

马艳弘,孟 勇,崔 晋,等.牛蒡复合乳酸菌发酵饮料工艺优化及稳定性研究[J].江苏农业科学,2019,47(22):243-246.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.057

牛蒡复合乳酸菌发酵饮料工艺优化及稳定性研究

马艳弘¹,孟 勇²,崔 晋¹,曹培杰¹,黄开红¹

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏南京 210014; 2.徐州世缘食品有限公司,江苏丰县 221743)

摘要:以牛蒡为主要原料,筛选适宜其发酵的复合乳酸菌,制备牛蒡发酵饮料。在单因素试验基础上,通过正交试验优化其发酵工艺与稳定剂配方,分析其抑菌活性。结果表明,明串珠菌和植物乳杆菌 SD2 为适宜的发酵菌种,牛蒡乳酸菌饮料的最佳发酵工艺:料液比为 1 g : 6 mL,复合乳酸菌菌种配比(体积比)为 1 mL : 1 mL,接种量为 6%,发酵温度为 41 ℃,发酵时间为 60 h;复合稳定剂配方:黄原胶用量为 0.10%、果胶用量为 0.30%、结冷胶用量为 0.20%。该工艺条件下制备的牛蒡发酵饮料具有较好的口感、稳定性和明显的抗菌活性。

关键词:牛蒡;乳酸菌;发酵饮料;稳定性;抑菌活性;正交试验

中图分类号: TS275.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)22-0243-04

牛蒡(*Arctium lappa* L.),又名恶实、大力子、东洋参、牛鞭菜等,属桔梗目菊科二年生草本植物。牛蒡富含人体所需的多种氨基酸、维生素及矿物质,还含有菊糖、挥发油、牛蒡苷、多酚、膳食纤维等多种生理活性物质^[1-3],具有明显的降血脂、降血糖、润肠通便、抗癌、保护心脑血管、提高人体免疫力等功效^[4-6]。但是因牛蒡含有多种烯、酮、醛、不饱和烃类等挥发性成分^[7],致使其产品通常带有令人不愉悦的刺激风味,严重制约了牛蒡产业发展及其相关产品的市场销量。

乳酸菌(lactic acid bacteria, LAB)作为一类发酵糖产生乳酸的革兰氏阳性细菌,是人和动物体肠道内天然存在的重要益生菌群,有防止乳糖不耐症、改善人体胃肠功能、促进消化、抗菌消炎、抑制胆固醇代谢、降血脂、降血压、抗衰老、免疫调节等生物保健功能^[8]。大多数乳酸菌具有食用安全性^[9],已被广泛应用于发酵果蔬、乳品加工等食品领域。研究报道,乳酸菌发酵能够将蔬菜蛋白质降解为氨基酸、多肽等小分子物质,释放多酚、黄酮等功能因子^[10],合成维生素 B、维生素 K 等果蔬中缺乏的维生素^[11],并能伴随发酵过程生成新的有机酸、胞外多糖、 γ -氨基丁酸等生理活性物质,不仅可显著提高蔬菜的营养价值与生物利用度,还能够形成其独特的色香味,加速含硫和含氮等不良风味物质的降解,从而改善发酵原料的风味及品质^[12-14]。

目前乳酸菌发酵饮料已经成为食品加工领域的研究热点之一,但是市场上蔬菜原浆发酵饮料多采用自然发酵的方式,具有发酵周期长、发酵风味差、质量不稳定、标准化程度低等缺陷,有关牛蒡复合乳酸菌发酵技术及其产品的研究也鲜有报道。因此,本研究以牛蒡为主要原料,筛选出发酵启动快和具有良好产酸能力的复合乳酸菌发酵牛蒡浆,在单因素试验

的基础上利用正交试验优化复合乳酸菌发酵牛蒡的最佳工艺及其稳定剂配方,并分析牛蒡发酵饮料的抗菌能力,既为扩宽牛蒡加工途径、改善现有牛蒡产品的风味与品质提供科学依据,也为进一步的产业化生产提供技术参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试菌株与试剂 保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*)、嗜热链球菌(*Streptococcus thermophiles*)、明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)、植物乳杆菌 SD2(*Lactobacillus plantarum* SD2)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、沙门氏菌(*Salmonella typhimurium*)等均由江苏省农业科学院农产品加工研究所食品生物工程研究室保藏。

牛蒡根由徐州世缘食品有限公司提供;MRS 和 PDA 培养基均购自南京天为生物科技有限公司;氢氧化钠、酒石酸钾钠、亚硫酸钠、3,5-二硝基水杨酸(DNS)、葡萄糖、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、盐酸均为分析纯试剂,购自国药集团化学试剂有限公司;黄原胶、结冷胶、果胶均为市售食品级。

1.1.2 仪器与设备 BS223S 型电子天平,购自赛多利斯科学仪器北京有限公司;HWSY 型电热恒温水浴锅,购自浙江舟山市定海区海源仪器厂;D-8 型紫外可见分光光度计,购自上海奥析科学仪器有限公司;BHC-1300IIA/B2 型生物洁净安全柜,购自苏州净化设备有限公司;TDL-80-2C 低速台式离心机,购自上海安亭科学仪器厂。

1.2 试验方法

1.2.1 牛蒡复合乳酸菌发酵饮料制备工艺 牛蒡浆的制备:将新鲜牛蒡洗净,去皮切片后以 1 : 2 ~ 1 : 6 的固液比于 1% (质量比)柠檬酸、0.5% 维生素 C、0.6% NaCl 溶液组成的护色液^[15]中浸泡 20 min,捞出冲洗,用 90 ℃ 热水烫漂 10 min,再按一定料液比加水打浆,加入 2% 蔗糖、2% 乳糖、1.5% 豆粕粉,混合均匀后在 121 ℃ 条件下高压灭菌 20 min,得牛蒡浆。

发酵剂制备:将 4 种乳酸菌的保藏菌种分别置于 MRS 培

收稿日期:2018-08-14

基金项目:江苏省苏北科技专项(编号:BN2016001);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(17)2003]。

作者简介:马艳弘(1972—),女,山西吕梁人,博士,副研究员,主要从事果蔬加工及副产物综合利用技术研究。Tel:(025)84392187; E-mail:ma_yhyy@126.com。

培养基中进行活化复壮后,再按 2% 接种量接种于 50 mL 牛蒡浆、10 g 脱脂乳粉组成的培养液中,置于培养箱 30 ℃ 条件下培养 24~48 h,连续驯化培养 2~3 次,至菌体浓度达 $1.0 \times 10^8 \sim 1.0 \times 10^9$ CFU/mL,即为牛蒡发酵饮料的发酵剂。

牛蒡发酵饮料的制备:将备好的发酵剂于 6 000 r/min 条件下离心 10 min,弃去上清,沉淀中加入等体积的灭菌生理盐水重悬乳酸菌后按照 4% 接种量接入灭菌牛蒡浆,置于恒温培养箱 41 ℃ 发酵培养 60 h,发酵结束后用纱布过滤除去滤渣,再置于离心机中,4 500 r/min 离心 20 min,上清液加入 5% 蔗糖、2% 蜂蜜与复合稳定剂等辅料,混合均匀,再经灌装、巴氏杀菌、冷却贴标后即成为成品。

1.2.2 乳酸菌发酵牛蒡浆单因素试验 考察保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、明串珠菌、植物乳杆菌 SD2 在牛蒡浆中的生长情况,通过活菌数的测定确定适宜的发酵菌种;筛选出 2 种不同的乳酸菌后,设置不同配比[1 mL:1 mL、1 mL:2 mL、2 mL:1 mL、2 mL:3 mL、3 mL:2 mL]的复合菌种,通过考察发酵液 pH 值和还原糖含量,确定复合菌种最佳配比;设置不同料液比[1 g:2 mL、1 g:4 mL、1 g:6 mL、1 g:8 mL、1 g:10 mL]、接种量(0.5%、1.0%、2.0%、4.0%、6.0%)、发酵温度(37、39、41、43、45 ℃)、发酵时间(24、36、48、60、72 h),通过考察其对乳酸含量的影响,确定适宜的发酵条件。

1.2.3 复合乳酸菌发酵牛蒡浆工艺正交试验 在单因素试验基础上,以感官评分为指标,采用 $L_9(3^4)$ 进行正交试验,对牛蒡复合乳酸菌饮料发酵工艺条件进行优化,其因素与水平见表 1。

表 1 $L_9(3^4)$ 正交试验水平因素

| 水平 | 因素 | | |
|----|-----------|----------|-----------|
| | A:发酵温度(℃) | B:接种量(%) | C:发酵时间(h) |
| 1 | 39 | 2 | 48 |
| 2 | 41 | 4 | 60 |
| 3 | 43 | 6 | 72 |

1.2.4 牛蒡乳酸菌发酵饮料的复合稳定剂筛选 以黄原胶、结冷胶、果胶为单一稳定剂,在单因素试验基础上,以常温下放置 3 周的牛蒡乳酸菌发酵饮料经 3 500 r/min 离心 10 min 后产生的沉淀率为考察指标,通过正交试验优化复合稳定剂配方。沉淀率越小,表明发酵饮料的稳定性越好。其中沉淀率的计算方法如下:

沉淀率 = 沉淀物质量 / 离心饮料质量 × 100%。

1.2.5 体外抑菌试验^[16] 将供试菌种大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌从斜面转接至已灭菌的液体马铃薯培养基中活化,然后分别挑取菌苔,用无菌水制成菌悬液,分别取 0.1 mL 供试菌悬液,于 PDA 平板培养基表面涂布均匀,用无菌镊子夹取浸有牛蒡乳酸菌发酵饮料的滤纸片贴于各含菌平板上,以浸有无菌水的滤纸片作对照,于 37 ℃ 培养 24 h。测量各自抑菌圈直径的大小,比较抑菌效果。

1.2.6 指标测定 乳酸菌活菌数的测定:利用生理盐水将牛蒡发酵液进行梯度稀释至适宜浓度,采用 MRS 培养基平板计数。

pH 值与酸度的测定:pH 值用 pH 计测定;总酸度以乳酸计,具体参考张宏志等的方法^[17]。

还原糖含量的测定:还原糖含量采用 DNS 法^[18]测定。以葡萄糖为标准品绘制标准曲线所得线性回归方程为 $y = 0.989 3x - 0.010 4 (r^2 = 0.999 2)$,根据标准曲线即可计算样品中还原糖含量。

感官评定:由 10 人组成感官评定小组对产品的色泽、组织形态、气味、滋味进行评价记分,评分标准见表 2。

表 2 牛蒡乳酸菌饮料感官评价标准

| 项目 | 评分标准 | 满分(分) |
|------|---------------------|-------|
| 色泽 | 颜色微黄、均匀一致、晶莹剔透 | 15 |
| 组织形态 | 表面光滑细腻、澄清透亮、无杂质、无沉底 | 20 |
| 气味 | 有牛蒡的特征香气及浓郁的发酵香气 | 30 |
| 滋味 | 口味协调醇厚,嫩滑滋润,酸甜爽口 | 35 |

2 结果与分析

2.1 菌种的筛选与确定

由图 1、图 2 可知,不同乳酸菌在牛蒡浆中均能生长繁殖。发酵前 48 h,4 种乳酸菌均呈指数生长;48 h 之后开始进入稳定期,发酵至 60 h,各菌种的菌体数量均达到最高值,乳酸含量也达到最高;发酵 60 h 后各菌种的菌体数量开始缓慢下降,乳酸含量基本保持恒定。明串珠菌的发酵启动速度最快,发酵 12 h 菌体数量即可达到 1.26×10^8 CFU/mL,植物乳杆菌 SD2 的生长速率最快,产酸能力最强,发酵至 60 h 时达到菌体数量最高值,为 2.63×10^9 CFU/mL,乳酸含量达 4.32%;保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌生长速率较慢,整个发酵过程中,二者的菌体数量和乳酸浓度均低于相同发酵时间下的明串珠菌和植物乳杆菌 SD2。因此,确定将明串珠菌和植物乳杆菌 SD2 复配后进行后续试验。

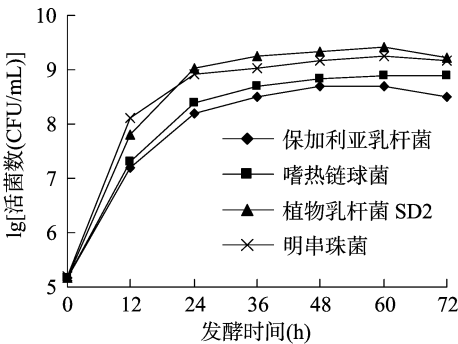


图1 不同乳酸菌发酵过程中活菌数的变化

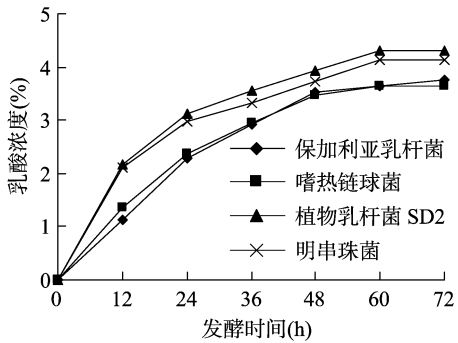


图2 不同乳酸菌发酵液中的乳酸浓度变化

2.2 菌种配比对发酵过程的影响

由图 3 可知,利用不同配比的明串珠菌与植物乳杆菌 SD2 组成的复合菌种发酵牛蒡浆,发酵液的 pH 值处于 3.16~3.31 之间,其中 2:1 的复合菌种产酸能力最强,发酵液的 pH 值最低,其次分别为 1:2、1:1、2:3、3:2 的复合菌种;不同配比菌种的降糖能力也有差异,1:1、1:2、2:1、2:3、3:2 的菌种发酵液中还原糖含量分别达 3.87、4.76、4.46、4.36、4.20 mg/mL。考虑到酸度过高会对口感造成不利影响,确定降糖能力最强、还原糖浓度最低、产酸能力较强的 1:1 乳酸菌配比作为发酵牛蒡浆最优的菌种配比。

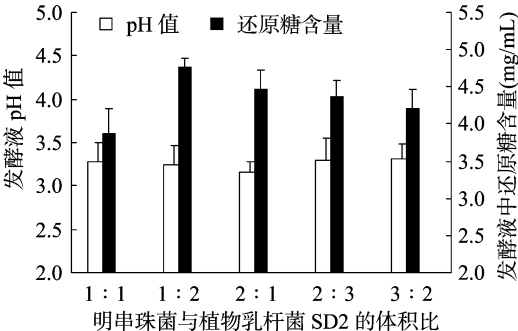


图3 菌种配比对发酵液 pH 值和还原糖含量的影响

2.3 复合乳酸菌发酵牛蒡浆单因素试验结果

2.3.1 料液比对牛蒡发酵饮料感官评分的影响 由图 4 可知,牛蒡发酵饮料的感官分值随料液比增加呈先增加后降低的趋势,料液比为 1 g:6 mL 时,感官评分最高,达 92 分。由此确定复合乳酸菌发酵牛蒡浆时最适料液比为 1 g:6 mL。

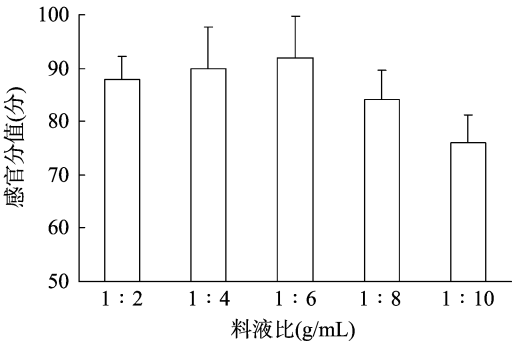


图4 料液比对牛蒡发酵饮料感官评分的影响

2.3.2 接种量、发酵温度、发酵时间对牛蒡发酵饮料乳酸含量的影响 由表 3 可知,牛蒡发酵饮料的乳酸含量随接种量的增大先上升,当接种量为 4.0% 时达到最高值,而后保持平衡。发酵温度在 37~41℃ 范围内,乳酸含量随温度升高而提高,在 41℃ 时乳酸含量达到最大值,为 4.33%;超过 41℃,则又随温度升高而降低。发酵时间也能对牛蒡发酵饮料的产酸情况产生影响。随着发酵时间的延长,乳酸含量呈递增趋势,但是超过 60 h,即使发酵时间再延长,乳酸含量也基本保持不变。由此确定适宜的接种量为 4%~6%,发酵温度为 41℃,发酵时间为 60 h。

2.4 牛蒡复合乳酸菌发酵条件正交试验结果

在单因素试验结果上,以乳酸含量和感官评分作为考察指标,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验。由表 4 可知,各因素对牛蒡乳酸菌发酵饮料产酸情况的影响情况表现为 $A > B > C$,即发酵

表 3 接种量、发酵温度、发酵时间对乳酸含量的影响

| 接种量 (%) | 乳酸含量 (%) | 发酵温度 (℃) | 乳酸含量 (%) | 发酵时间 (h) | 乳酸含量 (%) |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.5 | 2.67 | 37 | 3.36 | 24 | 2.88 |
| 1.0 | 3.38 | 39 | 3.82 | 36 | 2.95 |
| 2.0 | 3.82 | 41 | 4.33 | 48 | 3.10 |
| 4.0 | 4.38 | 43 | 3.96 | 60 | 3.96 |
| 6.0 | 4.38 | 45 | 3.60 | 72 | 3.95 |

表 4 牛蒡发酵饮料发酵工艺正交试验结果

| 试验号 | 因素 | | | 乳酸含量 (%) | 感官评分 (分) |
|-----------------|---------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| | A:发酵温 度(℃) | B:接种量 (%) | C:发酵时 间(h) | | |
| 1 | 39 | 2 | 48 | 3.42 | 82 |
| 2 | 39 | 4 | 60 | 3.96 | 93 |
| 3 | 39 | 6 | 72 | 4.01 | 89 |
| 4 | 41 | 2 | 60 | 4.12 | 91 |
| 5 | 41 | 4 | 72 | 4.33 | 88 |
| 6 | 41 | 6 | 48 | 4.38 | 86 |
| 7 | 43 | 2 | 72 | 3.72 | 78 |
| 8 | 43 | 4 | 48 | 3.76 | 72 |
| 9 | 43 | 6 | 60 | 3.83 | 80 |
| k_1 | 3.80 | 3.75 | 3.85 | | |
| k_2 | 4.28 | 4.02 | 3.97 | | |
| k_3 | 3.88 | 4.07 | 4.02 | | |
| $R_{\text{乳酸}}$ | 0.51 | 0.32 | 0.17 | | |
| k_1' | 88.00 | 83.67 | 80.00 | | |
| k_2' | 88.33 | 84.33 | 88.00 | | |
| k_3' | 76.67 | 85.00 | 85.00 | | |
| R' 感官评分 | 11.66 | 1.33 | 8.00 | | |

温度 > 接种量 > 发酵时间,最优工艺为 $A_2B_3C_3$,即发酵温度为 41℃、接种量为 6%、发酵时间为 72 h;各因素对牛蒡发酵饮料感官评分的影响情况表现为 $A > C > B$,即发酵温度 > 发酵时间 > 接种量,最优发酵工艺为 $A_2B_3C_2$,即发酵温度为 41℃、接种量为 6%、发酵时间为 60 h。综合考虑乳酸产量、感官风味、生产成本,选择 $A_2B_3C_2$ 方案为最优工艺。经验证试验,该条件下制备的牛蒡发酵饮料风味独特、酸滑清爽、口感细腻、香气协调,乳酸含量达 4.41%,感官评分达 93 分。

2.5 牛蒡发酵饮料稳定性试验

在前期单因素试验基础上,以黄原胶、果胶、结冷胶为因素,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验优化复合稳定剂配方,试验结果见表 5。由表 5 可知,各因素对牛蒡发酵饮料稳定性的影响程度表现为黄原胶 > 结冷胶 > 果胶。即对牛蒡发酵饮料稳定性影响最大的为黄原胶的用量,其次为结冷胶的用量,果胶用量对稳定性的影响最小。最优稳定剂组合为 $A_2B_3C_2$,即黄原胶用量为 0.10%、果胶用量为 0.3%、结冷胶用量为 0.20%。经验证试验,该组合产品的离心沉淀率为 2.13%,且产品外观均匀一致,澄清透明,无沉淀,无杂质,具有优良的贮藏稳定性。

2.6 牛蒡发酵饮料的抑菌活性

抑菌圈直径可直观反映被测样品对各种供试菌的抑菌能力。比较牛蒡乳酸菌发酵饮料对 3 种有害菌的抑菌圈直径,

表 5 牛蒡发酵饮料稳定性正交试验结果

| 试验号 | 因素与水平 | | | 离心沉淀率 (%) |
|-------|----------------|---------------|----------------|--------------|
| | A:黄原胶 用量(%) | B:果胶 用量(%) | C:结冷胶 用量(%) | |
| 1 | 1(0.05) | 1(0.1) | 1(0.15) | 4.38 |
| 2 | 1 | 2(0.2) | 2(0.20) | 3.12 |
| 3 | 1 | 3(0.3) | 3(0.25) | 4.36 |
| 4 | 2(0.10) | 1 | 2 | 2.87 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 3.33 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2.26 |
| 7 | 3(0.15) | 1 | 3 | 4.22 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 4.47 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 2.84 |
| k_1 | 3.95 | 3.82 | 3.70 | |
| k_2 | 2.82 | 3.64 | 2.94 | |
| k_3 | 3.84 | 3.15 | 3.97 | |
| R | 1.13 | 0.67 | 1.03 | |

结果见图 5。由图 5 可知,牛蒡乳酸菌发酵饮料对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌均有明显的抑制作用,具有潜在的广谱抗菌活性,其对金黄色葡萄球菌的抗菌能力最强,抑菌圈直径达 15.76 mm。可能是由于乳酸菌代谢过程中产生的乳酸、乙酸等有机酸大幅降低了环境的 pH 值和氧化还原电位,并能产生细菌素,从而抑制或杀灭多种致病菌所致^[19-20],也可能由于牛蒡发酵饮料中的牛蒡多糖、多酚、黄酮等物质具有显著的抑菌活性^[21-22]。

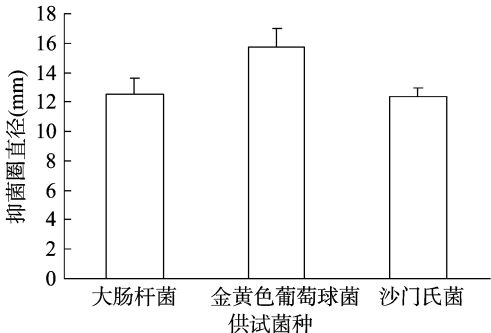


图 5 牛蒡乳酸菌发酵饮料的抑菌试验结果

3 结论

乳酸菌发酵饮料是近年来植物饮品领域的重要发展方向,其益生抗菌作用已被熟知与认可。该研究通过比较不同乳酸菌在牛蒡浆中的生长及产酸情况,筛选出发酵启动快的明串珠菌和产酸能力强的植物乳杆菌 SD2 进行复合发酵,并以发酵液 pH 值和还原糖含量为指标,确定了复合乳酸菌的最佳配比(体积比)为 1:1。在单因素试验基础上,通过正交试验确定了牛蒡发酵饮料的最佳发酵工艺:料液比为 1 g:6 mL,接种量为 6%,发酵温度为 41℃,发酵时间为 60 h;最佳复合稳定剂配方:黄原胶用量为 0.10%、果胶用量为 0.30%、结冷胶用量为 0.20%。在此条件下研制出的牛蒡乳酸菌发酵饮料营养丰富,风味独特,口感酸爽,并对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌具有明显的抗菌能力。该研究结果既可为改善牛蒡产品的风味和品质提供技术思路,也可为牛蒡发酵饮料的产业化生产提供基础参数,具有较高的实

践应用价值。

参考文献:

[1]顾晓明,张圆,张晓卫,等.牛蒡的化学成分及药理作用研究进展[J].现代生物医学进展,2013,13(16):3179-3182.

[2]范金波,蔡茜彤,冯叙桥,等.牛蒡根多酚和黄酮超高压提取工艺优化及体外抗氧化活性[J].食品科学,2015,36(6):69-75.

[3]胡喜兰,许瑞波,陈宇.牛蒡叶多糖的提取及生物活性研究[J].食品科学,2013,34(2):78-82.

[4]Ha M S, Kim J H, Kim Y S, et al. Effects of aquarobic exercise and burdock intake on serum blood lipids and vascular elasticity in Korean elderly women[J]. Experimental Gerontology, 2018, 101: 63-68.

[5]Lou Z X, Wang H X, Wang D X, et al. Preparation of inulin and phenols - rich dietary fibre powder from burdock root [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 78(4): 666-671.

[6]赵娜,马维红,苏赢.牛蒡根与保护血管内皮作用的相关性研究进展[J].中国老年学杂志,2016,36(24):6291-6292.

[7]叶欣,卢金清,曹利,等.牛蒡子炒制前后挥发性成分的比较[J].中药材,2017,40(7):1586-1589.

[8]曹振辉,刘永仕,潘洪彬,等.乳酸菌的益生功能及作用机制研究进展[J].食品工业科技,2015,36(24):366-370,377.

[9]Arioli S, Elli M, Ricci G, et al. Assessment of the susceptibility of lactic acid bacteria to biocides [J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 163(1): 1-5.

[10]赖婷,张名位,刘磊,等.龙眼果浆复合乳酸菌发酵工艺优化[J].农业工程学报,2016,32(增刊2):390-397.

[11]Molina V, Médiçi M, de Valdez G F, et al. Soybean - based functional food with vitamin B₁₂ - producing lactic acid bacteria[J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(4): 831-836.

[12]赖婷,刘汉伟,张名位,等.乳酸菌发酵对果蔬中主要活性物质及其生理功能的影响研究进展[J].中国酿造,2015,34(3):1-4.

[13]Palani K, Harbaum - Piayda B, Meske D, et al. Influence of fermentation on glucosinolates and glucobrassicin degradation products in sauerkraut[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 755-762.

[14]马艳弘,魏建明,侯红萍,等.发酵方式对山药泡菜理化特性及微生物变化的影响[J].食品科学,2016,37(17):179-184.

[15]王海鸥,扶庆权,陈守江,等.不同护色预处理对牛蒡片真空冷冻干燥特性的影响[J].食品科学,2017,38(1):86-91.

[16]张宏志,马艳弘,李亚辉,等.乳酸菌发酵菊芋马齿苋复合饮料及其抑菌活性[J].江苏农业科学,2015,43(11):362-365.

[17]张宏志,马艳弘,李亚辉,等.菊芋乳酸菌饮料生产工艺及稳定性研究[J].江苏农业科学,2015,43(12):291-294.

[18]朱凯杰,陆国权,张迟.响应面法优化水杨酸比色测定还原糖的研究[J].中国粮油学报,2013,28(8):107-113.

[19]Han K S, Kim Y, Kim S H, et al. Characterization and purification of acidocin 1B, a bacteriocin produced by *Lactobacillus acidophilus* GP1B [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2007, 17(5): 774-783.

[20]李南薇,李宁.乳酸菌代谢产物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌抑制作用的研究[J].中国酿造,2009(5):49-52.

[21]姜在祥.牛蒡功能性成分及其抗氧化、抗菌活性研究[D].无锡:江南大学,2010:50-52.

[22]马利华,秦卫东,陈学红,等.牛蒡提取物抑菌活性的研究[J].食品科学,2009,30(21):24-27.