

益生菌发酵黄浆水过程中大豆异黄酮的生物转化

王欣欣,张莉,蕾蕾,梁玉,徐莹,刘炳杰,汪东风

(中国海洋大学 食品科学与工程学院,山东 青岛 266003)

摘要:采用植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)、肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)3种益生菌对黄浆水进行发酵,利用建立的高效液相色谱法考察菌种、乳粉和糖对发酵过程中大豆异黄酮含量的影响。结果表明:益生菌以 $7.0 \log \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的接菌量接种到黄浆水中 37°C 发酵24 h后,糖苷型大豆异黄酮含量显著减少,而游离苷元型大豆异黄酮含量显著增加($P < 0.05$),由 $1.54 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 增加至 $15.99 \sim 20.33 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;黄浆水中添加乳粉和糖均使发酵过程中游离苷元型大豆异黄酮含量显著增加($P < 0.05$)。利用高产游离苷元型大豆异黄酮发酵菌株发酵黄浆水,可以提高大豆异黄酮的生物活性,为充分利用黄浆水制备活性发酵饮料提供理论依据。

关键词:益生菌;大豆异黄酮;高效液相色谱法;生物转化

中图分类号:TS209

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.04.0583

Biotransformation of Isoflavone by Probiotics in Fermented Soybean Whey

WANG Xin-xin, ZHANG Li, LEI Lei, LIANG Yu, XU Ying, LIU Bing-jie, WANG Dong-feng

(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Soybean whey were fermented with three probiotics, i. e. *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus pentosaceus* and *Leuconostoc mesenteroides* separately to enhance the nutritional value. There was a significant increase and decrease ($P < 0.05$) in the concentration of isoflavone aglycones and glucosides respectively in fermented soybean whey. Biotransformation had the highest aglycone concentration of $15.99\text{--}20.33 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ after 24 h of incubation at 37°C with $7.0 \log \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ inoculation, comparing with $1.54 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ in unfermented soybean whey. The isoflavone aglycones had a significant increase with the addition of milk powder and sugar ($P < 0.05$). The results showed that probiotic could enrich the content of isoflavone aglycones of soybean whey and provide the possibility of utilizing probiotic-fermented soybean whey as a bioactive beverage.

Key words: Probiotics; Soybean isoflavone; HPLC; Biotransformation

黄浆水是豆腐生产的副产物,大豆中40%的大豆异黄酮在浸泡大豆的废水和压榨豆腐生产的黄浆水中流失。大豆异黄酮(soybean isoflavone)是一类大豆生长过程中形成的具有生理活性的次级代谢产物,在抗肿瘤、预防骨质疏松症、心血管疾病、改善妇女更年期综合征等方面具有突出作用^[1-3]。大豆中异黄酮共有12种异构体,以游离型黄酮苷元(aglycon)和结合型糖苷(glycosides)2种形式存在,苷元占总量的2%~3%,包括染料木素(genistein)、大豆苷元(daidzein)和黄豆黄素(glycitein);糖苷型占总量的97%~98%,包括染料木苷(genistin)、大豆苷(daidzin)、大豆黄素苷(glycitin),及它们各自的乙酰基葡萄糖苷型、丙二酰基葡萄糖苷型衍生物^[4]。据报道,游离苷元形式大豆异黄酮比糖苷形式大豆异黄酮更易被肠道吸收,且具有更高生物活性^[5-7]。Wei等^[8]对乳酸杆菌和双歧杆菌发酵豆乳过程中异黄酮的变化进行分析,发现发酵使62%~96%的糖苷型异黄酮转化为游离型异黄酮,提高了

豆乳的功能特性。Pyo等^[9]研究了乳酸菌发酵对豆乳中大豆异黄酮的抗氧化活性和生物活性的影响,发现苷元形式的异黄酮较糖苷形式的异黄酮具有更强抗氧化活性及生物活性。

本试验利用益生菌发酵黄浆水,研究益生菌发酵黄浆水前后糖苷型、苷元型大豆异黄酮的组分和含量变化,考察乳粉和不同种类的糖对发酵过程中大豆异黄酮含量的影响,为黄浆水的综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄浆水,由青岛三聚成有限公司豆制品生产厂提供。

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum* CICC20718)、戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus* CICC21862)、肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesente-*

收稿日期:2013-12-27

基金项目:国家自然科学基金(20807040,31302162);山东省自然科学基金(Q2008D11);青岛市公共领域科技支撑计划项目(12-1-3-34-nsh)。

第一作者简介:王欣欣(1988-),女,硕士,主要从事食品化学研究。E-mail:wangxinxin6694@126.com。

通讯作者:张莉(1979-),女,博士,副教授,主要从事食品化学研究。E-mail:qdzhangli@ouc.edu.cn。

roides CICC21860)均购自中国工业微生物菌种保藏管理中心。

大豆异黄酮标准品:大豆苷、染料木苷、大豆苷元、染料木素,纯度 $\geq 98\%$,均购自Sigma公司;甲醇、乙腈(天津科密欧试剂有限公司)均为色谱纯。

平板计数 MRS 培养基^[10]:蛋白胨 10 g,牛肉膏 10 g,酵母粉 5 g, K_2HPO_4 2 g,柠檬酸二胺 2 g,乙酸钠 5 g,葡萄糖 20 g,吐温 80 1 mL, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.58 g, $MnSO_4$ 0.25 g,琼脂 15 g,蒸馏水 1 000 mL。调 pH 至 6.2~6.4, 121 °C, 灭菌 15 min。

1.2 仪器与设备

Agilent1260 型高效液相色谱仪(美国 Agilent Technologies, 配紫外检测器); Milli-Q 超纯水系统(Millipore 公司, 0.22 μm 微孔滤膜过滤); HH-B11-500-S 型微生物培养箱; BCM-1000 型超净工作台; ZDX-35BI 型自动灭菌锅。

1.3 试验方法

1.3.1 HPLC 测定大豆异黄酮 色谱柱: Agilent ZORBAX SB-C₁₈ 柱(3.9 mm \times 150 mm, 5 μm); 流动相: A 为 0.5% 冰醋酸水, B 为乙腈; 流速: 0.6 mL \cdot min⁻¹; 柱温: 30 °C; 检测器: Agilent-G1314A 紫外检测器; 检测波长: 260 nm; 进样量: 20 μL 。梯度洗脱条件如表 1。

表 1 梯度洗脱条件

Table 1 Gradient change of elution

保留时间 Retention time/min	A: 0.5% (v/v) 冰醋酸水溶液 0.5% (v/v) acetic acid in water/%	B: 100% 乙腈 100% acetonitrile/%
5	85	15
28	65	35
42	55	45
47	10	90
59	85	15

1.3.2 标准曲线的绘制 分别称取标准品大豆苷和染料木苷各 1 mg, 染料木素和大豆苷元各 2 mg, 用甲醇分别定容至 10 mL, 制成标准储备液。分别从各标准储备液中吸取一定量, 用甲醇稀释到一定浓度, 进样分析。以各组分质量浓度(x)对峰面积(y)进行线性回归, 绘制 4 种标准品的标准曲线。

1.3.3 样品前处理方法的建立 将活化后的试验发酵剂(植物乳杆菌、戊糖片球菌、肠膜明串珠菌)

分别以 7.0 log cfu \cdot mL⁻¹ 的接菌量接种到黄浆水中, 37 °C 培养 12 h 后将发酵液立即置于 -20 °C 冰箱预冷冻, 用于真空冷冻干燥处理, 获得发酵液的冻干粉。考察在振荡提取 2 h 条件下不同提取溶剂(53% 乙腈、83% 乙腈、含 0.1 mol \cdot L⁻¹ HCl 53% 乙腈、含 0.1 mol \cdot L⁻¹ HCl 83% 乙腈)对提取效率的影响。提取滤液经滤纸过滤, 滤液于通风橱中蒸发至干, 蒸干后的残留物溶解于 80% 的甲醇并定容至 10 mL, 经 0.45 μm 微孔滤膜过滤进行 HPLC 分析。

1.3.4 发酵黄浆水中益生菌的生长曲线 益生菌以 7.0 log cfu \cdot mL⁻¹ 的接菌量接种到黄浆水(115 °C 灭菌 10 min), 37 °C 培养 24 h, 每隔 3 h 取适量发酵液, 采用平板计数法对发酵液中活菌数进行测定^[10]。

1.3.5 菌种对大豆异黄酮组分及含量的影响 益生菌(植物乳杆菌、戊糖片球菌、肠膜明串珠菌)分别以 7.0 log cfu \cdot mL⁻¹ 的接菌量接种到 100 mL 黄浆水, 115 °C 灭菌 10 min, 37 °C 培养 12, 24 h 后, 取发酵液立即置于冰箱冷冻, 备用于大豆异黄酮的测定。

1.3.6 乳粉浓度对大豆异黄酮组分及含量的影响 黄浆水中添加 0%、2%、4%、6%、8%、10% 的乳粉和 2% 的葡萄糖, 115 °C 灭菌 10 min 后作为培养基, 分别接入 7.0 log cfu \cdot mL⁻¹ 的益生菌(植物乳杆菌、戊糖片球菌、肠膜明串珠菌), 37 °C 培养 12 h, 发酵液备用于大豆异黄酮的测定。

1.3.7 糖的种类对大豆异黄酮组分及含量的影响 黄浆水中分别添加 6% 的乳粉和 2% 的葡萄糖、蔗糖、果糖、乳糖, 115 °C 灭菌 10 min 后作为培养基, 分别接入 7.0 log cfu \cdot mL⁻¹ 的益生菌植物乳杆菌、戊糖片球菌、肠膜明串珠菌, 37 °C 培养 12 h, 发酵液备用于大豆异黄酮的测定。

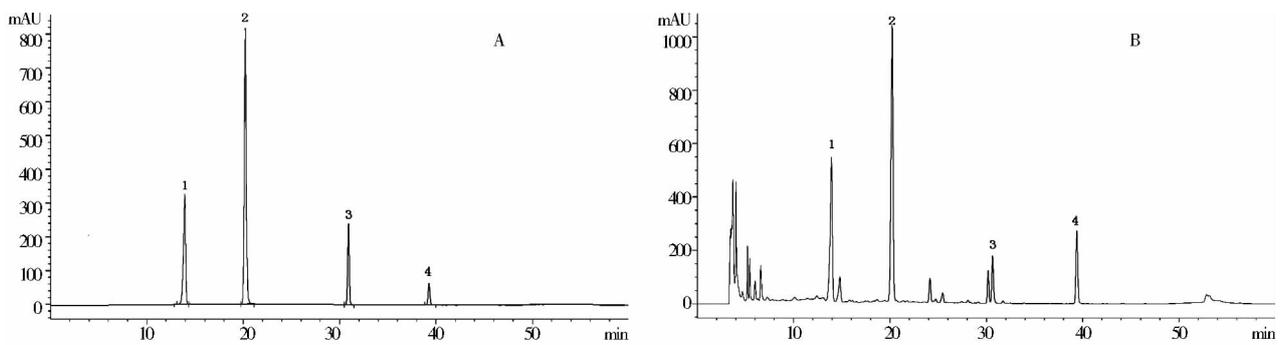
1.4 数据处理

采用 SPSS 13.0 分析处理数据。试验有 3 组平行样, 数据表示为“平均值 \pm 标准偏差”, 显著性差异通过方差分析和 Duncan 多项极差检验分析。

2 结果与分析

2.1 大豆异黄酮标准曲线

按照 1.3.1 所述方法, 可得 4 种大豆异黄酮的高效液相色谱图(图 1)。以各组分质量浓度(x)对峰面积(y)进行线性回归, 绘制 4 种标准品的标准曲线, 其线性回归方程见表 2。



A: 标准品; B: 黄浆水; 1: 大豆苷 (14.197 min); 2: 染料木苷 (20.416 min); 3: 大豆苷元 (30.781 min); 4: 染料木素 (39.426 min)。

A: Standards; B: Soybean whey; 1: Daidzin (14.197 min); 2: Genistin (20.416 min); 3: Daidzein (30.781 min); 4: Genistein (39.426 min)。

图 1 四种大豆异黄酮的高效液相色谱图

Fig. 1 HPLC profile of isoflavone

表 2 大豆异黄酮的线性回归方程

Table 2 Linearities of soybean isoflavones

测定成分 Constituent	回归方程 Regression equation	线性范围 Linear range/ μg	r
大豆苷 Daidzin	$y = 137.98x + 100.03$	0.196 ~ 0.800	0.9998
染料木苷 Genistin	$y = 321.42x - 1640.5$	0.274 ~ 0.560	0.9992
大豆苷元 Daidzein	$y = 63.686x + 269.5$	0.060 ~ 0.240	0.9995
染料木素 Genistein	$y = 356.85x - 94.295$	0.024 ~ 0.064	0.9991

2.2 样品前处理对大豆异黄酮提取率的影响

试验结果表明,不同的提取溶剂对大豆异黄酮提取效果存在差异,如表 3 所示,含 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 53% 乙腈对样品的溶解性最好,对 4 种大豆异黄酮(大豆苷、染料木苷、大豆苷元、染料木素)提取

效果最佳,53% 乙腈提取率次之。但盐酸水解可将糖苷转化为相应的苷元,同时盐酸加入可能导致大豆异黄酮的骨架破坏^[11],故尽管盐酸的加入提高了总异黄酮的提取率,但仍选择以 53% 乙腈为溶剂振荡提取 2 h。

表 3 不同提取溶剂对提取大豆异黄酮含量的影响

Table 3 Concentration of isoflavones in soybean whey extracted with four different solvent mixtures

提取溶剂 Solvents	大豆异黄酮 Isoflavone/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$			
	大豆苷 Daidzin	染料木苷 Genistin	大豆苷元 Daidzein	染料木素 Genistein
53% 乙腈 53% Acetonitrile	25.64 ± 1.02	48.12 ± 1.08	0.37 ± 0.07	1.17 ± 0.09
含 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 53% 乙腈	26.38 ± 0.56	48.53 ± 1.00	0.43 ± 0.02	1.22 ± 0.06
53% Acetonitrile containing $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 53%				
83% 乙腈 83% Acetonitrile	20.41 ± 0.63	36.36 ± 0.30	0.30 ± 0.05	1.08 ± 0.05
含 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 83% 乙腈	22.74 ± 0.22	37.70 ± 0.91	0.35 ± 0.04	1.18 ± 0.07
83% Acetonitrile containing $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 53%				

2.3 益生菌在黄浆水中的生长曲线

由图 2 可知,黄浆水中初始益生菌菌落数约为 $7.0 \log \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$,在发酵 6~12 h 时,菌落总数迅速

增加,植物乳杆菌在发酵 18 h 达到最高菌落总数,为 $7.98 \log \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$,高于戊糖片球菌 ($7.87 \log \text{ cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$) 和肠膜明串珠菌 (7.96

log cfu·mL⁻¹)。之后,3种益生菌菌落总数维持恒定。

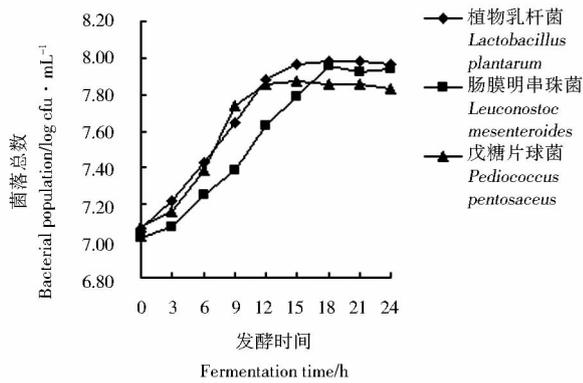


图2 乳酸菌发酵黄浆水生长曲线

Fig. 2 Changes of bacterial population in fermented soybean whey

2.4 不同菌种发酵处理对大豆异黄酮组分及含量的影响

益生菌发酵黄浆水的过程改变了大豆异黄酮组分及含量(表4)。未发酵黄浆水(0 h)中大豆异黄酮主要是糖苷型,含量为73.76 mg·L⁻¹,而游离苷元型大豆异黄酮含量仅为1.54 mg·L⁻¹。随发酵时间的延长,糖苷型大豆异黄酮含量显著减少($P < 0.05$),发酵24 h糖苷型大豆异黄酮浓度减少至40.13~43.46 mg·L⁻¹,而染料木素和苷元含量显著增加($P < 0.05$),大豆苷元的浓度由0.37 mg·L⁻¹增加至10.34~10.61 mg·L⁻¹,染料木素浓度由1.17 mg·L⁻¹增加至6.32~9.72 mg·L⁻¹。3种益生菌菌中戊糖片球菌水解糖苷型大豆异黄酮为游离苷元型大豆异黄酮的效果较为理想,发酵24 h后游离苷元型大豆异黄酮含量由1.54 mg·L⁻¹增加至20.33 mg·L⁻¹。

表4 不同发酵时间下益生菌37℃发酵黄浆水的大豆异黄酮含量

Table 4 Concentration of isoflavones in soybean whey after incubation by *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus pentosaceus*, *Leuconostoc mesenteroides* at 37℃

发酵菌株 Strain	发酵时间 Time/h	糖苷型大豆异黄酮 Isoflavone glucoside/mg·L ⁻¹		游离苷元型大豆异黄酮 Isoflavone aglycone/mg·L ⁻¹	
		大豆苷 Daidzin	染料木苷 Genistin	大豆苷元 Daidzein	染料木素 Genistein
植物乳杆菌 <i>Lactobacillus plantarum</i>	0	25.64 ± 1.02 a	48.12 ± 1.08 a	0.37 ± 0.07 c	1.17 ± 0.09 c
	12	9.30 ± 1.00 b	35.85 ± 1.23 b	9.69 ± 0.83 b	4.34 ± 0.48 b
	24	10.00 ± 0.87 b	33.01 ± 0.11 c	10.34 ± 0.11 a	6.80 ± 0.24 a
戊糖片球菌 <i>Pediococcus pentosaceus</i>	0	25.64 ± 1.02 a	48.12 ± 1.08 a	0.37 ± 0.07 c	1.17 ± 0.09 c
	12	14.53 ± 0.68 b	38.06 ± 0.72 b	10.40 ± 0.43 b	6.49 ± 0.93 b
	24	6.40 ± 0.76 c	33.73 ± 0.03 c	10.61 ± 0.34 a	9.72 ± 0.57 a
肠膜明串珠菌 <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	0	25.64 ± 1.02 a	48.12 ± 1.08 a	0.37 ± 0.07 c	1.17 ± 0.09 c
	12	12.22 ± 0.44 b	35.44 ± 1.11 b	9.13 ± 0.32 b	4.72 ± 0.09 b
	24	11.61 ± 0.75 c	31.85 ± 0.24 c	9.67 ± 0.17 a	6.32 ± 0.24 a

平均值 ± 标准差(n=3)。同一列的平均值带有不同字母表示显著性差异($P < 0.05$)。下同。

Means ± SD of three replicate analyses (n=3). Means in the same column with different letters were significantly different ($P < 0.05$). The same below.

2.5 乳粉浓度对大豆异黄酮组分及含量的影响

由如表5可知,添加乳粉使发酵过程中游离苷元型大豆异黄酮含量增加。乳粉浓度为2%~6%时,游离苷元型大豆异黄酮含量随浓度的增加而显著增大($P < 0.05$),这可能主要由于乳粉的添加弥补了黄浆水中蛋白质的不足,为乳酸菌生长提供了

必要的氮源,已有研究表明黄浆水中氮源添加量不同,对益生菌的生长影响不同^[2],乳粉的添加利于乳酸菌的繁殖和提高水解酶的活性。乳粉浓度8%~10%时,戊糖片球菌大豆苷元、染料木素含量随乳粉添加量的增加无显著性差异。

表 5 乳粉浓度对不同益生菌发酵黄浆水 12 h 大豆异黄酮含量的影响

Table 5 Effect of milk powder concentration on the content of isoflavones in soybean whey after incubation by different strains for 12 h at 37°C (mg·L⁻¹)

大豆异黄酮 Isoflavone/mg·L ⁻¹	发酵菌株 Strain	乳粉浓度 Milk powder concentration/%					
		0	2	4	6	8	10
大豆苷元	植物乳杆菌 <i>Lactobacillus plantarum</i>	9.69 ± 0.83 d	10.99 ± 0.31 c	11.54 ± 0.30 b	12.39 ± 0.20 a	12.09 ± 0.06 a	11.65 ± 0.11 b
Daidzein	戊糖片球菌 <i>Pediococcus pentosaceus</i>	10.40 ± 0.43 d	11.25 ± 0.26 c	11.74 ± 0.09 b	12.58 ± 0.22 a	12.58 ± 0.08 a	12.53 ± 0.26 a
	肠膜明串珠菌 <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	9.13 ± 0.32 e	10.48 ± 0.37 d	11.57 ± 0.05 c	12.12 ± 0.28 ab	12.46 ± 0.20 a	12.66 ± 0.12 a
染料木素	植物乳杆菌 <i>Lactobacillus plantarum</i>	4.34 ± 0.48 e	6.887 ± 0.43 d	7.71 ± 0.19 c	9.92 ± 0.33 a	9.09 ± 0.50 b	8.23 ± 0.20 c
Genistein	戊糖片球菌 <i>Pediococcus pentosaceus</i>	6.49 ± 0.93 e	8.52 ± 0.27 d	9.04 ± 0.29 c	10.08 ± 0.34 a	9.87 ± 0.43 b	9.10 ± 0.15 c
	肠膜明串珠菌 <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	4.72 ± 0.09 d	7.77 ± 0.08 c	8.80 ± 0.53 b	9.68 ± 0.35 a	9.11 ± 0.22 b	9.23 ± 0.45 b

2.6 糖的种类对大豆异黄酮组分及含量的影响

表 6 表明, 添加不同种类的糖均使发酵过程中游离苷元型大豆异黄酮含量增加。其中, 添加葡萄糖发酵后的黄浆水中大豆苷元、染料木素含量分别为 12.12 ~ 12.58 mg·L⁻¹, 9.93 ~ 10.62 mg·L⁻¹, 高于添加其他糖发酵的黄浆水中游离苷元型大豆异

黄酮的含量, 且差异显著 ($P < 0.05$)。其次为添加果糖和蔗糖, 且二者间差异显著 ($P < 0.05$)。添加乳糖的黄浆水发酵后游离苷元型大豆异黄酮的含量最低, 为 16.95 ~ 19.73 mg·L⁻¹, 显著低于其他种类的糖 ($P < 0.05$)。

表 6 糖的种类对不同益生菌发酵黄浆水 12 h 大豆异黄酮含量的影响

Table 6 Effect of sugar type on the content of isoflavones in soybean whey after incubation by different strains for 12 h at 37°C (mg·L⁻¹)

大豆异黄酮 Isoflavone/mg·L ⁻¹	发酵菌株 Strain	糖种类 Sugar types				
		不添加糖 No sugar added	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	果糖 Fructose	乳糖 Lactose
大豆苷元	植物乳杆菌 <i>Lactobacillus plantarum</i>	9.69 ± 0.83 c	12.39 ± 0.33 a	10.74 ± 0.24 b	11.02 ± 0.41 b	9.88 ± 0.49 c
Daidzein	戊糖片球菌 <i>Pediococcus pentosaceus</i>	10.40 ± 0.43 b	12.58 ± 0.23 a	10.73 ± 0.21 b	12.83 ± 0.54 a	10.51 ± 0.42 b
	肠膜明串珠菌 <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	9.13 ± 0.32 d	12.12 ± 0.35 a	10.12 ± 0.22 c	10.84 ± 0.56 b	9.34 ± 0.30 d
染料木素	植物乳杆菌 <i>Lactobacillus plantarum</i>	4.34 ± 0.48 d	9.93 ± 0.10 a	9.41 ± 0.27 b	9.84 ± 0.48 a	7.85 ± 0.31 c
Genistein	戊糖片球菌 <i>Pediococcus pentosaceus</i>	6.49 ± 0.93 d	10.62 ± 0.26 b	10.50 ± 0.26 b	11.08 ± 0.14 a	9.22 ± 0.21 c
	肠膜明串珠菌 <i>Leuconostoc mesenteroides</i>	4.72 ± 0.09 d	9.68 ± 0.35 a	8.52 ± 0.03 b	8.54 ± 0.45 b	7.61 ± 0.35 c

3 结论与讨论

Ounis 等^[12] 采用预处理的豆腐黄浆水作为生长培养基, 表明植物乳杆菌 LB17 能够在其中较好的生长。本研究中 3 株益生菌植物乳杆菌、戊糖片球菌、肠膜明串珠菌在黄浆水中也能够较好的生长, 益生菌以 7.0 log cfu·mL⁻¹ 的接菌量接种到黄浆水中 37°C 发酵 18 h 后, 菌落总数增加至 7.87 ~ 7.98 log cfu·mL⁻¹。表明黄浆水为益生菌生长提供了生长所需的营养物质, 是培养益生菌的良好培养基。

采用 3 株益生菌植物乳杆菌、戊糖片球菌、肠膜明串珠菌发酵黄浆水, 显著提高了黄浆水中具有生物活性的游离苷元型大豆异黄酮的含量。益生菌以 7.0 log cfu·mL⁻¹ 的接菌量接种到黄浆水中 37°C

发酵 24 h 后, 游离苷元型大豆异黄酮含量由 1.54 mg·L⁻¹ 增加至 15.99 ~ 20.33 mg·L⁻¹。Otieno 等^[13] 研究表明糖苷型大豆异黄酮转化为糖基和具有生物活性的游离苷元型大豆异黄酮可以显著提高豆乳的生物活性, 而这主要是 β -葡萄糖苷酶的酶解作用。Tochikura 等^[14] 研究表明益生菌含有 β -葡萄糖苷酶, 在发酵豆浆过程中能将糖苷型大豆异黄酮水解成具有生物活性的游离苷元型大豆异黄酮。添加乳粉和不同种类的糖均使发酵过程中游离苷元型大豆异黄酮含量显著增加。其中, 添加葡萄糖的黄浆水水解糖苷型大豆异黄酮为游离苷元型大豆异黄酮效果最佳。这一研究结果与 Tsangalis 等^[15] 研究相符, 其研究表明, 乳双歧杆菌发酵豆乳中添加 1% 葡萄糖可以显著增加游离型大豆异黄酮

的含量。Wei等^[8]研究了利用乳杆菌和双歧杆菌发酵添加了不同种类糖的豆乳,结果表明游离苷元型大豆异黄酮含量显著增加。上述研究表明,发酵处理是提高豆乳生物活性的有效方法。利用微生物发酵大豆食品如豆豉和发酵豆乳,对大豆中的有机物进行降解和重组,是发酵大豆食品活性增强的原因所在^[16]。因此,采用益生菌发酵黄浆水是提高黄浆水功能成分生物活性的有效方式。

参考文献

- [1] Adlercreutz H. Phytoestrogens and breast cancer [J]. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 2002, 83 (1-5): 113-118.
- [2] Messina M, Persky V, Setchell K D R, et al. Soy intake and cancer risk: A review of the *in vitro* and *in vivo* data [J]. *Nutrition Cancer*, 1994, 21: 113-131.
- [3] 徐春华, 张治广, 谢明杰. 大豆异黄酮的抗氧化和抗肿瘤活性研究 [J]. *大豆科学*, 2010, 29 (5): 870-873. (Xu C H, Zhang Z G, Xie M J. Research on antioxygenic and antitumor activities of soybean isoflavones [J]. *Soybean Science*, 2010, 29 (5): 870-873.)
- [4] Koudou S, Fleury Y, Welt D, et al. Malonyl isoflavone glycosides in soybean seeds (*Glycine max* Merrill) [J]. *Agriculture and Biological Chemistry*, 1991, 55 (9): 2227-2233.
- [5] Xu X, Keecha S H, Wang H J, et al. Bioavailability of soybean isoflavone depends upon gut microflora in women [J]. *The Journal of Nutrition*, 1995, 125: 2307-2315.
- [6] Change Y C, Nair M G. Metabolism of daidzein and genistein by intestinal bacteria [J]. *Journal of Natural Products*, 1995, 58 (12): 1892-1896.
- [7] 董喜梅, 包艳, 张勇, 等. 国内外发酵豆乳研究发展现状 [J]. *大豆科学*, 2010, 29 (5): 883-888. (Dong X M, Bao Y, Zhang Y, et al. Research progress on domestic and international fermented soybean [J]. *Soybean Science*, 2010, 29 (5): 883-888.)
- [8] Wei Q K, Chen T R, Chen J T. Using of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* to produce the isoflavone aglycones in fermented soymilk [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, 117 (1): 120-124.
- [9] Pyo Y H, Lee T C, Lee Y C. Effect of lactic acid fermentation on enrichment of antioxidant properties and bioactive isoflavone in soybean [J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70 (3): 215-220.
- [10] 凌代文, 东秀珠. 乳酸细菌分类鉴定及实验方法 [M]. 中国轻工业出版社, 1999. (Ling D W, Dong X Z. Identification and experimental methods of lactic acid bacteria [M]. China Light Industry Press, 1999.)
- [11] 王松, 丁立, 周荣琪. HPLC法测定豆粕中大豆异黄酮的含量 [J]. *化工进展*, 2005, 24 (2): 196-199. (Wang S, Ding L, Zhou R Q. Determination of isoflavones in soybean meal by HPLC [J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2005, 24 (2): 196-199.)
- [12] Ounis W B, Champagne C P, Makhlof J, et al. Utilization of tofu whey pre-treated by electromembrane process as a growth medium for *Lactobacillus plantarum* LB17 [J]. *Desalination*, 2008, 229 (1-3): 192-203.
- [13] Otieno D O, Ashton J F, Shah N E. Stability of β -glucosidase activity produced by *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* spp. in fermented soymilk during processing and storage [J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70 (4): 236-341.
- [14] Tochikura T, Sakai K, Fujiyoshi T, et al. Para-nitrophenyl glycoside-hydrolyzing activities in bifidobacteria and characterization of beta-galactosidase of *Bifidobacterium longum* 401 [J]. *Agriculture and Biological Chemistry*, 1986, 50: 2279-2286.
- [15] Tsangalis D, Ashton J F, McGill A E J, et al. Biotransformation of isoflavones by bifidobacteria in fermented soymilk supplemented with D-glucose and L-cysteine [J]. *Food Microbiology and Safety*, 2003, 68 (2): 623-631.
- [16] 黄文字, 柳陈坚, 李海燕. 传统大豆发酵食品中大豆异黄酮的生理保健机能的研究进展 [J]. *中国微生态学杂志*, 2009, 21 (10): 949-955. (Hang W Y, Liu C J, Li H Y. Research progress of physiological health function of soybean isoflavone in traditional fermented soybean [J]. *Chinese Journal of Microecology*, 2009, 21 (10): 949-955.)

欢迎订阅 2015 年《中国生态农业学报》

《中国生态农业学报》由中国科学院遗传与发育生物学研究所和中国生态经济学会主办,中国科学院主管,科学出版社出版。系中国期刊方阵双效期刊、中国科技精品期刊、中文核心期刊、RCCSE中国权威学术期刊,为中国学术期刊综合评价数据库、中国期刊全文数据库、中国学术期论文摘、中国科学引文数据库、中国科技论文与引文数据库、CNKI中国期刊全文数据库源刊,并被国际农业生物学文摘(CABI)、美国化学文摘(CA)、哥白尼索引(IC)、美国乌利希国际期刊指南等国际数据库及检索单位收录。荣获第三届、四届全国农业优秀期刊一等奖和首届北方优秀期刊奖,被评为2009年中国北方优秀期刊,连续多届获得河北省优秀期刊奖。

《中国生态农业学报》主要报道全球环境变化与农业、农业生态系统与生态农业理论基础、农田生态系统与农业资源、生态农业模式和技术体系、农业生态经济学、农业环境质量及环境保护、农业有害生物的综合防治等领域创新性研究

成果。适于从事农业生态学、生态学、生态经济学以及环境保护等领域科技人员、高等院校有关专业师生,农业及环境管理工作者和基层从事生态农业建设的技术人员阅读与投稿。

《中国生态农业学报》国内外公开发行,国内刊号 CN13-1315/S,国际刊号 ISSN1671-3990。月刊,国际标准大 16 开本,128 页,每期定价 35.00 元,全年 420.00 元。邮发代号: 82-973,全国各地邮局均可订阅。漏订者可直接汇款至编辑部补订(需另加邮资 50.00 元/年)。

地址:(050022) 河北省石家庄市槐中路 286 号 中科院遗传发育所农业资源研究中心《中国生态农业学报》编辑部
电话:(0311) 85818007 传真:(0311) 85815093
网址: <http://www.ecoagri.ac.cn>

E-mail: editor@sjziam.ac.cn