜麦总皂苷含量测定方法的比较[J].食品研究与开发,2018,39(9):124-128  
XIONG Cheng-wen, LI Xiao-wei, XU De-juan. Comparison of different methods for the determination of total saponins in quinoa [J]. Food Research and Development, 2018, 39(9): 124-128
- [24] 任卓伟,倪文杰,刘森.藜麦皂甙的测定研究[J].山西农业科学,2015,43(8):932-935  
REN Zhuo-wei, NI Wen-jie, LIU Sen. Determination of quinoa saponins [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(8): 932-935
- [25] 任建军.高粱中单宁含量的测定分析[J].食品工业科技, 2006,2:175-176  
REN Jian-jun. Determination and analysis of tannin content in sorghum [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 2: 175-176
- [26] 林秋萍,汪红.高粱单宁的 ISO 法测定[J].河南农业科学, 1993,9:14-26  
LIN Qiu-ping, WANG Hong. ISO determination of sorghum tannin [J]. Henan Agricultural Science, 1993, 9: 14-26
- [27] 李琦,苏银银.小麦纤维素中植酸含量测定方法的改进研究[J].河南预防医学杂志,2017,28(7):508-511

- LI Qi, SU Yin-yin. Improvement of determination method of phytic acid in testa *Triticum tricum* purify [J]. Henan Journal of Preventive Medicine, 2017, 28(7): 508-511
- [28] Carciochi R A, Alessandro L G-D, Vandendriessche P, et al. Effect of germination and fermentation process on the antioxidant compounds of quinoa seeds [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2016, 71: 361-367
- [29] Paško P, Sajewicz M, Gorinstein S, et al. Analysis of selected phenolic acids and flavonoids in *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* seeds and sprouts by HPLC [J]. Acta Chromatographica, 2008, 20(4): 661-672
- [30] Jensen G S, Wu X, Patterson K M, et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant and anti-inflammatory capacities of an antioxidant rich fruit and berry juice blend. Results of a pilot and randomized, double-blinded, placebo-controlled, crossover study [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(18): 8326-8333
- [31] Repo-Carrasco-Valencia R, Hellström J K, Pihlava J-M, et al. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: quinoa (*Chenopodium quinoa*), kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*) [J]. Food Chemistry, 2010, 120: 128-133
- [32] Bhargava A, Srivastava S. Quinoa Botany, Production and Uses [M]. Croydon, CABI (Centre Agriculture Bioscience International), 2013: 199-205
- [33] 张永花. 藜麦黄酮提取工艺优化[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2019, 33(1): 73-77
- ZHANG Yong-hua. Optimization of extraction process of flavonoids from quinoa [J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2019, 33(1): 73-77
- [34] 赵二劳, 王明华, 闫唯, 等. 藜麦黄酮提取纯化工艺及其功能活性研究现状[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(2): 1-3
- ZHAO Er-lao, WANG Ming-hua, YAN Wei, et al. Research progress on extraction and purification technology of flavonoids from *Chenopodium quinoa* Willd. and its functional activity [J]. Grain and Oil, 2019, 32(2): 1-3
- [35] Bhatthal S, Kaur N. Effect of germination on nutrient composition of gluten free quinoa (*Chenopodium quinoa*) [J]. International Journal of Scientific Research, 2015, 4(10): 423-425
- [36] 黄金, 秦礼康, 石庆楠, 等. 藜麦皂苷提取及萌芽对皂苷含量的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(11): 34-39
- HUANG Jin, QIN Li-kang, SHI Qing-nan, et al. Effect of quinoa saponins extraction and sprouting on saponins content [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(11): 34-39
- [37] 何洪英, 李华钧, 杨坚. 单宁的生理活性[J]. 广州食品工业科技, 2001, 2: 26-28
- HE Hong-ying, LI Hua-jun, YANG Jian. Physiological activity of tannin [J]. Guangzhou Food Science and Technology, 2001, 2: 26-28
- [38] 李筱倩. 高粱的单宁含量对其营养物质利用率的影响[J]. 中国畜牧杂志, 1998, 4: 14-17
- LI Xiao-qian. Effect of tannin content of sorghum on its nutrient utilization [J]. Chinese Journal of Animal Husbandry, 1998, 4: 14-17
- [39] Koziol M J. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1992, 5(1): 35-68
- [40] Valencia S, Svanberg U, Sandberg A-S, et al. Processing of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) effects on *in vitro* iron availability and phytate hydrolysis [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 1999, 50: 203-211
- (上接第 298 页)
- [31] Folchi A, Pratella G C, Tian S P, et al. Effect of low oxygen stress in apricot at different temperatures [J]. Italian Journal of Food Science, 1995, 7(3): 245-253
- [32] Gomez E, Ledbetter C A. Development of volatile compounds during fruit maturation: characterization of apricot and plum×apricot hy-brids [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 74(4): 541-546
- [33] Sochor J, Zitka O, Skutkova H, et al. Content of phenolic compounds and antioxidant capacity in fruits of apricot genotypes [J]. Molecules, 2010, 15(9): 6285-6305