



异常威克汉姆酵母纯种发酵淡豆豉的炮制工艺研究

李尚逊¹, 姬翔¹, 翟兴媛¹, 刘悦媛¹, 李鑫¹, 王丰源¹, 王大红^{1,2,3}, 李阳^{1,2,3}

(1. 河南科技大学 食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471000; 2. 食品微生物河南省工程技术研究中心, 河南 洛阳 471000; 3. 河南省食品绿色加工与质量安全控制国际联合实验室, 河南 洛阳 471000)

摘要: 淡豆豉是一种以黑豆为主要发酵原料的传统药食同源中药, 但其炮制周期长且质量不稳定。本研究以从淡豆豉自然混菌发酵中筛选出的 1 株具有 β -D-葡萄糖苷酶活性的异常威克汉姆酵母 (*Wickerhamomyces anomalus*) C5 菌株作为发酵菌种, 进行纯种酵母炮制型淡豆豉的研制。选取葡萄糖添加量、料液比以及酵母菌接种量 3 个因素进行单因素试验。利用响应面法分析 3 个因素对大豆苷元产量的影响, 并对淡豆豉的炮制工艺进行优化。结果表明: 料液比和葡萄糖添加量对大豆苷元产量的影响极显著, 而接种量的影响不显著。最终确定炮制工艺为: 葡萄糖添加量 8.5%、料液比 1:2.4、接种量 10%, 炮制周期为 6 d。炮制过程中糖苷含量逐渐降低, 苷元含量显著升高。大豆苷元和染料木素的产量分别达到 964.51 和 1 123.28 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。本研究为酵母炮制型淡豆豉的进一步开发提供科学依据。

关键词: 淡豆豉; 异常威克汉姆酵母; 纯种发酵; 大豆异黄酮

Study on Processing Technology of *Semen Sojae Praeparatum* Pure-fermented by *Wickhamomyces anomalus*

LI Shangxun¹, JI Xiang¹, ZHAI Xingyuan¹, LIU Yueyuan¹, LI Xin¹, WANG Fengyuan¹, WANG Dahong^{1,2,3}, LI Yang^{1,2,3}

(1. College of Food and Bioengineering, He'nan University of Science and Technology, Luoyang 471000, China; 2. He'nan Engineering Research Center of Food Microbiology, Luoyang 471000, China; 3. He'nan International Joint Laboratory of Food Green Processing and Safety Control, Luoyang 471000, China)

Abstract: *Semen Sojae Praeparatum* (SSP) is a traditional Chinese medicine with black soybean as the main fermenting material. The fermentation period of SSP is long and the quality is unstable. A strain C5 of *Wickerhamomyces anomalus* with β -D-glucosidase activity screened from the natural mixed fermentation of SSP. In order to improve the quality, stability and safety of SSP was selected as the fermentation strain to process SSP. The factors of glucose addition, material-liquid ratio and inoculation amount were investigated by single factor test. The effects of three factors were analyzed by response surface method, and the fermentation process of pure-fermented SSP was optimized. The results showed that the effects of solid-liquid ratio and glucose addition on the yield of daidzein were extremely significant, while the effect of inoculation amount was not significant. The optimum fermentation conditions were as follows: Glucose addition was 8.5%, material-liquid ratio was 1:2.4, inoculation amount was 10%, and fermentation period was 6 d. Meanwhile, the content of glycosides greatly reduced and the content of aglycons increased significantly after processing. The yields of daidzein and genistein under these conditions were 964.51 and 1 123.28 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively. This study provides a scientific basis for the further development of yeast processed light fermented soybean.

Keywords: *Semen Sojae Praeparatum*; *Wickerhamomyces anomalus*; pure fermentation; soybean isoflavone

淡豆豉 (*Semen Sojae Praeparatum*, SSP) 是一种由黑皮大豆 (简称黑豆)、青蒿和桑叶等经微生物自然发酵炮制而成的传统药食同源中药^[1], 具有解表除烦、宣发郁热等药效。现代研究发现淡豆豉中含有大豆异黄酮、多糖、 γ -氨基丁酸、大豆低聚糖等多种天然活性成分^[2-4]。未经发酵的黑豆中大豆异黄酮主要是以染料木苷、大豆苷等大分子结合型糖苷形式存在。发酵炮制时, 微生物生产的 β -D-葡萄糖苷酶可以将结合型糖苷水解为生物学活性更强的小分子游离型苷元^[5]。因此, 游离型苷元在炮制后的淡

豆豉中含量更高^[6], 是其主要的功能成分, 如大豆苷元、染料木素、黄豆黄素等, 具有显著的抗氧化^[7]、抗菌消炎^[8-9]、降血糖^[10]、降血脂^[11]、抗肿瘤^[12]、抗抑郁^[13]、改善更年期症状^[14]、促成骨细胞增殖^[15-16]等药理活性。

目前, 淡豆豉的生产采用传统自然发酵工艺, 主要由前处理、发酵和闷制 3 个步骤组成, 发酵周期 25 ~ 30 d^[17]。传统炮制过程难以控制, 容易受到微生物种类、发酵温度、发酵时间等因素的影响^[18]。因此, 改进淡豆豉炮制工艺, 对于提高淡豆豉有效

收稿日期: 2023-02-21

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目 (22B180002); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (202110464028)。

第一作者: 李尚逊 (1998—), 男, 硕士研究生, 主要从事生物工程研究。E-mail: 1640346867@qq.com。

通讯作者: 李阳 (1987—), 女, 博士, 副教授, 主要从事食品微生物学研究。E-mail: liyang@haust.edu.cn;

王大红 (1980—), 男, 博士, 教授, 主要从事食品微生物学研究。E-mail: wangdahong2003@163.com。

成分苷元型异黄酮的含量,因而采用纯种发酵的限制工艺,对于缩短发酵周期,提高有效成分苷元型异黄酮的含量具有重大意义。

本研究前期从自然混菌发酵的淡豆豉中筛选出1株异常威克汉姆酵母C5菌株,其 β -D-葡萄糖苷酶活性达到 $203.0\text{ U}\cdot\text{L}^{-1}$,单位菌体产酶量为 $1\,103.6\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ 。采用此功能菌株作为纯种发酵菌种,以苷元型大豆异黄酮的产量为指标,通过单因素和响应面试验优化纯种发酵炮制淡豆豉的工艺,进行有效成分的含量分析,为酵母炮制型淡豆豉的进一步开发提供科学依据,以期为淡豆豉工业化生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

异常威克汉姆酵母C5菌株,由河南科技大学食品与生物工程学院微生物基因工程研究室分离鉴定;黑豆,市售;结合型糖苷和游离型苷元标准品(纯度98.0%),成都埃法生物有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

1260 Infinity 高效液相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;101 型电热鼓风干燥箱,鹤壁市九鼎仪表有限公司;722N 可见分光光度计,上海悦丰仪表有限公司。

1.2 方法

1.2.1 酵母纯种发酵淡豆豉的工艺 酵母纯种发酵淡豆豉的生产工艺流程为:原料黑豆→清洗→加入药汁和辅料→灭菌→接种酵母菌→固态发酵→干燥。参考牛丽颖等^[19]的方法配制青蒿和桑叶混合药汁,具体如下:称取青蒿和桑叶各80 g,加入2 L 蒸馏水煎煮1 h,定容药汁至2 L;将C5菌株活化,接入YPD液体培养基,于28℃、180 r·min⁻¹振荡培养48 h 制备酵母菌发酵液,将酵母菌发酵液离心,弃去发酵液上清,加入等量无菌水混匀配制成酵母菌接种液;称取20 g 干黑豆置于锥形瓶中,加入一定量药汁和辅料葡萄糖,115℃灭菌30 min,取出冷却;接入适量的酵母菌接种液,发酵一段时间后置于60℃干燥即得淡豆豉成品。

1.2.2 单因素试验 以大豆苷元含量为指标,分别考察3个单因素对淡豆豉炮制效果的影响,包括葡萄糖添加量、料液比(黑豆干重:药汁体积,g:mL)、酵母菌接种量(v/w)。各因素添加水平为:葡萄糖添加量为0%、4%、8%、12%、16%;料液比为1:1、1:1.5、1:2、1:2.5、1:3;接种量为1%、5%、10%、15%、20%。葡萄糖添加量、料液比和接种量均按黑豆干重计算。

1.2.3 响应面优化试验设计 在单因素试验结果的基础上,以大豆苷元含量(Y)为响应值,以葡萄糖添加量(A)、接种量(B)、料液比(C)为自变量,对淡豆豉的炮制工艺进行三因素三水平响应面试验优化,各因素及水平详见表1。

表1 各试验因素与水平
Table1 Test factors and levels

因素 Factor	水平 Level	
	-1	0
A 葡萄糖添加量 Material-liquid ratio	4%	8%
B 接种量 Inoculation amount	5%	10%
C 料液比 Material-liquid ratio	1:2	1:2.5

1.2.4 不同大豆异黄酮成分的含量测定 对发酵后的淡豆豉进行干燥粉碎,将样品粉末经过石油醚脱脂处理后,按料液比2:25(g:mL)加入甲醇,超声提取总异黄酮,离心取上清后用0.45 μm 滤膜过滤。采用液相色谱法^[20]测定3种糖苷型异黄酮(染料木苷、黄豆黄苷、大豆苷)和3种苷元型异黄酮(大豆苷元、染料木素、黄豆黄素)的含量,色谱柱采用ZORBAX SB-C18(250 μm × 4.6 mm,5 μm),柱温为30℃,流动相为甲醇-0.1%甲酸水,检测波长254 nm,流速0.8 mL·min⁻¹。记录峰面积,采用外标法对峰面积进行测定并换算各物质的实际含量。

1.3 数据分析

采用Origin 2022 软件绘图;采用Design-Expet 8.0 软件进行响应面试验设计与分析;采用SPSS Stastics 8.0 软件进行差异性显著分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 葡萄糖添加量 在发酵炮制时添加葡萄糖可以为酵母菌的生长提供能量。如图1所示,在葡萄糖添加量为0~8%时,大豆苷元含量随着葡萄糖添加量的升高而显著提高。葡萄糖添加量为8%时,大豆苷元含量达到峰值;但随着葡萄糖添加量继续升高,大豆苷元含量反而下降。说明少量的葡萄糖提高了发酵前期淡豆豉的碳氮比,有利于酵母菌的增殖,苷元型异黄酮转化率较高。发酵体系中的葡萄糖含量过高,导致酵母菌周围渗透压较高,影响其生长繁殖^[21]。因此最适葡萄糖添加量为8%。

2.1.2 接种量 如图2所示,随着酵母菌的接种量增加,淡豆豉中大豆苷元的含量呈上升趋势。当接种量为10%时淡豆豉中大豆苷元的含量达到最高;当接种量大于10%时,淡豆豉中大豆苷元含量开始下降。说明当接种量不足时导致酵母菌细胞数量不足,使发酵速度缓慢;当接种量过大时,营养物质

消耗过快,影响酵母菌的生长,导致糖苷型异黄酮的转化速率下降,导致大豆苷元含量下降。因此,最适接种量为 10%。

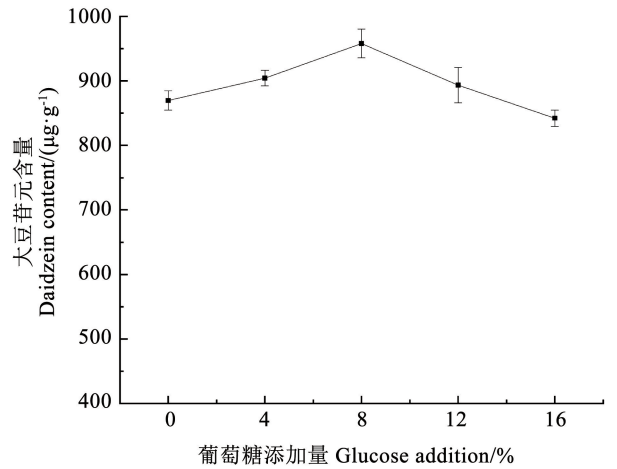


图 1 葡萄糖添加量对大豆苷元含量的影响
Fig. 1 Effects of glucose addition on daidzein content

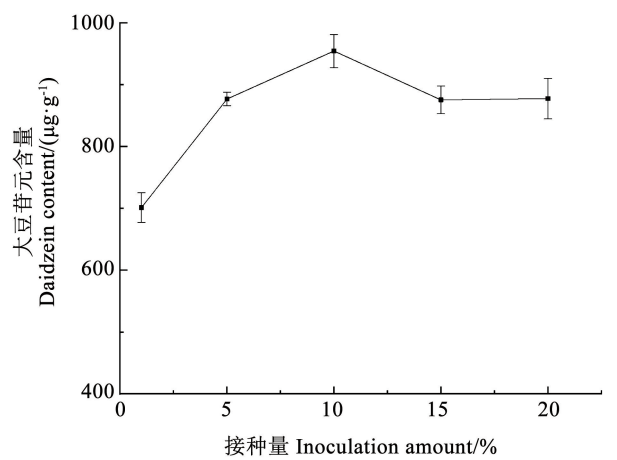


图 2 接种量对大豆苷元含量的影响
Fig. 2 Effects of inoculation amount on daidzein content

2.1.3 料液比 料液比会极大地影响渗透压和大豆苷元的浓度。由图 3 可知,当料液比为 1:1 ~ 1:2.5 时,随着料液比的增大,大豆苷元含量显著上升;随着料液比的继续增大,大豆苷元含量开始下降。说明酵母菌在发酵过程中需要大量的水分,含水量过低不利于酵母菌生长繁殖;而且,水分的持续增加会影响稀释发酵时的底物浓度,不利于微生物吸收利用,减缓代谢物的积累。因此,最适料液比为 1:2.5。

2.2 响应面分析试验

以单因素试验结果为基础设计淡豆豉炮制工艺的响应面分析试验,利用 Design-Expert V8.0.6.1 软件中的 Box-Behnken 模型,以葡萄糖添加量(A)、料液比(B)、接种量(C)为考察因素,大豆苷元含量(Y)为响应值设计三因素三水平响应面实验。实验设计及发酵后大豆苷元含量检测结果详见表 2。

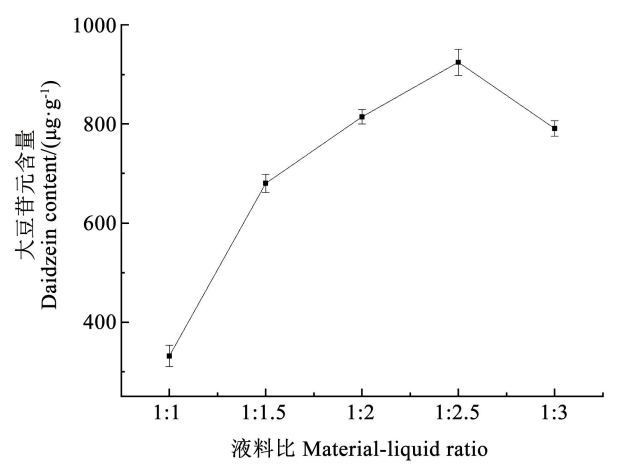


图 3 料液比对大豆苷元含量的影响
Fig. 3 Effects of feed liquid ratio on daidzein content

表 2 响应面分析试验设计与结果
Table 2 Test design and results of response surface analysis

序号 No.	因素 Factor			大豆苷元含量 Daidzein content/ (μg·g ⁻¹)
	A	B	C	
1	-1	-1	0	727.00
2	1	-1	0	788.97
3	-1	1	0	757.31
4	1	1	0	819.42
5	-1	0	-1	762.46
6	1	0	-1	811.94
7	-1	0	1	681.16
8	1	0	1	756.81
9	0	-1	-1	857.20
10	0	1	-1	827.00
11	0	-1	1	761.61
12	0	1	1	756.82
13	0	0	0	950.69
14	0	0	0	957.04
15	0	0	0	967.05
16	0	0	0	908.42
17	0	0	0	943.17

对表 2 中的数据结果进行分析,构建出回归方程模型,得到回归方程: $Y = 945.27 + 31.15A + 3.22B - 37.78C + 0.035AB + 6.54AC + 6.35BC - 109.83A^2 - 62.27B^2 - 82.35C^2$,其响应值与自变量之间呈线性关系且较为显著($P < 0.0001$),线性相关系数 $R^2 = 0.9747$,失拟项不显著($P = 0.5411 > 0.05$),说明该模型建立成功,回归方程的拟合程度良好,可用来分析预测淡豆豉大豆苷元的含量。对响应面试验进行方差分析可知,各因素对淡豆豉中大豆苷元含量的影响顺序为 C(料液比) > A(葡萄糖添加量) > B(接种量),其中一次项 A、C,平方项 A^2 、 B^2 、 C^2 对响应值影响极显著(表 3)。

表 3 回归方程方差分析

Table 3 Regression equation analysis of variance

项目 Item	均方和 Sum of squares	自由度 df	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>
模型 Model	1.257E+005	9	13968.34	30.01	<0.0001 **
A	7763.20	1	7763.20	16.68	0.0047 **
B	83.01	1	118.73	0.18	0.6855
C	1145.61	1	11800.32	24.52	0.0017 **
AB	4.900E-003	1	4.900E-003	1.053E-005	0.9975
AC	171.22	1	171.22	0.37	0.5633
BC	161.42	1	161.42	0.38	0.5744
A ²	50791.87	1	50791.87	109.12	<0.0001 **
B ²	16324.97	1	16324.97	35.07	0.0006 **
C ²	28553.34	1	28553.34	61.34	0.0001 **
残差 Residual	3258.36	7	465.48		
失拟项 Lack of fit	1253.75	3	417.92	0.83	0.5411
误差项 Pure error	2004.61	4	501.15		
总差 Total error	1.290E+005	16			

注：* 表示差异显著 ($P<0.05$)，** 表示差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: * indicates significant difference ($P<0.05$), ** indicates extremely significant difference ($P<0.01$).

根据 Design-Expert V8.0.6.1 软件对表 2 的数据进行分析,得到料液比、葡萄糖添加量和接种量交互作用对大豆苷元含量影响的响应面曲线和等高线图,详见图 4 ~ 图 6。等高线图越接近椭圆、曲面坡度越陡,说明两者的交互作用越显著。葡萄糖

添加量与接种量 (AB)、葡萄糖添加量与料液比 (AC)、接种量和料液比 (BC) 响应面坡度平缓,等高线图趋于圆形,AB、AC、BC 之间交互影响不显著,与方差分析结果一致。

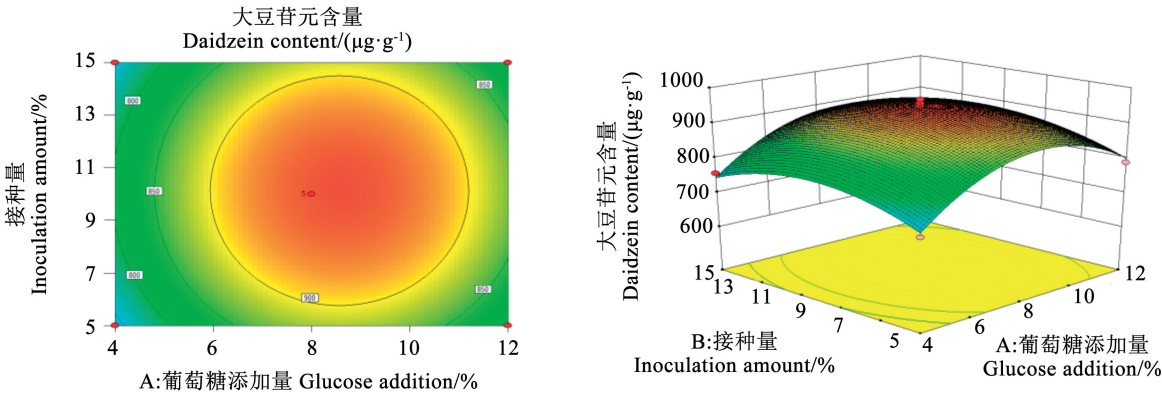


图 4 葡萄糖添加量和接种量对大豆苷元含量的影响

Fig. 4 Effects of glucose addition and inoculation on the content of daidzein

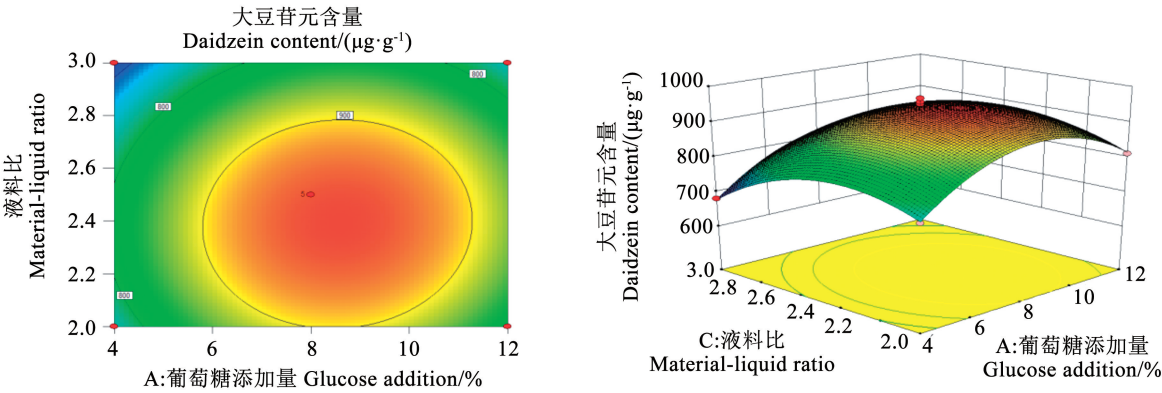


图 5 葡萄糖添加量和料液比对大豆苷元含量的影响

Fig. 5 Effects of glucose addition and feed to liquid ratio on the content of daidzein

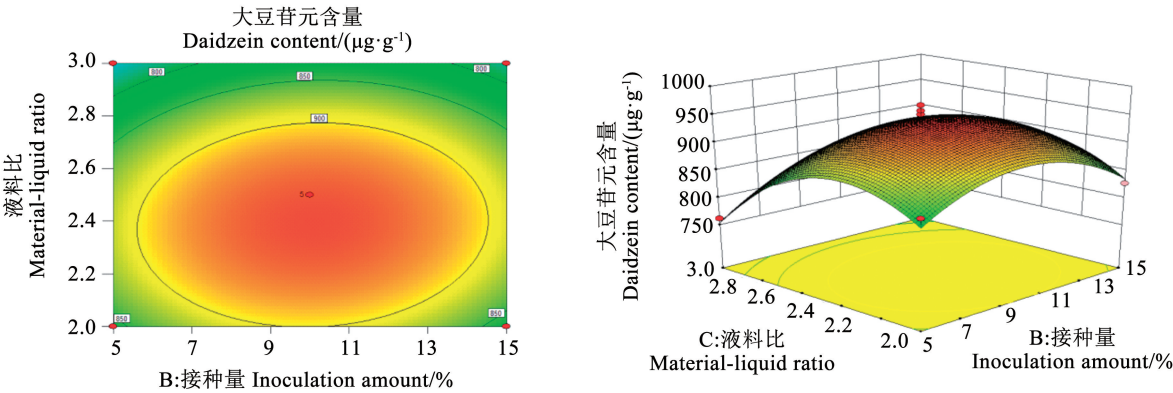


图 6 接种量和料液比对大豆苷元含量的影响

Fig. 6 Effects of inoculum volume and feed to liquid ratio on the content of daidzein

根据回归方程进行计算,得到酵母炮制型淡豆豉的最优发酵条件为:葡萄糖添加量为 8.54%,接种量为 10.07%,料液比为 1:2.39。为了实际操作和生产过程的便利性,将最佳发酵条件调整为葡萄糖添加量为 8.5%,接种量为 10%,料液比为 1:2.4。在此最佳条件下,发酵的淡豆豉中大豆苷元含量为 964.51 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,与模型预测值(951.62 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)较为接近。大豆苷元含量相比优化前(540.15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)提高 78.56%。因此,响应面法优化酵母炮制型淡豆豉发酵工艺具有可行性。

2.3 炮制过程中大豆异黄酮含量的变化

采用最优炮制条件进行淡豆豉的制备,每 24 h 收集样品测定各种结合型糖苷和游离型苷元等异黄酮的含量,结果如图 7 所示,发酵初期,染料木苷、黄豆黄苷以及大豆苷 3 种结合型糖苷的含量较高,但随着发酵时间的增加,含量逐渐降低。大豆苷元、染料木素和黄豆黄素 3 种苷元型异黄酮的含量均随发酵时间增长而升高,发酵至 6 d 时基本达到最高值,后续略有降低。

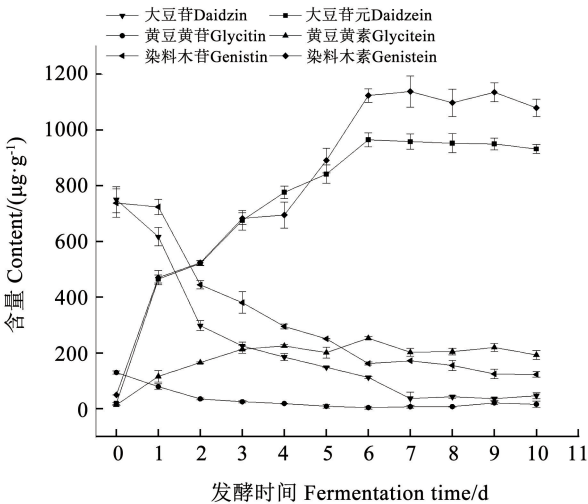


图 7 炮制过程中异黄酮含量变化

Fig. 7 Changes of soybean isoflavones during processing

淡豆豉在发酵炮制时,C5 菌株生产的 β -葡萄糖苷酶可使大分子糖苷型异黄酮逐步转化为小分子苷元型异黄酮。然而,发酵后期苷元型异黄酮的含量开始降低,说明炮制时间过长并不能有效提高淡豆豉中苷元型大豆异黄酮的含量。根据《中国药典》中的规定,淡豆豉中大豆苷元和染料木素的总含量不低于干重的 0.040%,而最优条件下生产的纯种发酵淡豆豉大豆苷元(964.51 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)和染料木素(1 123.28 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)的含量相当于干重的 0.209%,是药典规定的有效成分含量的 5.2 倍。除此以外,其他功能成分黄豆黄素的含量最高可达 252.97 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

3 讨论

传统淡豆豉的炮制为自然混菌发酵过程,由于各产地气候环境和发酵工艺的不同,导致菌种组成差异较大,淡豆豉品质无法达到稳定的标准。菌种和发酵条件是影响淡豆豉品质的主要因素。因此,淡豆豉优势发酵菌株的筛选及纯种发酵引起了学者们的广泛关注,目前,国内外已有采用纯种发酵制备淡豆豉的报道。杨翠萍^[21]以大豆黄素和染料木素的含量为指标,采用细菌蜡样芽孢杆菌纯种发酵的方式对淡豆豉的制备方法进行优化改进,提高了有效成分含量。杨丹等^[22]发现米曲霉、黑曲霉纯种发酵淡豆豉比自然发酵的总异黄酮含量以及蛋白酶活力均有提升。本研究采用酵母纯种发酵炮制方法,简化了工艺流程,无需自然发酵“闷制”的步骤,将炮制周期缩短至 6 d,且有效成分含量达到药典规定的 5.2 倍。与传统的自然发酵相比较,纯种发酵具有显著提升淡豆豉制备效率和品质的应用优势。

淡豆豉炮制的前期优势微生物种类为霉菌,后期为细菌和酵母菌。胡会萍等^[23]从豆豉后发酵样品中分离筛选出 15 株酵母菌,分别是红酵母属、伊

萨酵母属、汉逊酵母属、假丝酵母属和酵母属。文鹤等^[24]从曲霉型豆豉中筛选出1株产香酵母*Trichomonascus ciferrii*,用其进行豆豉纯种发酵,挥发性成分中酯类化合物含量相对较高。于华等^[25]在曲霉型豆豉的生产过程中添加异常威克汉姆酵母、乳酸片球菌和产酸芽孢杆菌等功能菌,发现异常威克汉姆酵母对氨基酸态氮、醇类风味物质的形成贡献巨大。酵母菌对淡豆豉炮制过程的影响越来越受到学者的重视。本研究使用的发酵菌株为前期从淡豆豉自然发酵过程中筛选获得的异常威克汉姆酵母C5菌株,具有 β -D-葡萄糖苷酶活性,能有效成分苷元型大豆异黄酮的产量。异常威克汉姆酵母是一种极具发展潜力的产香酵母,能够生产多种糖苷酶以促进香气风味物质的形成,并且具有高产乙酸乙酯、2-苯乙醇的能力,已在酿酒生产中用于提升酒的风味。异常威克汉姆酵母C5菌株的纯种发酵过程对淡豆豉其他营养成分、风味以及生理活性成分的影响仍需进一步研究。

4 结论

本研究首次采用自主筛选的产香异常威克汉姆酵母进行纯种发酵淡豆豉炮制工艺的研究。与传统的混菌发酵相比有着发酵菌种和产物明确、发酵过程易控制、有效成分含量高等优点。通过单因素和响应面优化,确定发酵工艺为:葡萄糖添加量为8.5%,接种量为10%,料液比为1:2.4。最佳发酵时间为6 d,炮制后淡豆豉功能成分大豆苷元和染料木素含量分别达到964.51和1 123.28 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; 黄豆黄素含量为252.97 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。本研究结果可为淡豆豉的科学生产以及同类型产品的研究及开发提供思路,有助于推动药食同源中药淡豆豉的加工与利用。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020年版(一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 350. (Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China 2020 (Volume I) [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020:350.)

[2] 徐菁雯, 王伟明, 史海粟, 等. 豆豉和淡豆豉微生物组与功能成分研究进展[J]. 中国酿造, 2022, 41(6): 18-23. (XU J W, WANG W M, SHI H S, et al. Advances in microbiome and functional components of Douchi and Dan-Douchi [J]. China Brewing, 2022, 41(6): 18-23.)

[3] QIU F, SHI L, WANG S, et al. Simultaneous high-performance liquid chromatography with diode array detection and time-of-flight mass spectrometric confirmation of the ten bioactive compounds in *Semen Sojae Praeparatum* [J]. Journal of Separation Science,

2018, 41(17): 3360-3371.

[4] JAYACHANDRAN M, XU B J. An insight into the health benefits of fermented soy products [J]. Food Chemistry, 2019, 271(15): 362-371.

[5] CHAI C, CUI X, SHAN C, et al. Simultaneous characterization and quantification of varied ingredients from *Sojae Semen Praeparatum* in fermentation using UFLC - TripleTOF MS [J]. Molecules, 2019, 24(10): 1864.

[6] 王萍, 陈丽艳, 孙银玲, 等. 以蛋白酶和 β -葡萄糖苷酶活性评价淡豆豉发酵工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 29-33. (WANG P, CHEN L Y, SUN Y L, et al. The evaluation of the fermentation process of *Sojae Semen Praeparatum* based on the activity of protease or β -glucosidase [J]. The Food Industry, 2020, 41(11): 29-33.)

[7] 赵佳琪, 王满元, 陈红, 等. 淡豆豉发酵制备过程异黄酮变化规律研究[J]. 中国现代中药, 2021, 23(10): 1788-1795. (ZHAO J Q, WANG M Y, CHEN H, et al. Changes of isoflavones during fermentation process of *Sojae Semen Praeparatum* [J]. Modern Chinese Medicine, 2021, 23(10): 1788-1795.)

[8] CHEN Y, WANG Y, CHEN J, et al. Bioprocessing of soybeans (*Glycine max* L.) by solid-state fermentation with *Eurotium cristatum* YL-1 improves total phenolic content, isoflavone aglycones, and antioxidant activity[J]. RSC Advances, 2020, 10(29): 16928-16941.

[9] KHAN A Q, KHAN R, REHMAN M U, et al. Soy isoflavones (daidzein & genistein) inhibit 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate (TPA)-induced cutaneous inflammation via modulation of COX-2 and NF- κ B in Swiss albino mice[J]. Toxicology, 2012, 302(2-3): 266-274.

[10] 胡斌, 王秋红, 姜海, 等. 淡豆豉抗菌活性及化学成分分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019(6): 163-167. (HU B, WANG Q H, JIANG H, et al. Antibacterial activity and chemical constituents of *Sojae Semen Praeparatum* [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2019(6): 163-167.)

[11] HUANG G, XU J, GUO T L. Isoflavone daidzein regulates immune responses in the B6C3F1 and non-obese diabetic (NOD) mice [J]. International Immunopharmacology, 2019, 71: 277-284.

[12] GUO J, MA J, CAI K, et al. Isoflavones from *Semen Sojae Praeparatum* improve atherosclerosis and oxidative stress by modulating Nrf2 signaling pathway through estrogen-like effects [J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2022:4242099.

[13] 胡琪, 陈丽艳, 郑宏宇, 等. 基于网络药理学及分子对接探讨淡豆豉抗抑郁的作用机制[J]. 现代药物与临床, 2022, 37(7): 1473-1481. (HU Q, CHEN L Y, ZHENG H Y, et al. Mechanism of *Sojae Semen Praeparatum* in treatment of anti-depression based on network pharmacology and molecular [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2022, 37(7): 1473-1481.)

[14] 马书伟. 纯种发酵淡豆豉抑制血管紧张素转化酶和抗抑郁作用的研究[D]. 南昌: 江西中医药大学, 2022. (MA S W. Study on inhibition of angiotensin-converting enzyme and

antidepressant effect about purebred fermented *Sojae Semen Praeparatum* [D]. Nanchang: Jiangxi University of Chinese Medicine, 2022.)

[15] BITTO A, ALTAVILLA D, BONAIUTO A, et al. Effects of aglycone genistein in a rat experimental model of postmenopausal metabolic syndrome [J]. Journal of Endocrinology, 2009, 200 (3): 367-376.

[16] 冯薇, 孙佳明, 董秋菊, 等. 纳豆芽孢杆菌发酵淡豆豉促成骨细胞增殖的谱效关系分析 [J]. 中国药学杂志, 2018, 53 (16): 1347-1351. (FENG W, SUN J M, DONG Q J, et al. Spectrum-effectrelationship of extract from *Semen Sojae Praeparatrm* fermented by *Bacillus natto* on proliferative activity toward rat osteoblasts [J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2018, 53 (16): 1347-1351.)

[17] 赵超凡, 吴姗姗, 赵文俊, 等. 不同发酵方式对淡豆豉品质及风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43 (23): 144-152. (WU C F, WU S S, ZHAO W J, et al. Effect of different fermentation methods on the quality and flavor of *Semen Sojae Praeparatum* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43 (23): 144-152.)

[18] 陈怡, 刘洋, 覃业优, 等. 淡豆豉的生理活性和生产工艺研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11 (17): 5948-5954. (CHEN Y, LIU Y, TAN Y Y, et al. Research progress on physiological activity and processing technology of *Semen sojae Praepatum* [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11 (17): 5948-5954.)

[19] 牛丽颖, 石素琴, 刘敏彦, 等. 淡豆豉炮制工艺的优化研究 [J]. 中成药, 2010, 32 (8): 1372-1376. (NIU L Y, SHI S Q, LIU M Y, et al. Processing of *Semen Sojae Praeparatum* [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2010, 32 (8): 1372-1376.)

[20] 李鸢, 曹冬英, 许文, 等. 基于发酵过程的淡豆豉 6 种黄酮类成分质量控制研究 [J]. 药学研究, 2019, 38 (10): 563-566, 573. (LI J, CAO D Y, XU W, et al. Quality control of six flavonoids in *Sojae Semen Praeparatum* based on fermentation process [J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2019, 38 (10): 563-566, 573.)

[21] 杨翠萍. 纯种发酵淡豆豉的制备及其异黄酮提取物对内皮细胞氧化损伤的保护作用 [D]. 贵阳: 贵州中医药大学, 2019. (YANG C P. Preparation of pure fermented *Semen Sojae Praeparatum* and the protective effect of its isoflavone extract on oxidative damage of endothelial cells [D]. Guiyang: Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, 2019.)

[22] 杨丹, 王洪礼, 马丹宁, 等. 不同发酵条件对淡豆豉中总异黄酮含量及蛋白酶活力的影响 [J]. 中国现代中药, 2016, 18 (7): 826-830. (YANG D, WANG H L, MA D N, et al. Effect of different fermentation strains on total isoflavone content and protease activity in *Semen Sojae Praeparatum* [J]. Modern Chinese Medicine, 2016, 18 (7): 826-830.)

[23] 胡会萍, 刘丹赤, 殷丽君, 等. 豆豉后发酵中优势菌株筛选及其生产性能 [J]. 食品科学, 2014, 35 (17): 146-152. (HU H P, LIU D C, YIN L J, et al. Screening and production performance of predominant strains during douchi post-fermentation [J]. Food Science, 2014 (17): 146-152.)

[24] 文鹤, 刘江崑, 胡祥飞, 等. 一株产香酵母 *Trichomonascus ciferrii* 的分离鉴定及其纯种发酵豆豉的挥发性成分分析 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47 (16): 152-158. (WEN H, LIU J Y, HU X F, et al. Volatile compounds in Douchi fermented by an aromatic yeast *Trichomonascus ciferrii* isolated from *Aspergillus-type* Douchi [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47 (16): 152-158.)

[25] 于华, 刘亚君, 梅小庆, 等. 功能菌对曲霉型豆豉风味物质形成的影响 [J]. 中国调味品, 2020, 45 (9): 81-85. (YU H, LIU Y J, MEI X Q, et al. Effect of functional bacteria on the formation of flavor substances in as pergillus-type fermented blank beans [J]. China Condiment, 2020, 45 (9): 81-85.)

欢迎订阅 2023 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管、主办的大豆专业性学术期刊,被国内外多家重要数据库收录的核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》为双月刊,16 开本,国内外公开发行。国内每期定价:40.00 元,全年 240.00 元,邮发代号:14-95。国外每期定价:40.00 美元(含邮资),全年 240.00 美元,国外邮发代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅。

地 址: 哈尔滨市松北区创新三路 800 号

邮 编: 150023

电 话: 0451-51522862

网 址: <http://ddkx.haasep.cn>

E-mail: soybeanscience@vip.163.com

