



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.2014.06.004

## 以全燕麦为基质的干酪乳杆菌 *Zhang* 固态发酵研究

史 燕, 张淑丽, 王海宽

(工业发酵微生物教育部重点实验室, 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457)

**摘要:** 以燕麦全粉为唯一基质进行干酪乳杆菌 (*Lactobacillus casei*) *Zhang* 固态发酵, 以期获得一种具有益生元功效的谷物发酵食品. 为了提高干酪乳杆菌的活菌数, 对燕麦固态培养基进行了优化, 选择含水量、接种量、发酵时间和培养基初始 pH 进行单因素实验, 通过正交实验进一步优化得到最佳发酵条件. 结果表明: 含水量 55%、接种量 9%、培养基初始 pH 6、37 °C 静置培养 36 h 为最佳条件, 此时干酪乳杆菌活菌数为  $6.32 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ , 滴定酸度为 9.93 mL, 乳酸含量为 0.45 g/100 g. 对燕麦发酵前后的营养成分进行分析可知, 发酵后  $\beta$ -葡聚糖含量为 1.61 g/100 g, 和发酵前相比几乎没有降低,  $\alpha$ -氨基氮的含量增加了 0.06 g/100 g, 相对分子质量小于 6 000 的多肽增加了 10.62%.

**关键词:** 燕麦; 干酪乳杆菌; 固态发酵;  $\beta$ -葡聚糖; 多肽

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2014)06-0016-05

## Whole Oat Solid-state Fermentation with *Lactobacillus casei* Zhang

SHI Yan, ZHANG Shuli, WANG Haikuan

(Key Laboratory of Industrial Fermentation Microbiology, Ministry of Education, College of Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** In this study, the whole oat powder was used as the only medium for the solid-state fermentation with *Lactobacillus casei* Zhang for the purpose of developing a fermented grain food with prebiotic effect. In order to obtain the high viable count of *L. casei* Zhang, the optimal fermentation conditions were obtained through single factor tests and the orthogonal tests of the moisture content, inoculum size, fermentation time and the initial pH of the medium. In the optimal conditions (moisture content 55%, inoculum size 9%, pH 6, fermentation 36 h and under 37 °C), the highest population was  $6.32 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ , the titratable acidity was 9.93 mL and the amount of lactic acid was 0.45 g/100 g. By analyzing the nutrition compositions of the oat before and after fermentation, the following conclusions could be made. Almost no change was seen in the  $\beta$ -glucan content, which was 1.61 g/100 g after fermentation; the content of  $\alpha$ -ammonia nitrogen and peptide whose relative molecular weight is less than 6 000 increased by 0.06 g/100 g and 10.62%, respectively.

**Key words:** oat; *Lactobacillus casei* Zhang; solid-state fermentation;  $\beta$ -glucan; peptide

益生菌具有抑制致病菌和腐败菌、缓解乳糖不耐症、防癌、抗突变、降低血清中胆固醇、预防胃肠道感染、抗腹泻、增强免疫能力等生理功能, 近几年来一直备受人们的关注. 而传统益生菌产品多为发酵乳制品, 但乳中富含脂肪和胆固醇, 还可能引发乳糖不耐症, 不适合一些消费者长期食用<sup>[1]</sup>. 所以非乳益生菌食品已成为益生菌食品发展的重要趋势<sup>[2]</sup>.

燕麦是谷物中最好的全价营养食品. 它具有含量相对较高的蛋白质、不饱和脂类、维生素、抗氧化

物质和酚类, 以及不同类型的膳食纤维, 例如,  $\beta$ -葡聚糖、阿拉伯木聚糖和纤维素<sup>[3-4]</sup>. 其中可溶性膳食纤维  $\beta$ -葡聚糖是主要的功能成分, 具有降低血液中胆固醇的含量以及餐后血糖水平的作用<sup>[5]</sup>. 同时, 肠道微生物发酵  $\beta$ -葡聚糖 (作为一种益生元) 后会形成短链脂肪酸, 从而保护结肠膜<sup>[6]</sup>. 研究已经证明, 燕麦适用于益生菌发酵, 且在发酵的过程中会产生一些易于人体机体吸收的有益成分. Loponen 等<sup>[7]</sup>在燕麦发酵的过程检测了燕麦球蛋白可溶性以及水解性的

收稿日期: 2014-03-29; 修回日期: 2014-06-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30900961)

作者简介: 史 燕 (1986—), 女, 河北人, 硕士研究生; 通信作者: 王海宽, 教授, hkwang@aliyun.com.

变化,表明在燕麦发酵中蛋白作为燕麦的结构成分可以被水解而提供具有香味和活性肽的产物.葛磊等<sup>[8]</sup>用中温 $\alpha$ -淀粉酶、糖化酶对燕麦进行双酶水解,得到的糖化液配以脱脂奶粉,进行杀菌,冷却后再以保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌为发酵剂进行接种发酵,制备出一种含有活性成分且具有保健功能的生物乳饮料. Angelov 等<sup>[9]</sup>利用乳酸菌发酵全粒燕麦获得了一种含有 $\beta$ -葡聚糖益生功效的饮料.

目前,市场上以燕麦为主要原料的益生菌产品较多,但多添加各种糖类,不适宜高血脂、高血糖等人群长期食用,而以燕麦全粉作为益生菌唯一载体的固态发酵产品国内外仍未见报道.同时,固态发酵较液态发酵具有工艺简单、无污染、成本低、易推广、对环境和设备要求低的优势.干酪乳杆菌 Zhang 是分离自内蒙古地区传统酸马奶中的一株益生菌.该菌株的耐酸性、人工胃肠液和胆盐耐受性良好<sup>[10]</sup>,并且,大量的实验研究表明其具有显著的降血脂和免疫调节作用<sup>[11-12]</sup>.因此,本研究旨在以燕麦全粉为唯一基质进行干酪乳杆菌 Zhang 固态发酵特性的研究,以期获得一种具有益生元功效的谷物发酵食品.

## 1 材料与方法

### 1.1 原料、菌种及试剂

燕麦,市售,捣碎机捣碎成粉末,过20目筛.

干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*) Zhang,内蒙古农业大学“乳品生物技术与工程”教育部重点实验室.

蛋白胨、牛肉膏均为生化试剂;Tween 80 为化学纯;葡萄糖、柠檬酸三铵、乙酸钠、 $K_2HPO_4$ 、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  和  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$  等均为分析纯试剂.

### 1.2 培养基

MRS 培养基:蛋白胨 10 g,牛肉膏 10 g,酵母膏 5 g,  $K_2HPO_4$  2 g,柠檬酸三铵 2 g,乙酸钠 2 g,葡萄糖 20 g,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0.5 g,  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$  0.25 g, Tween 80 1 mL,蒸馏水 1 L, pH 6.5, 115 °C 灭菌 20 min.

计数培养基: MRS 固体培养基.

燕麦固态发酵培养基:向燕麦粉中加入一定量的水,然后用玻璃棒搅拌均匀,配制成初始含水量不同的燕麦培养基,115 °C 灭菌 20 min.

### 1.3 菌种的活化

取少量保存于甘油管内的干酪乳杆菌 Zhang 于

MRS 琼脂平板上划线,挑取单菌落用 MRS 固体斜面培养基进行菌种活化传代,从活化的 MRS 固体斜面培养基上挑取适量菌体接入 MRS 液体培养基中,37 °C 静置培养 20 h,然后将活化的菌液按  $V(\text{菌液})/V(\text{培养基}) = 5\%$  的接种量接入 MRS 液体培养基中,37 °C 静置培养 16 h,制成种子液.

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 含水量对干酪乳杆菌活菌数的影响

对不同初始含水量( $m(\text{水})/m(\text{培养基}) = 50\%$ 、55%、60%、65%)进行单因素实验,接种量为 8%,37 °C 静置培养 24 h 后,分别对以上固态发酵培养体系进行干酪乳杆菌活菌计数,每组处理重复 3 次.

### 1.4.2 接种量对干酪乳杆菌活菌数的影响

在上述确定的含水量的基础上,其他条件不变,对不同接种量( $m(\text{菌液})/m(\text{培养基}) = 5\%$ 、8%、10%、11%)进行单因素实验,分别对以上固态发酵培养体系进行干酪乳杆菌活菌计数,每组处理重复 3 次.

### 1.4.3 发酵时间对干酪乳杆菌活菌数的影响

在上述确定的固态发酵培养条件的基础上,其他条件不变,对培养时间(12、24、36、48 h)进行单因素实验,分别对以上固态发酵培养体系进行干酪乳杆菌活菌计数,每组处理重复 3 次.

### 1.4.4 培养基初始 pH 对植物乳杆菌活菌数的影响

在上述确定的固态发酵培养条件的基础上,其他条件不变,对培养基初始 pH(5.5、6.0、6.5、7.0)进行单因素实验,分别对以上固态发酵培养体系进行干酪乳杆菌活菌计数,每组处理重复 3 次.

### 1.4.5 干酪乳杆菌固态发酵燕麦优化正交实验

在上述单因素实验的基础上,选择各因素的 3 个最佳水平设计正交实验.

## 1.5 检测方法

### 1.5.1 干酪乳杆菌 Zhang 活菌检测

称取 10 g 燕麦固体发酵样品置于装有 90 mL 无菌生理盐水的匀浆杯中,匀浆 15 s,制成 1:10 的样品匀液.然后梯度稀释,选择合适稀释度按国家标准 GB 4789.35—2010 进行活菌计数<sup>[13]</sup>.

### 1.5.2 pH 和总酸度(TTA)的测定

根据 AACC(2000)02-52 方法<sup>[14]</sup>,称取 10 g 燕麦固态发酵产物,放入锥形瓶中,加入 90 mL 无  $CO_2$  的蒸馏水,用磁力器搅拌 30 min,静置 10 min 后用 pH 计测定新鲜曲料的 pH;并用 0.1 mol/L NaOH 溶液滴定,用 pH 计测定滴定终点 pH 8.6.所需 0.1 mol/L NaOH 溶液的体积(单位为 mL)即为总酸度.重复 3 次取平均值.

### 1.5.3 固态发酵前后成分含量的测定

可溶性膳食纤维含量的测定按照 AACC32-07 方法<sup>[15]</sup>;  $\beta$ -葡聚糖含量的检测按照 AOAC995.16 方法<sup>[16]</sup>;  $\alpha$ -氨基氮的测定采用茚三酮显色法<sup>[17]</sup>; 乳酸含量利用生物传感仪进行测定.

### 1.6 燕麦多肽样品的制备

取燕麦发酵样品 10 g, 匀浆器破碎后, 将所得发酵物用 5 倍无菌生理盐水在 4 °C 浸提 4 h, 在 4 500 r/min 条件下离心取上清液, 冷冻干燥后取粉末 2.0 g, 加水 50 mL 充分溶解, 3 000 r/min 离心 15 min, 取上清液, 经 0.45  $\mu$ m 微孔滤膜过滤. 另有未接种固态发酵物作为空白对照.

### 1.7 多肽相对分子质量分布的测定<sup>[18]</sup>

色谱条件: 色谱柱为 GE Superdex<sup>TM</sup> Peptide 10/300GL (10 mm  $\times$  300 mm) 凝胶柱; 流动相为 50 mmol/L 磷酸盐缓冲溶液 (pH 7.2, 含 0.15 mol/L NaCl); 柱压小于 1.8 MPa; 流量 0.7 mL/min; 检测波长 214 nm; 柱温为室温; 进样量 10  $\mu$ L. 以细胞色素 C ( $M_r = 12\ 500$ )、抑肽酶 ( $M_r = 6\ 512$ )、氧化性谷胱甘肽 ( $M_r = 615$ )、还原谷胱甘肽 ( $M_r = 310$ )、甘氨酸 ( $M_r = 75$ ) 为相对分子质量标准品.

## 2 结果与讨论

### 2.1 干酪乳杆菌固态发酵燕麦培养条件的优化

#### 2.1.1 含水量对干酪乳杆菌活菌数的影响

初始含水量对干酪乳杆菌 Zhang 固态发酵燕麦活菌数的影响见图 1.

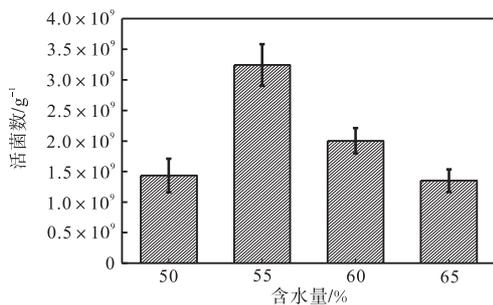


图 1 含水量对干酪乳杆菌 Zhang 活菌数的影响

Fig. 1 Effect of the moisture content on the growth of *L. casei* Zhang

由图 1 可知, 含水量达到 55% 时, 干酪乳杆菌 Zhang 活菌数最高, 为  $3.24 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ .

#### 2.1.2 接种量对干酪乳杆菌活菌数的影响

接种量对干酪乳杆菌 Zhang 固态发酵燕麦活菌

数的影响见图 2.

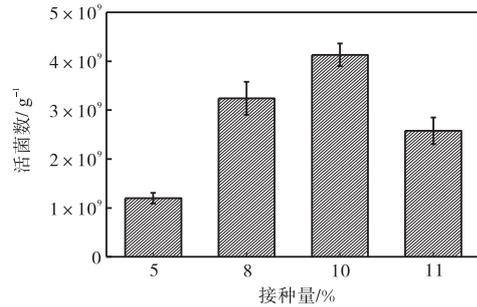


图 2 接种量对干酪乳杆菌 Zhang 活菌数的影响

Fig. 2 Effect of the inoculum size on the growth of *L. casei* Zhang

由图 2 可知: 接种量从 5% 增大到 10%, 干酪乳杆菌 Zhang 活菌数随之递增; 当接种量为 10% 时, 活菌数最高, 为  $4.13 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ .

#### 2.1.3 发酵时间对干酪乳杆菌活菌数的影响

不同发酵时间的实验结果见图 3.

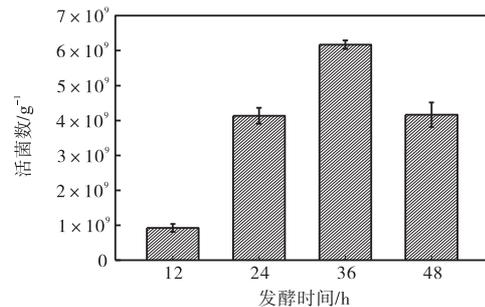


图 3 发酵时间对干酪乳杆菌 Zhang 活菌数的影响

Fig. 3 Effect of the cultivation time on the growth of *L. casei* Zhang

由图 3 可知: 在一定范围内, 干酪乳杆菌 Zhang 活菌数随着发酵时间的延长而递增; 当发酵时间为 36 h 时, 活菌数最高, 为  $6.17 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ .

#### 2.1.4 培养基初始 pH 对干酪乳杆菌活菌数的影响

不同初始 pH 的实验结果见图 4.

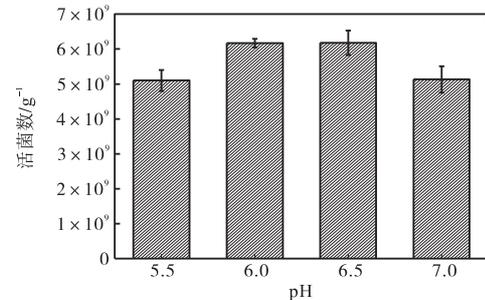


图 4 培养基初始 pH 对干酪乳杆菌 Zhang 活菌数的影响

Fig. 4 Effect of initial medium pH on the growth of *L. casei* Zhang

由图 4 可知,培养基初始 pH 对干酪乳杆菌 Zhang 活菌数有一定的影响,当 pH 为 6.0 或 6.5 时,活菌数分别为  $6.17 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$  和  $6.18 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ ,差别不明显,但比 pH 为 5.5 和 7.0 的活菌数都高。

## 2.2 正交实验确定最佳培养条件

在上述单因素实验的基础上,选择各因素的 3 个最佳水平设计正交实验,结果见表 1。

表 1 燕麦固态发酵正交实验结果

Tab. 1 Results of orthogonal experiment of oat solid-state fermentation

| 序号    | 含水量/% | 接种量/% | 时间/h  | pH    | 活菌数/ $\text{g}^{-1}$          |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| 1     | 50    | 9     | 32    | 6.0   | $(4.10 \pm 0.26) \times 10^9$ |
| 2     | 50    | 10    | 36    | 6.5   | $(5.80 \pm 0.33) \times 10^9$ |
| 3     | 50    | 11    | 40    | 7.0   | $(3.20 \pm 0.17) \times 10^9$ |
| 4     | 55    | 9     | 36    | 7.0   | $(6.10 \pm 0.30) \times 10^9$ |
| 5     | 55    | 10    | 40    | 6.0   | $(5.60 \pm 0.26) \times 10^9$ |
| 6     | 55    | 11    | 32    | 6.5   | $(3.10 \pm 0.10) \times 10^9$ |
| 7     | 60    | 9     | 40    | 6.5   | $(3.70 \pm 0.17) \times 10^9$ |
| 8     | 60    | 10    | 32    | 7.0   | $(2.33 \pm 0.23) \times 10^9$ |
| 9     | 60    | 11    | 36    | 6.0   | $(4.80 \pm 0.30) \times 10^9$ |
| $k_1$ | 4.367 | 4.633 | 3.177 | 4.833 |                               |
| $k_2$ | 4.933 | 4.577 | 5.567 | 4.200 |                               |
| $k_3$ | 3.610 | 3.700 | 4.167 | 3.877 |                               |
| $R$   | 1.323 | 0.933 | 2.390 | 0.957 |                               |

由表 1 可知:对于干酪乳杆菌 Zhang 活菌数影响的主次顺序是发酵时间 > 含水量 > pH > 接种量;理论最佳组合为:含水量 55%、接种量 9%、发酵时间 36 h、培养基初始 pH 6。

在此优化条件下培养干酪乳杆菌 Zhang,经验证,其活菌数为  $(6.32 \pm 0.14) \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ ,相比于未优化前的活菌数有所提高,也高于正交实验中的各个组合条件下的活菌数。

## 2.3 发酵过程中 pH 和总酸度变化

发酵过程中 pH 和总酸度变化见图 5。

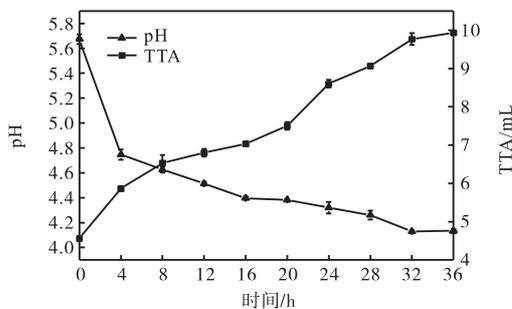


图 5 干酪乳杆菌 Zhang 固态发酵燕麦过程中 pH 和总酸度变化

Fig. 5 Curves of pH and TTA of oat solid-state fermentation with *L. casei* Zhang

由图 5 可以看出:在最初的 0~4 h 的发酵过程中,随着发酵时间的延长,燕麦培养基的 pH 由原来的 5.67 迅速下降到 4.75 左右;4 h 以后,pH 只是轻微的变化;当 32 h 以后,pH 为 4.13 并保持不变.总酸度随着发酵时间的延长而增加,这是由于干酪乳杆菌 Zhang 产酸,酸不断积累导致酸度上升,当发酵到 36 h 时,总酸度达到 9.93 mL。

## 2.4 发酵前后燕麦成分的变化

将优化后得到的燕麦固态发酵产物进行成分变化分析,结果见表 2、表 3。

表 2 燕麦固态发酵前后成分对比

Tab. 2 Comparison of compositions before and after fermentation

| 测量时间 | 成分含量/(g/100 g)  |                 |                 |                 |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|      | 可溶性膳食纤维         | $\beta$ -葡聚糖    | $\alpha$ -氨基氮   | 乳酸              |
| 发酵前  | $2.19 \pm 0.10$ | $1.63 \pm 0.20$ | $0.11 \pm 0.02$ | 0               |
| 发酵后  | $2.08 \pm 0.11$ | $1.61 \pm 0.14$ | $0.17 \pm 0.01$ | $0.45 \pm 0.01$ |

表 3 不同相对分子质量段的燕麦多肽含量分布

Tab. 3 Oat peptide of different relative molecular weight

| 相对分子质量         | 多肽含量/%           |                  |
|----------------|------------------|------------------|
|                | 发酵前              | 发酵后              |
| <1 000         | $55.05 \pm 0.52$ | $58.55 \pm 0.66$ |
| 1 000 ~ 3 000  | $12.02 \pm 0.71$ | $16.45 \pm 1.03$ |
| 3 000 ~ 6 000  | $10.94 \pm 0.73$ | $11.30 \pm 0.54$ |
| 6 000 ~ 10 000 | $7.16 \pm 0.55$  | $7.22 \pm 0.02$  |
| >10 000        | $14.84 \pm 0.75$ | $6.48 \pm 0.75$  |

由表 2 可知:可溶性膳食纤维由发酵前的 2.19 g/100 g 变为 2.08 g/100 g,变化不显著;大部分的  $\beta$ -葡聚糖属于可溶性膳食纤维,其含量由发酵前 1.63 g/100 g 变为 1.61 g/100 g,几乎没有降低,这可能是由于干酪乳杆菌对  $\beta$ -葡聚糖降解能力差造成的; $\alpha$ -氨基氮的含量由 0.11 g/100 g 上升至 0.17 g/100 g,同时,产生的乳酸量为 0.45 g/100 g.  $\beta$ -葡聚糖能够降低血糖、降低血脂,具有极好的保健作用.燕麦中  $\beta$ -葡聚糖含量居于谷物之首,故固态发酵完的燕麦产品仍具有降血糖和降血脂的保健作用。

将色谱数据用 GPC 数据处理软件进行计算,即可得到样品中多肽的相对分子质量分布范围(表 3)。从表 3 中可以看出:在干酪乳杆菌固态发酵燕麦 36 h 后,与空白对照组作比较,相对分子质量大于 10 000 的多肽(蛋白质)含量降低了 56.33%,相对分子质量小于 6 000 的多肽增加了 10.62%,其中,相对分子质量在 3 000 ~ 6 000 的多肽含量增加了 3.29%,相对分子质量在 1 000 ~ 3 000 的多肽含量增加了

36.85%, 相对分子质量小于 1 000 的小分子肽含量增加了 6.36%。而生物活性肽(BAP)指的正是一类相对分子质量小于 6 000 的多肽,其在体内吸收快,利用率高,并且营养丰富,具有抗高血压,抗血栓形成、降血糖、抗癌、抗衰老、防止肝硬化等多种功能<sup>[19]</sup>。实验表明,干酪乳杆菌 Zhang 发酵燕麦的过程中菌体会分泌蛋白酶,可使蛋白质水解产生小分子的肽类和氨基酸,有利于人体更好地吸收。

### 3 结 论

本实验选取了可能影响干酪乳杆菌 Zhang 固态发酵燕麦活菌数的含水量、接种量、发酵时间以及培养基的初始 pH 进行单因素和正交优化实验,得到了最优发酵条件:含水量 55%、接种量 9%、发酵时间 36 h、培养基初始 pH 6,在此条件利用燕麦为唯一基质进行发酵所得干酪乳杆菌 Zhang 活菌数为  $6.32 \times 10^9 \text{ g}^{-1}$ ,总酸度为 9.93 mL。

对比发酵前后燕麦基质成分的变化,作为可溶性膳食纤维的主要成分的  $\beta$ -葡聚糖含量几乎没有降低;乳酸含量为 0.45 g/100 g;  $\alpha$ -氨基氮的含量增加了 0.06 g/100 g;相对分子质量小于 6 000 的多肽增加了 10.62%。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 周小莉,王淼. 乳酸菌在燕麦基质中生长特性的研究[J]. 食品与发酵工业,2011,37(9):64-69.
- [ 2 ] 周小莉. 乳酸菌在燕麦基质中生长特性研究[D]. 无锡:江南大学,2012.
- [ 3 ] Gupta S, Cox S, Abu-Ghannam N. Process optimization for the development of a functional beverage based on lactic acid fermentation of oats[J]. Biochemical Engineering Journal, 2010, 52(2/3): 199-204.
- [ 4 ] Peterson D M. Oat antioxidants[J]. Journal of Cereal Science, 2001, 33(2): 115-129.
- [ 5 ] Lazaridou A, Biliaderis C G, Izydorczyk M S. Molecular size effects on rheological properties of oat  $\beta$ -glucans in solution and gels[J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(5): 693-712.
- [ 6 ] Daniel M, Wisker E, Rave G, et al. Fermentation in human subjects of nonstarch polysaccharides in mixed diets, but not in a barley fiber concentrate, could be predicted by in vitro fermentation using human fecal inocula[J]. The Journal of Nutrition, 1997, 127(10): 1981-1988.
- [ 7 ] Loponen J, Laine P, Sontag-Strohm T, et al. Behaviour of oat globulins in lactic acid fermentation of oat bran[J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(1): 105-110.
- [ 8 ] 葛磊,张晖,王立,等. 一种燕麦乳酸菌发酵饮料的研究[J]. 粮食与饲料工业,2011(12):26-29.
- [ 9 ] Angelov A, Gotcheva V, Kuncheva R, et al. Development of a new oat-based probiotic drink[J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 112(1): 75-80.
- [ 10 ] 张和平,孟和,毕力格,等. 分离自内蒙古传统发酵酸马奶中 *L. casei* Zhang 潜在益生特性的研究[J]. 中国乳品工业,2006,34(4):4-10.
- [ 11 ] 托娅,张和平. 一株分离自内蒙古传统酸马奶中的乳酸杆菌 *Lactobacillus casei* Zhang 对小鼠免疫功能的影响[J]. 中外医疗,2008,27(11):39-42.
- [ 12 ] Sartor R B. Therapeutic manipulation of the enteric microflora in inflammatory bowel diseases: Antibiotics, probiotics, and prebiotics[J]. Gastroenterology, 2004, 126(6): 1620-1633.
- [ 13 ] 中华人民共和国卫生部. GB 478935—2010 食品安全国家标准·食品微生物学检验·乳酸菌检验[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [ 14 ] American Association of Cereal Chemists International. AACC approved methods 02-52.01 Hydrogen-ion activity (pH): Electrometric method[S]. St. Paul, MN: The Association, 2000.
- [ 15 ] Prosky L, Asp N G, Schweizer T, et al. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study[J]. Journal of Association of Official Analytical Chemists, 1988, 71(5): 1017-1023.
- [ 16 ] McCleary B V, Mugford D C. Determination of  $\beta$ -glucan in barley and oats by streamlined enzymatic method: Summary of collaborative study[J]. Journal of AOAC International, 1997, 80(3): 580-583.
- [ 17 ] 林梅香. 浅谈麦汁中  $\alpha$ -氨基氮的测定[J]. 啤酒科技, 2002(4): 37, 40.
- [ 18 ] 余勃,陆兆新. 发酵豆粕生产大豆多肽研究[J]. 食品科学,2007,28(2):189-192.
- [ 19 ] 韩杨. 燕麦中活性肽实用价值研究现状[J]. 生命科学仪器,2008,6(12):10-15.

责任编辑:常涛