

# 富硒酵母对薏米酒醪品质的影响

## Effect of selenium-enriched yeast on the quality of coix seed jiulao

雷娟娟<sup>1</sup> 梁玲<sup>1</sup> 黄钦耿<sup>2</sup>

LEI Juanjuan<sup>1</sup> LIANG Ling<sup>1</sup> HUANG Qingeng<sup>2</sup>

(1. 福建卫生职业技术学院, 福建 福州 350101; 2. 工业微生物教育部工程研究中心  
福州研究院, 福建 福州 350108)

(1. The Fujian Health College, Fuzhou, Fujian 350101, China; 2. Engineering Research Center of  
Industrial Microbiology, Ministry of Education, Fuzhou Research Institute, Fuzhou, Fujian 350108, China)

**摘要:**目的:探究富硒酵母对薏米酒醪品质的影响。方法:以薏米为原料,接种富硒酿酒酵母制备薏米酒醪,测定酒醪发酵过程中理化特性、植物活性成分及体外抗氧化活性的变化。结果:相比酿酒酵母组,酿酒酵母富硒组可增加薏米酒醪发酵中期(12~30 h期间)酒精度的提升速率,加速 pH 和总糖含量的下降速率。发酵 36 h 后,酿酒酵母富硒组中总黄酮和总多酚含量分别比酿酒酵母组增加了 14.43% 和 9.77%。此外,发酵 36 h 后,酿酒酵母组中硒含量仅为 0.007  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,而酿酒酵母富硒组中硒含量可达 20.53  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,且薏米酒醪的 DPPH 自由基清除率和脂质过氧化抑制率分别提高至 67.37% 和 79.52%。结论:富硒酵母发酵薏米酒醪不仅可使酒醪富含硒元素,还能提高酒醪的体外抗氧化活性,提升酒醪品质。

**关键词:**薏米;酒醪;酿酒酵母;富硒;品质;体外抗氧化活性

**Abstract: Objective:** This study aimed to evaluate the effects of selenium-enriched yeast on the quality of coix seed jiulao.

**Methods:** The coix seed was used as raw material, which was inoculated with selenium-rich *Saccharomyces cerevisiae* to prepare coix seed jiulao. The changes of physicochemical properties, plant active components and *in vitro* antioxidant activity were measured during the fermentation of jiulao. **Results:** Compared with the *S. cerevisiae* group, the selenium-enriched *S. cerevisiae* group enhanced the improvement rate of alcohol content. It also accelerated the decrease rate of pH and total sugar content in the middle stage (12~30 h) of coix seed jiulao fermentation. After 36 h fermentation, the contents of total flavonoids and total polyphenols in the selenium-enriched *S. cerevisiae* group were

increased by 14.43% and 9.77%, respectively, compared with *S. cerevisiae* group. In addition, after 36 h fermentation, the selenium content in *S. cerevisiae* group was only 0.007  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , while the selenium content of selenium-enriched *S. cerevisiae* group could reach 20.53  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , and the DPPH free radical scavenging rate and lipid peroxidation inhibition rate of coix seed jiulao were increased to 67.37% and 79.52%, respectively.

**Conclusion:** Using selenium-enriched yeast to ferment coix seed jiulao can increase the selenium content of jiulao and improve the *in vitro* antioxidant activity and the quality of coix seed jiulao.

**Keywords:** coix seed; jiulao; *Saccharomyces cerevisiae*; selenium-enriched; quality; *in vitro* antioxidant activity

硒(Se)是一种人体必需的微量元素,在改善抗氧化防御系统、调节免疫系统和保护心血管等方面起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。硒元素不能在体内自主合成,人体中硒元素主要经膳食摄入(推荐摄入量 60~250  $\mu\text{g}/\text{d}$ <sup>[2-3]</sup>)。因此,提高膳食中硒元素的含量有助于改善人体健康。

通常,硒元素在自然界以有机硒和无机硒等两种形式存在,相比无机硒毒性大且机体不易吸收,有机硒具有较高的生物利用率和低毒等特性<sup>[2,4]</sup>。许多研究<sup>[4-5]</sup>表明,利用微生物转化法将无机硒转化为有机硒是一种安全且有效的方法,微生物可作为硒元素转移至发酵食品的良好介质,被认为是更安全的补硒途径。开发富硒发酵食品已成为膳食补硒的有效方式,受到食品营养科研工作者的广泛关注。

薏米又称薏苡仁,是一种优质的小杂粮,富含淀粉、蛋白质、氨基酸、黄酮和多酚类生物活性物质<sup>[6]</sup>。此外,薏米还含有多种维生素和微量元素,其硒含量可达 2.23~5.07  $\mu\text{g}/100\text{g}$ <sup>[6]</sup>。研究<sup>[7]</sup>表明,食用薏米有利于健康,具有调节血脂、降低血糖指数、抗肥胖、抗氧化和抑制过敏反应等。由于薏米中的淀粉含量约为 65%,可采用传统

基金项目:福建省中青年教育科研项目(编号:JAT210795)  
作者简介:雷娟娟(1982—),女,福建卫生职业技术学院讲师,硕士。E-mail: leijuanjuanjm5@163.com  
收稿日期:2023-04-18 改回日期:2023-09-15

酿造工艺制出具有保健功效的薏米酒醪<sup>[8]</sup>。微生物的繁殖代谢是引起薏米酒醪发酵过程中基础代谢物演变的主因<sup>[9]</sup>。利用植物乳杆菌和酿酒酵母协同发酵可提高薏米酒醪中的总黄酮含量、总多酚含量及体外抗氧化活性<sup>[6]</sup>。

酵母菌等益生菌通常都具有富集微量元素的特征,可将无机硒生物转化为有机硒,不仅可以降低硒的毒性,还能够增强酵母菌的益生特效<sup>[10]</sup>。目前,研究人员主要在培养基中添加亚硒酸钠的方式人工诱导来提高酵母菌的富硒量<sup>[11-13]</sup>,有关富硒酵母的研究报道较多,但关于以富硒酵母为发酵剂制备薏米酒醪的研究鲜有报道,且有机硒对薏米酒醪品质的影响仍未知。因此,研究拟以薏米为原料,接种富硒酿酒酵母制备薏米酒醪,探究薏米酒醪发酵过程中理化特性(酒精度、pH 和总糖)、微生物特征(菌落总数)、硒含量、植物活性成分(总多酚和总黄酮)及体外抗氧化活性的变化,评估硒对薏米酒醪品质的影响,为富硒酒醪的开发提供数据参考和技术依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与试剂

薏米:河北燕黎坊食品有限公司;

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*, CICC 1445);  
中国工业微生物菌种保藏管理中心;

高氯酸、苯酚、福林酚、浓硫酸、芦丁、硝酸等:分析纯,西陇科学股份有限公司;

麦芽汁琼脂培养基:北京缘生化科技有限公司;

糖化酶(5 万 U/g)、 $\alpha$ -淀粉酶(2 000 U/g):河北科隆多生物科技有限公司;

脂质过氧化物试剂盒、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除能力试剂盒:南京建成生物工程研究所。

### 1.2 仪器与设备

电子分析天平:HZ-104/55S 型,上海诺萱科学仪器有限公司;

台式 pH 计:PB-10 型,上海诺萱科学仪器有限公司;

恒温鼓风干燥箱:DHG-9145A 型,上海诺萱科学仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV759 型,淄博森源电气有限公司;

超净工作台:BBS-V800 型,山东欧莱博医疗器械有限公司;

台式离心机:TD5B 型,盐城凯特实验仪器有限公司;

气相色谱仪:GC-2010plus 型,日本岛津公司。

### 1.3 方法

1.3.1 富硒菌悬液 将酿酒酵母甘油管接入麦芽汁琼脂培养基中进行活化,接种量为 1%,30 °C 培养 24 h,连续传代两次后,4 500 r/min 离心 20 min,收集菌体,用无菌

生理盐水冲洗 2 次,重悬菌体,得到活菌数为  $1.4 \times 10^7$  CFU/mL 的酿酒酵母菌悬液,置于 4 °C 冰箱保存,待用<sup>[14]</sup>。

活化后的酿酒酵母以体积分数 1% 的接种量接入含 20  $\mu$ g/mL 亚硒酸钠的麦芽汁琼脂培养基中,30 °C 培养 24 h,按上述方法制备,活菌数为  $1.5 \times 10^7$  CFU/mL 的富硒酿酒酵母菌悬液,保存,待用<sup>[14]</sup>。

1.3.2 薏米酒醪制备 参照李静<sup>[6]</sup>的方法并修改。称取适量无霉变薏米,洗净,按  $m_{\text{薏米}}:m_{\text{水}}$  为 1:4 加入无菌水,打浆,110 °C 高温蒸煮 15 min,降温至 75 °C 后添加质量分数为 0.1% 的  $\alpha$ -淀粉酶液化 4 h,转移至 60 °C 培养箱,添加质量分数为 0.1% 的糖化酶糖化 10 h,装入 10 L 无菌玻璃罐,分别接种体积分数为 1% 的酿酒酵母菌悬液(SC 组,不含硒)和富硒酿酒酵母菌悬液(SC-Se 组),30 °C 静置发酵 36 h。每隔 6 h 收集薏米酒醪上清液用于测定酵母生物量、理化特性、硒含量、总黄酮、总多酚及体外抗氧化活性。

1.3.3 菌落总数测定 参照 GB 4789.15—2016。

1.3.4 理化特性分析

(1) 酒精度:参照 GB 5009.225—2016。

(2) pH 值和总糖含量:参照 GB/T 13662—20118。

1.3.5 硒含量测定 参照 GB 5009.93—2017。

1.3.6 总黄酮和总多酚含量测定 采用亚硝酸钠—硝酸铝比色法和 Folin-Ciocalteu 法<sup>[2,6]</sup>。

1.3.7 体外抗氧化活性 根据 DPPH 自由基清除能力试剂盒和脂质过氧化物试剂盒说明书分别测定薏米酒醪发酵过程中 DPPH 自由基清除率和脂质过氧化抑制率的变化<sup>[15]</sup>。

### 1.4 数据处理

所有试验重复 3 次,结果以平均值士标准差表示。利用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析( $P < 0.05$  认为差异显著),采用 Origin 8.0 软件绘图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 对微生物菌落总数的影响

由表 1 可知,随着发酵时间的延长,两组酿酒酵母菌落总数均呈先持续增加后保持稳定的趋势,与胡杰<sup>[14]</sup>的研究结果相一致。发酵 12 h 后,SC-Se 组中酿酒酵母菌落总数可达 6.89 lg(CFU/mL),显著高于 SC 组( $P < 0.05$ )。此外,两组酿酒酵母菌落总数均在发酵 24 h 时达到稳定,其中 SC-Se 组酿酒酵母菌落总数达到了 8.41 lg(CFU/mL),显著高于 SC 组( $P < 0.05$ )。综上,硒元素有利于促进酿酒酵母的增殖,其主要通过取代半胱氨酸和蛋氨酸中硫的位置生成硒代半胱氨酸和硒代蛋氨酸来加速酿酒酵母生长繁殖期间的氨基酸循环<sup>[16]</sup>。因此,富硒酿酒酵母发酵薏米酒醪有利于提高酒醪中酿酒

表 1 薏米酒发酵过程中酿酒酵母菌落总数变化<sup>†</sup>

Table 1 Changes in the total numbers of *S. cerevisiae* colonies during the fermentation process of coix seed jiulao

发酵时间/h	SC 组/ $\lg(\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$	SC-Se 组/ $\lg(\text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1})$
0	$5.11 \pm 0.04^E$	$5.14 \pm 0.04^E$
6	$5.77 \pm 0.05^D$	$5.85 \pm 0.04^D$
12	$6.51 \pm 0.06^{Cb}$	$6.89 \pm 0.07^{Ca}$
18	$7.47 \pm 0.05^{Bb}$	$8.04 \pm 0.05^{Ba}$
24	$8.28 \pm 0.04^{Ab}$	$8.41 \pm 0.04^{Aa}$
30	$8.32 \pm 0.03^A$	$8.37 \pm 0.03^A$
36	$8.27 \pm 0.05^A$	$8.33 \pm 0.06^A$

<sup>†</sup> 大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异( $P < 0.05$ )。

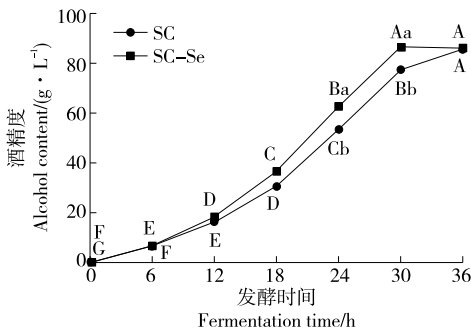
酵母的菌落总数。

### 2.2 对酒精度的影响

由图 1 可知,发酵 12~30 h,SC-Se 组酒精度上升速率快于 SC 组,与表 1 的结论一致,这是由于硒可增加酿酒酵母的菌落总数,使其产生更多的代谢产物,促进薏米酒醪中酒精度迅速升高。发酵 30 h 后,SC-Se 组酒精度为 86.49 g/L,显著高于 SC 组( $P < 0.05$ )。随着发酵时间的延长,两组酒精度含量在发酵 36 h 后无显著差异,是由于发酵原料中糖类物质总量有限,在发酵后期酿酒酵母已将发酵体系中的糖类物质大部分转化为酒精,故两组酒精度差异不显著<sup>[14]</sup>。

### 2.3 对 pH 值的影响

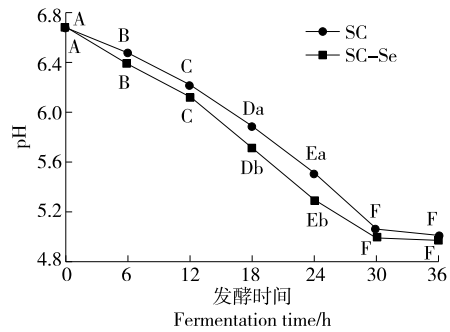
由图 2 可知,发酵 12~24 h,SC-Se 组 pH 值下降速率快于 SC 组,与表 1 的结论一致,这是因为酿酒酵母在生长代谢过程中会产生一定量的酸性代谢产物,随着发酵不断进行,酸类代谢产物大量积累,导致薏米酒醪 pH 值快速下降。发酵 24 h 后,SC-Se 组 pH 值为 5.29,显著



大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异( $P < 0.05$ )

图 1 薏米酒发酵过程中酒精度的变化

Figure 1 Changes of alcohol content during the fermentation process of coix seed jiulao



大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异( $P < 0.05$ )

图 2 薏米酒发酵过程中 pH 值的变化

Figure 2 Changes of pH during the fermentation process of coix seed jiulao

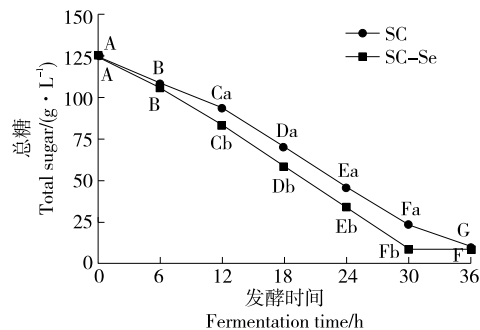
低于 SC 组( $P < 0.05$ )。随着发酵时间的延长,两组 pH 值在发酵 36 h 后无显著差异,与 Ekumah 等<sup>[16]</sup>的研究结果一致。随着发酵后期酿酒酵母菌落总数达到稳定,其产生的酸性代谢产物趋于稳定,pH 值也趋于稳定<sup>[17]</sup>。

### 2.4 对总糖含量的影响

由图 3 可知,薏米酒发酵过程中,总糖含量变化与 pH 值变化大体一致,呈逐渐下降趋势。相比 SC 组,SC-Se 组总糖含量下降速率较快。发酵 30 h 后,SC-Se 组总糖含量仅为 8.53 g/L,显著低于 SC 组( $P < 0.05$ ),与酒精度的结论相互佐证。随着发酵的不断进行,SC 组总糖含量持续降低,而 SC-Se 组则维持稳定。发酵 36 h 后,SC 组和 SC-Se 组总糖含量分别为 10.22,8.49 g/L,与贺莹等<sup>[18]</sup>的结果一致。酿酒酵母在生长繁殖过程中会产生大量的糖基水解酶,其在无氧条件下可将糖类物质分解为酒精和二氧化碳,加速原料中糖类物质的消耗<sup>[19]</sup>。

### 2.5 对硒含量的影响

由图 4 可知,发酵过程中,SC 组硒含量维持稳定,与未发酵薏米酒醪原料无显著差异,而 SC-Se 组硒含量呈



大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异( $P < 0.05$ )

图 3 薏米酒发酵过程中总糖含量的变化

Figure 3 Changes of total sugar content during the fermentation process of coix seed jiulao

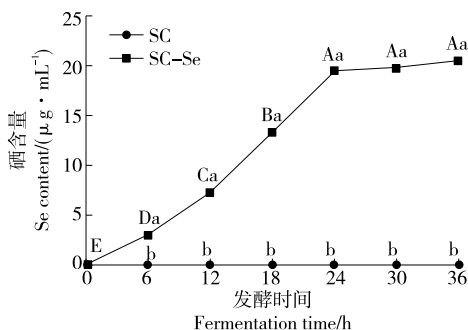


图 4 薏米酒醪发酵过程中硒含量的变化  
Figure 4 Changes of selenium content during the fermentation process of coix seed jiulao

大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异 ( $P < 0.05$ )

先持续上升后保持稳定的趋势,与 Assunção 等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。发酵 0~24 h, SC-Se 组硒含量由最初的 0 持续增加至 19.56 µg/mL; 发酵 36 h 后, SC-Se 组薏米酒醪中硒含量可达 20.53 µg/mL。发酵初期大部分硒都存在于接种的富硒酿酒酵母细胞内,可通过调节氨基酸代谢加速酿酒酵母生长繁殖,但由于发酵体系中能源物质有限,且酿酒酵母的生长周期短,其中大部分的有机硒会随酿酒酵母的自溶而富集于薏米酒醪中,增大薏米酒醪中硒含量,且这些硒是以有机硒和纳米硒的形式存在,生物利用率高且毒性低<sup>[2]</sup>。因此,接种富硒酿酒酵母发酵是提高薏米酒醪中有机硒含量的一种安全且有效的方法,有利于硒元素的日常摄入补充。

### 2.6 对植物活性成分的影响

由图 5 可知,发酵 12~30 h, SC-Se 组总黄酮含量显著高于 SC 组。发酵 36 h 后, SC-Se 组总黄酮含量可达 64.55 mg/L, 显著高于 SC 组 ( $P < 0.05$ )。酿酒酵母生长繁殖过程中会代谢产生多种酶,这些酶有利于植物原料细胞壁的裂解,将原料中的黄酮化合物释放溶解于薏米

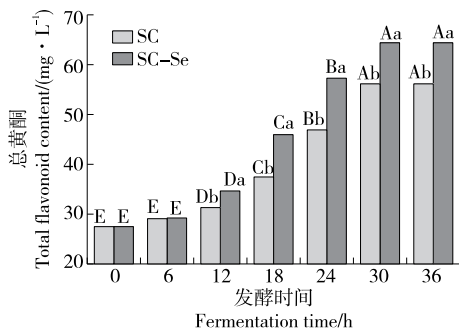


图 5 薏米酒醪发酵过程中总黄酮含量的变化  
Figure 5 Changes of total flavonoids content during the fermentation process of coix seed jiulao

大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异 ( $P < 0.05$ )

酒醪中,进而增加薏米酒醪的总黄酮含量<sup>[21]</sup>。结合表 1 可知,硒元素有利于酿酒酵母增殖,增加发酵体系中相关酶活力,促进植物细胞壁裂解,增强薏米酒醪总黄酮的积累量。

由图 6 可知,薏米酒醪发酵过程中,总多酚含量变化与总黄酮含量变化相一致,大体呈先上升后维持稳定的变化趋势。发酵 0~30 h, SC 组总多酚含量从最初的 388.42 mg/L 增加至 596.33 mg/L, 而 SC-Se 组总多酚含量从 388.42 mg/L 增加至 661.94 mg/L, 增速快于 SC 组。发酵 36 h 后, SC 组总多酚含量仅为 606.82 mg/L, 显著低于 SC-Se 组 ( $P < 0.05$ )。多酚化合物也主要存在于植物细胞内,通常以结合形式存在,而酿酒酵母代谢产生的不同酶系可将大分子基质中结合酚类化合物释放至薏米酒醪中,并水解为游离形式,进而提高薏米酒醪中总多酚含量<sup>[22]</sup>。此外,相比水溶液,多酚类化合物更易溶于酒精溶液中。综上,相比酿酒酵母,接种富硒酿酒酵母能促进酿酒酵母的生长代谢,产生更多的纤维素和果胶酶,促使植物活性物质从植物细胞内分离,并且酿酒酵母产生的糖苷水解酶有利于将植物细胞内结合型植物活性物质转化为游离型<sup>[23]</sup>,从而提高薏米酒醪中植物活性物质含量,进而改善薏米酒醪的品质。

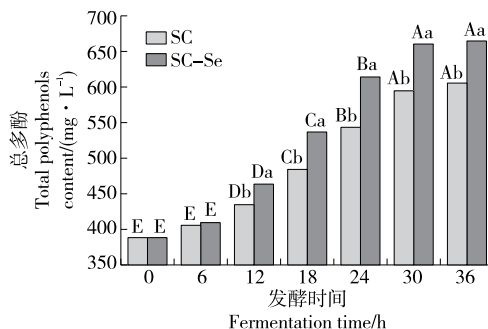


图 6 薏米酒醪发酵过程中总多酚含量的变化  
Figure 6 Changes of total polyphenols content during the fermentation process of coix seed jiulao

大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异 ( $P < 0.05$ )

### 2.7 对体外抗氧化活性的影响

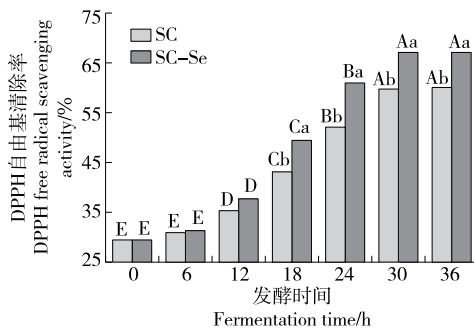
微生物发酵过程中产生的黄酮和多酚类物质有利于增强产品的体外抗氧化活性<sup>[23]</sup>。为了评价酵母富硒对薏米酒醪发酵过程中体外抗氧化活性的影响,采用 DPPH 自由基清除率和脂质过氧化抑制率共同探究薏米酒醪发酵过程中体外抗氧化活性的变化。

由图 7 可知,未发酵薏米原料的 DPPH 自由基清除率仅为 29.89%。薏米酒醪的 DPPH 自由基清除率在发酵 30 h 后达到稳定, SC 组和 SC-Se 组的 DPPH 自由基清除率分别提高至 60.15% 和 67.37%, 二者差异显著 ( $P <$



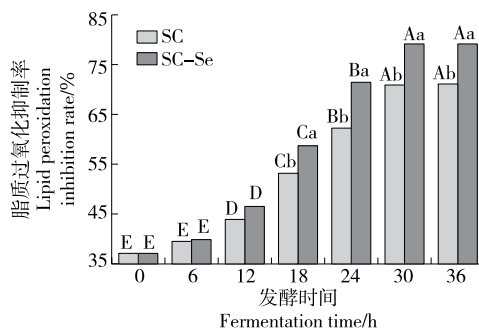
0.05)。发酵 36 h 后,SC-Se 组 DPPH 自由基清除率高达 67.4%,显著高于 SC 组( $P < 0.05$ )。硒元素会促进酿酒酵母产生超氧化物歧化酶等抗氧化酶,清除发酵产生的 DPPH 自由基,从而提高抗氧化能力<sup>[23]</sup>。此外,红葡萄酒发酵过程中总黄酮和总多酚含量均与 DPPH 自由基清除率呈正相关<sup>[24]</sup>。

由图 8 可知,薏米酒醪发酵过程中,脂质过氧化抑制率变化与 DPPH 自由基清除率变化一致,大体呈先增加后维持稳定的变化趋势。发酵 0~30 h,SC 组脂质过氧化抑制率从最初的 37.25%增加至 71.33%,而 SC-Se 组则从 37.25%增加至 79.47%,增速快于 SC 组。发酵 36 h 后,SC-Se 组脂质过氧化抑制率高达 79.52%,显著高于 SC 组( $P < 0.05$ ),与 Assunção 等<sup>[20]</sup>的结果一致。硒元素会取代硫元素,形成硒代半胱氨酸等中间代谢物,促进酿酒酵母代谢过程中硒氧还原蛋白、谷胱甘肽、谷胱甘肽过氧化物酶和没食子酸等具有抗氧化活性物质的生



大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异( $P < 0.05$ )

图 7 薏米酒醪发酵过程中 DPPH 自由基清除率的变化  
Figure 7 Changes of DPPH free radical scavenging rate during the fermentation process of coix seed jiulao



大写字母和小写字母不同分别表示组内不同发酵时间和组间同一发酵时间酿酒酵母菌落总数存在显著差异( $P < 0.05$ )

图 8 薏米酒醪发酵过程中脂质过氧化抑制率的变化  
Figure 8 Changes of lipid peroxidation inhibition rate during the fermentation process of coix seed jiulao

成,可抑制脂质过氧化<sup>[20]</sup>。综上,相比酿酒酵母,接种富硒酿酒酵母发酵不会影响薏米酒醪的酒精度、pH 值、总糖含量和微生物菌落总数,但能增加薏米酒醪中有机硒及纳米硒的含量,有益于人体健康。此外,硒的存在会促进酵母产酶,加速原料酶解,使更多的黄酮和多酚类物质溶于酒醪中,从而提高薏米酒醪的体外抗氧化活性,增强酒醪的保健功效和品质。

### 3 结论

研究以富硒酿酒酵母为发酵剂接种制备薏米酒醪,探究了富硒酵母对薏米酒醪品质的影响。结果表明,与接种酿酒酵母组相比,发酵 0~30 h,接种富硒酿酒酵母可增加薏米酒醪发酵过程中酒精度的提升速率,加速 pH 值和总糖含量的下降速率。发酵 36 h 后,两组的酒精度、pH 值和总糖含量无显著差异。此外,接种富硒酿酒酵母在发酵 36 h 后薏米酒醪中硒含量可达 20.53  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,接种富硒酿酒酵母发酵薏米酒醪可通过提高酒醪中总黄酮和总多酚含量来增强其 DPPH 自由基清除能力和脂质过氧化抑制能力,给予薏米酒醪更好的保健功效。试验尚未探究富硒后对酒醪挥发性风味物质的影响,后续应结合气相色谱质谱联用仪和电子鼻等分析检测技术,建立硒对酿酒酵母发酵代谢调控的完整通路图,以明确有机硒对于酿酒的重要作用。

### 参考文献

- [1] WANG Q, HUANG J, ZHENG Y, et al. Selenium-enriched oolong tea (*Camellia sinensis*) extract exerts anti-inflammatory potential via targeting NF- $\kappa$ B and MAPK pathways in macrophages[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2022, 11(3): 635-642.
- [2] 左映平, 孙国勇, 张玲. 富硒乳酸菌对复合果蔬汁品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(14): 36-42.  
ZUO Y P, SUN G Y, ZHANG L. Quality of compound fruit and vegetable juice fermented by selenium-enriched lactic acid bacteria [J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(14): 36-42.
- [3] DING Q T, CUI Z, HUANG J, et al. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review[J]. *Environment International*, 2018, 112: 294-309.
- [4] 韦梦婷, 王英, 单成俊, 等. 富硒乳酸菌的筛选和体外活性的研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(8): 102-108.  
WEI M T, WANG Y, SHAN C J, et al. Screening of selenium-enriched lactic acid bacteria and evaluation of their bioactivities in vitro[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(8): 102-108.
- [5] 张顺涛. 高生物量富硒酵母的选育及富硒保健酒的研制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 35.  
ZHANG S T. Breeding of se-enriched yeast strain with high-biomass and the study on se-enriched health-wine [D]. Qingdao:

- Ocean University of China, 2009: 35.
- [6] 李静. 植物乳杆菌混菌发酵对薏米酒醪品质的影响[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(5): 88-94.
- LI J. Effect of *Lactobacillus plantarum* mixed fermentation on the quality of coix seed juice[J]. China Food Additives, 2022, 33(5): 88-94.
- [7] 石庆楠, 文安燕. 薏米发酵及其产物功能活性研究进展[J]. 中国酿造, 2021, 40(6): 11-14.
- SHI Q N, WEN A Y. Research progress on coix *Lachrymajobi* fermentation and its functional activity[J]. China Brewing, 2021, 40(6): 11-14.
- [8] 高维锡, 李钢, 李娜. 植物乳杆菌与酿酒酵母共发酵对薏仁米发酵液品质及抗氧化活性的增效性[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 193-199.
- GAO X X, LI G, LI N. Enhancement on the quality and antioxidant activity of coix seed by *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* co-fermentation [ J ]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 193-199.
- [9] 肖琳, 付月, 王美婷, 等. 薏米醪糟发酵过程中代谢产物的分析[J]. 中国食品学报, 2021, 21(10): 233-239.
- XIAO L, FU Y, WANG M T, et al. Analysis of metabolites during the fermentation process of barley mash [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(10): 233-239.
- [10] 常艺海, 牛俊轲, 秦立群, 等. 富硒益生菌在动物养殖中的应用研究进展[J]. 饲料研究, 2022, 45(23): 154-156.
- CHANG Y H, NIU J K, QIN L Q, et al. Research progress on the application of selenium-rich probiotics in animal breeding[J]. Feed Research, 2022, 45(23): 154-156.
- [11] 涂青, 杨双全, 章之柱, 等. 富硒酵母发酵工艺的优化[J]. 中国酿造, 2022, 41(10): 140-145.
- TU Q, YANG S Q, ZHANG Z Z, et al. Optimization of fermentation technology of selenium-riched yeast [ J ]. China Brewing, 2022, 41(10): 140-145.
- [12] 娄兴丹. 高富硒酵母的筛选与富硒过程强化研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2018: 7.
- LOU X D. Screening and enhancement of selenium-enriched yeast [D]. Shihezi: Shihezi University, 2018: 7.
- [13] WU G, LIU F, SUN X, et al. Preparation of selenium-enriched yeast by re-using discarded *Saccharomyces cerevisiae* from the beer industry for Se-supplemented fodder applications[J]. Applied Sciences, 2019, 9(18): 3 777.
- [14] 胡杰. 富硒活性酵母制备及其对桑椹酒发酵影响研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2021: 67.
- HU J. Preparation of selenium enriched active yeast and its effect on mulberry wine fermentation[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2021: 67.
- [15] 陈月, 朱勇, 秦礼康. 苦荞不同部位酚类化合物组成与抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 15-19.
- CHEN Y, ZHU Y, QIN L K. Phenolic compounds profile and antioxidant activities of different fractions of Tartary buckwheat[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 15-19.
- [16] EKUMAH J N, MA Y, AKPABLI-TSIGBE N D K, et al. Effect of selenium supplementation on yeast growth, fermentation efficiency, phytochemical and antioxidant activities of mulberry wine[J]. LWT, 2021, 146: 111425.
- [17] 刘建学, 刘金科, 李璇, 等. 白酒酒醪高产酯酵母筛选鉴定及其发酵性能研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 42-49.
- LIU J X, LIU J K, LI X, et al. Screening, identification and fermentation performance of a high-yield yeast from fermented grains of Dukang wine[J]. Food & Machinery, 2020, 36(6): 42-49.
- [18] 贺莹, 冯彩平. 富硒酵母对草莓酒品质的影响[J]. 食品工业, 2019, 21(5): 63-68.
- HE Y, FENG C P. Effect of selenium rich yeast on the quality of strawberry wine[J]. The Food Industry, 2019, 21(5): 63-68.
- [19] 温雅骄. 干红葡萄酒酿酒酵母的优选与鉴定及其酿酒品质评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019: 58.
- WEN Y J. Selection and identification of *Saccharomyces cerevisiae* from dry red wine and its quality evaluation[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019: 58.
- [20] ASSUNÇÃO M, MARTINS L L, MOURATO M P, et al. Effect of selenium on growth and antioxidant enzyme activities of wine related yeasts [ J ]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2015, 31(12): 1 899-1 906.
- [21] LIN M, ZHANG J, CHEN X. Bioactive flavonoids in *Moringa oleifera* and their health-promoting properties [ J ]. Journal of Functional Foods, 2018, 47: 469-479.
- [22] RANA A, SAMTIYA M, DHEWA T, et al. Health benefits of polyphenols: A concise review[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(10): e14264.
- [23] YANG Y, ZHONG H, YANG N, et al. Quality improvement of sweet rice wine fermented with *Rhizopus delemar* on key aroma compounds content, phenolic composition, and antioxidant capacity compared to *Rhizopus oryzae*[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 59(6): 2 339-2 350.
- [24] HU K, ZHAO H, KANG X, et al. Fruity aroma modifications in Merlot wines during simultaneous alcoholic and malolactic fermentations through mixed culture of *S. cerevisiae*, *P. fermentans*, and *L. brevis*[J]. LWT, 2022, 154: 112711.