

利用发芽大豆制备大豆酸奶的研究

彭璐, 孔祥珍, 陈业明, 李兴飞, 张彩猛, 华欲飞*

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为获得具有更高生理活性的大豆酸奶, 作者研究了大豆发芽对豆浆的乳酸菌发酵性能、发酵豆浆的生理活性和豆浆风味的影响。结果表明: 在最初 72 h 内, 随发芽时间的延长, 大豆的三氯乙酸可溶性氮和游离氨基酸含量显著提高 ($P<0.05$); 豆浆乳酸菌发酵性能明显改善, 达到发酵终点 (pH 4.5) 的时间由 7.2 h 缩短至 5.0 h, 酸度则由 42.18 °T 提升至 66.56 °T; 乳酸、柠檬酸等有机酸的含量增加。发芽使乳酸菌发酵豆浆的硬度降低, 质构更细腻。在生理活性方面, 发芽 72 h 后, 乳酸菌发酵豆浆的 γ -氨基丁酸含量增加了 19.83 mg/hg, 苜蓿型异黄酮含量增加了 115.02%; DPPH、ABTS 和羟自由基清除率均显著提高 ($P<0.05$)。另一方面, 发芽导致豆浆中异味成分含量明显增加。在综合考虑发芽对生理活性和风味影响的基础上, 以发芽 36 h 的大豆制备大豆酸奶, 考察了 4 种直投式发酵剂对于大豆酸奶风味及感官品质的影响。结果表明, 发酵剂 A 发酵得到的大豆酸奶异味成分含量最低, 感官品质最佳。

关键词: 大豆; 发芽; 大豆酸奶; 大豆异黄酮; 抗氧化活力; 异味成分

中图分类号: TS 214.2

文章编号: 1673-1689(2023)10-0083-11

DOI: 10.12441/spyswjs.20220129001

Study on Preparation of Soybean Yoghurt from Germinated Soybean

PENG Lu, KONG Xiangzhen, CHEN Yeming, LI Xingfei, ZHANG Caimeng, HUA Yufei*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To obtain soybean yoghurt with enhanced physiological activity, this study investigated the effect of soybean germination on the fermentation characteristics of soymilk by lactic acid bacteria and the physiological activity and flavor of soymilk. The results showed that within the initial 72 h, the content of trichloroacetic acid-soluble nitrogen and free amino acids in soybean significantly increased ($P<0.05$) with the germination time. The fermentation characteristics of lactic acid bacteria-germinated soymilk were significantly improved, resulting in the duration to reach the fermentation endpoint (pH 4.5) shortened from 7.2 h to 5.0 h. Additionally, the titratable acidity increased from 42.18 °T to 66.56 °T, accompanied by an increase in the content of lactic acid and citric acid. Germination also reduced the hardness of lactic acid bacteria-fermented soymilk, resulting in a smoother texture. After 72 h of germination, lactic acid bacteria-fermented soymilk exhibited increased physiological activity with a 19.83 mg/hg increase in γ -aminobutyric acid content, a 115.02% increase in isoflavone glycosides, and significant enhancements in DPPH, ABTS, and hydroxyl radical scavenging rates ($P<0.05$). On the other hand, germination led to a noticeable

收稿日期: 2022-01-29 修回日期: 2022-03-14

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2022CXGC010603)。

* 通信作者: 华欲飞(1962—), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事植物蛋白质加工研究。E-mail: yfhua@jiangnan.edu.cn

increase in off-flavor compounds in soy milk. Considering the combined effect of germination on physiological activity and flavor, soybean yoghurt was prepared using soybeans germinated for 36 h. The influence of 4 direct inoculation fermentation agents on the flavor and sensory quality of soy yogurt was evaluated. The results showed that soy yogurt fermented with Agent A had the lowest content of off-flavor compounds and the best sensory quality.

Keywords: soybeans, germination, soy yoghurt, soybean isoflavone, antioxidant activity, off-flavor components

发芽是一种改善谷物及豆类营养结构,富集功能活性物质的安全有效的加工手段^[1]。发芽使蛋白质、脂肪等物质降解,生成游离氨基酸、游离脂肪酸等人体更容易吸收的成分^[2-3],仇记红将芝麻进行发芽处理,制备了高维生素、低脂肪含量的芝麻酱^[4]。Wongsiri 等发现绿豆发芽后游离氨基酸含量和抗氧化能力显著增加^[5],Lemmens 等利用发芽小麦制作早餐麦片,发现其生物可及性优于普通麦片^[6],Maetens 等以发芽大豆为原料开发了高蛋白质和低热量的零食^[7]。

已有研究报道了大豆发芽与生理活性之间的关系,包括内源酶被激活,游离氨基酸和可溶性糖含量增加^[8],胰蛋白酶抑制剂、植酸等抗营养因子降解,异黄酮、 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)等生理活性成分增加等^[9]。另一方面,风味是影响大豆制品可接受性的重要因素,通常有“青草味”“豆腥味”,而发芽如何影响风味的研究较少。

植物基酸奶是以大豆、豌豆、谷物、椰浆等为原料,经乳酸菌发酵后得到的,具有类似乳类酸奶质构和风味的食品^[10];大豆酸奶开发最早,是目前最常见的植物酸奶,但其产品质量和品质仍需改进,市场占有率有待提高。发芽和发酵作为两种自然界普遍存在的过程,产生的小分子代谢产物不仅可以作为乳酸菌发酵时的碳氮源有助于发酵,还能进一步增加大豆酸奶的营养价值和健康促进功能。

作者首先考察发芽对大豆豆浆发酵特性、生理功能成分、风味成分以及质构特性方面的影响,随后选择合适的发芽时间并对比不同酸奶发酵剂后制备大豆酸奶,在不影响感官品质的情况下进一步改善大豆酸奶的生理功能。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

东北大豆:购于无锡本地市场;直投式发酵剂 A

(嗜热链球菌、德式乳杆菌保加利亚亚种、副干酪乳杆菌、嗜酸乳杆菌、乳双歧杆菌),直投式 B(嗜热乳杆菌、乳双歧杆菌、保加利亚乳杆菌、嗜酸乳杆菌),发酵剂 C(嗜热链球菌、乳双歧杆菌),发酵剂 D(嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌),发酵剂 E(乳双歧杆菌、保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、嗜酸乳杆菌、鼠李糖乳杆菌、长双歧乳杆菌、发酵乳杆菌);购于丹尼斯克有限公司;2-甲基-3-庚酮、赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、组氨酸、甘氨酸、精氨酸、丙氨酸、酪氨酸、半胱氨酸、脯氨酸、GABA、乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸、丙酸:均为色谱纯,购于西格玛奥德里奇公司;乙腈:色谱纯,购于国药集团化学试剂有限公司;大豆异黄酮(大豆苷、黄豆黄素、染料木苷、大豆苷元、黄豆黄素苷元、染料木素):色谱纯,购于上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

JYL-Y5 打浆机:购于九阳股份有限公司;手提式压力蒸汽灭菌器:购于上海申安医疗器械厂;安捷伦 Ag1100 型高效液相色谱仪:美国安捷伦公司产品;气质联用仪(SCION SQ 456GC-MS):美国布鲁克公司产品;萃取头(DVB/CA/PDMS-50/30 μm):美国色谱科公司产品;TA.XTPlus 型质构仪:英国 SMS 公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 大豆发芽 大豆→挑选→清洗→质量分数 1%次氯酸钠消毒 15 min→清洗→25 $^{\circ}\text{C}$ 浸泡 6 h(豆水质量比为 1:4)→置于发芽机中发芽(温度 25 $^{\circ}\text{C}$,每小时浇水 1 次)。

1.3.2 发芽大豆制浆 发芽大豆(每 12 h 取样一次)→清洗→打浆(干基豆水质量比为 1:7)→过滤(80 目)→生浆→灭酶(95 $^{\circ}\text{C}$,10 min)→发芽大豆浆。

1.3.3 乳酸菌发酵豆浆制备 发芽大豆浆→调整质量分数为 3%→95 $^{\circ}\text{C}$ 杀菌 10 min→冷却至 42 $^{\circ}\text{C}$

左右→接种(菌种 E,接种质量分数 0.043 g/kg)→发酵至发酵终点 pH 4.5→4 ℃冷藏→后熟 12 h。

1.3.4 发芽大豆酸奶制备 发芽大豆浆→调整质量分数为 3%→调配(质量分数 7%蔗糖,质量分数 2%葡萄糖,质量分数 0.15%柠檬酸钠,质量分数 0.15%磷酸氢二钠)→95 ℃杀菌 10 min→冷却→接种(接种量 0.043 g/kg)→发酵至发酵终点(pH 4.5)→4 ℃冷藏→后熟 12 h。

1.3.5 三氯乙酸可溶性氮含量的测定 发芽大豆冷冻干燥,磨粉,过 120 目筛,-20 ℃保存。参考朱金蒙等的方法^[11],取 2.000 g 样品加入等质量的质量分数为 15%的三氯乙酸(Trichloroacetic acid,TCA)溶液,室温静置 2 h,4 ℃下 10 000 g 离心 20 min,过滤,参考国标 GB5009.5—2016 用凯氏定氮法测定氮含量,即为 TCA-可溶性氮含量。

1.3.6 游离氨基酸及 GABA 含量的测定 样品处理方法:取 1.000 g 发芽大豆粉或乳酸菌发酵豆浆,加入 TCA 溶液,使体系 TCA 终质量分数为 5%,混匀,室温超声 30 min,静置 2 h,过滤。取 1 mL 澄清滤液,14 000 g 离心 30 min,上清液过 0.22 μm 滤膜。

采用 OPA 柱前衍生法对样品中的游离氨基酸含量进行测定^[12]。以保留时间定性,外标法定量。

1.3.7 总酸度的测定 根据 GB 5009.239—2016 中的 pH 计法测定。

1.3.8 有机酸含量测定 样品预处理:取 5.000 g 乳酸菌发酵豆浆,去离子水定容至 10 mL。混匀后取 1.5 mL 样品用 0.1 mol/L 硫酸溶液定容至 10 mL,室温下 13 400 g 离心 30 min,取上清液,过 0.22 μm 滤膜^[13]。色谱条件:色谱条件:C18-HPLC(4.6 mm×250 mm);流动相 A:含质量分数 0.05%磷酸的体积分数为 5%甲醇溶液,流动相 B:含质量分数 0.05%磷酸的体积分数为 80%甲醇溶液;柱温 30 ℃;检测波长 210 nm;流量 0.8 mL/min,以保留时间定性,外标法定量。

1.3.9 质构测定 不同发芽时间乳酸菌发酵豆浆的质构测定参照文献^[14]的方法。乳酸菌发酵豆浆发酵至 pH 4.5,冷藏后熟 12 h 进行测定。探头为 P25,探头下降和回程速度为 1.0 mm/s,测试速度为 0.5 mm/s,应变程度为 30%,触发压力为 5.0 g。

1.3.10 异黄酮含量测定 参考王富豪的方法,略有改动^[15];取 5.000 g 乳酸菌发酵豆浆样品,用体积分数为 80%的甲醇溶液定容至 10 mL,超声提取 60

min,10 000 g 离心 10 min,收集上清液并过 0.22 μm 滤膜。

色谱条件:色谱柱为 RPC18 柱(4.6 mm×250 mm,5 μm);流动相 A:体积分数为 0.1%乙酸溶液,流动相 B:体积分数为 0.1%乙酸乙腈溶液;洗脱条件:0 min,90%A;12.5 min,70%A;17.5 min,60%A;23.5 min,50%A;24.5 min,0%A;35 min,90%A;37 min,100%A。流量为 1 mL/min;柱温为 36 ℃;检测波长为 260 nm;以保留时间定性,外标法定量。

1.3.11 抗氧化活性测定 样品的处理参照罗旭的方法^[16],稍加修改:取 2.000 g 酸奶样品,加入 4 mL 体积分数为 80%的甲醇溶液,混匀,40 ℃超声提取 30 min,于 4 ℃ 12 000 g 离心 10 min,取上清液待测。样品的测定参考王富豪等的方法^[15]。

1) DPPH 自由基清除活力 将 50 μL 样品提取液与等体积的 DPPH (0.2 mmol/L) 溶液混合,25 ℃避光反应 30 min,在 517 nm 测定吸光度,对照组用去离子水代替样品。清除率计算见公式(1)。

$$CL = \left(1 - \frac{A_t - A_b}{A_s - A_{sb}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:CL 为 DPPH 自由基清除率,%;A_t 为样品组吸光度;A_b 为样品自身吸光度;A_s 为对照组吸光度;A_{sb} 为对照组自身吸光度。

2) ABTS 自由基清除活力 将过硫酸钾溶液(4.9 mmol/L)和 ABTS 溶液(7 mmol/L)等体积混合,25 ℃下避光反应 12 h,产生 ABTS·⁺。用磷酸盐缓冲液(10 mmol/L,pH 7.4)将 ABTS·⁺溶液稀释至 A_{734 nm} 处吸光度为 0.70±0.02。取 150 μL ABTS·⁺稀释液与 50 μL 样品提取液加入酶标板中,30 ℃下避光反应 30 min,734 nm 处测定吸光度,对照组用去离子水代替样品。清除率计算见公式(2)。

$$CL = \left(1 - \frac{A_t - A_b}{A_s - A_{sb}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:CL 为 ABTS 自由基清除率,%;A_t 为样品组吸光度;A_b 样品自身吸光度;A_s 为对照组吸光度;A_{sb} 为对照组自身吸光度。

3) 羟自由基清除活力 将 50 μL 样品与 50 μL FeSO₄ 溶液(3 mmol/L)和 50 μL 水杨酸-乙醇溶液(3 mmol/L)混合。加入 50 μL 的 H₂O₂ 溶液(6 mmol/L),37 ℃避光反应 30 min,510 nm 测定吸光度,对照组用去离子水代替样品。清除率计算见公式(3)。

$$CL = \left(1 - \frac{A_t - A_b}{A_s - A_{sb}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中:CL 为羟自由基清除率,%; A_t 为样品组吸光度; A_b 样品自身吸光度; A_s 为对照组吸光度; A_{sb} 为对照组自身吸光度。

1.3.12 挥发性风味成分测定^[17] 豆浆样品预处理:先在萃取瓶中加入 20 μ L 的 32 μ g/mL 2-甲基-3-庚酮作为内标,称取 5.000 g 发芽大豆豆浆样品于萃取瓶中,最后加入质量分数为 10%的 NaCl 固体。酸奶样品预处理:在萃取瓶中加入 20 μ L 的 32 μ g/mL 2-甲基-3-庚酮作为内标。称取 7.500 g 发芽大豆酸奶,用质量分数为 16% NaCl 溶液定容至 25 mL,微弱剪切,称取 5.000 g 样品于萃取瓶中。HS-SPME 条件:萃取温度 60 $^{\circ}$ C,时间 30 min。GC 条件:采用 DB-WAX 色谱柱 (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m),升温程序:初始温度 40 $^{\circ}$ C,保持 3 min;以 6 $^{\circ}$ C/min

升至 100 $^{\circ}$ C后,10 $^{\circ}$ C/min 升温至 230 $^{\circ}$ C,保持 7 min;不分流进样。MS 条件:电子电离源,离子源温度 200 $^{\circ}$ C,接口温度 250 $^{\circ}$ C,电子能量 70 eV,质量扫描范围 33~350,采集方式为 Scan,内标法定量。

1.3.13 发芽大豆酸奶感官评价 根据 RHB 104-2020 发酵乳感官评鉴细则^[18],筛选出 10 名评价员对发芽大豆酸奶样品的感官特性进行评价。取后熟 12 h 样品 30 g 于透明无味的品评杯中,并进行随机编码(三位数代码)。样品温度控制在 10~15 $^{\circ}$ C。参照表 1 的感官评价标准进行评分。

1.3.14 数据分析 所有实验均重复 3 次。采用 origin8.5 作图,采用 SPSS 25 对结果进行显著性分析,采用 LSD(最少显著性差异法)检验在各组之间进行比较。

表 1 发芽大豆酸奶的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of germination soybean yoghurt

感官指标	描述	分值
色泽	色泽均匀,乳白色或微黄色,有光泽	7~9
	色泽较均匀,偏黄	4~6
	色泽不均匀,较暗	1~3
滋味	口感爽滑细腻,酸甜适宜且柔和,无涩味	7~9
	口感较细腻,稍酸或稍甜,稍有涩味	4~6
	口感粗糙,过酸或过甜,有涩味	1~3
气味	有乳酸香味,或豆香味,无异味	7~9
	稍有乳酸香味,稍有豆腥味,无明显异味	4~6
	无乳酸香味,豆腥味严重,或有其他异味	1~3
质构	组织细腻,无颗粒,无乳清析出,黏稠度合适	7~9
	组织较细腻,无颗粒,有轻微乳清析出,稍稠或稍稀	4~6
	组织粗糙,有颗粒,有严重乳清析出	1~3

2 结果与分析

2.1 发芽大豆的生长与代谢

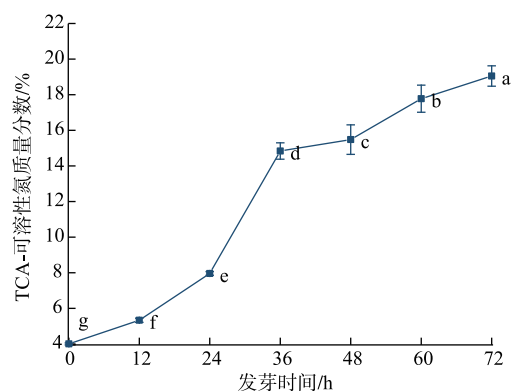
2.1.1 发芽大豆生长状况 不同发芽时间对应大豆芽长、鲜质量和干质量如表 2 所示。发芽 0~72 h 内大豆芽持续生长,发芽 36 h 开始豆芽生长速度加快。发芽 36 h 大豆干质量损失 2.99%,发芽至 72 h,干质量损失 16.47%。干质量损失的主要原因是大豆在发芽过程中,通过氧化、分解蛋白质、脂肪等物质来提供其生长所需要的能量^[19]。

2.1.2 发芽对 TCA-可溶性氮含量的影响 发芽使大豆的 TCA-可溶性氮含量显著增加($P<0.05$)。与未发芽大豆相比,发芽 12~36 h 大豆芽的 TCA-可溶性氮含量迅速增加,36~72 h TCA-可溶性氮增加的趋势变缓。大豆发芽后,内源蛋白酶的活性升高^[20],贮藏蛋白质降解,以供种子的生长发育。通过蛋白质电泳发现,发芽后大豆的 7S、11S 条带颜色变浅,3.3 $\times 10^4$ ~4.3 $\times 10^4$,4.3 $\times 10^4$ ~5.5 $\times 10^4$ 区域的条带增加^[8]。发芽后大豆内源蛋白酶的活性升高,贮藏蛋白质降解以供胚根的伸长和种子的生长,小分子的蛋白质和肽含量增加^[21],更有利于乳酸菌利用。

表2 发芽时间对应的大豆芽长、鲜质量与干质量

Table 2 Sprout length, fresh weight and dry weight of soybean corresponding to germination time

发芽时间/h	芽长/cm	鲜质量/mg	干质量/mg
0	0	477.51±10.68	200.98±3.11
12	1.13±0.10	547.91±4.81	198.37±3.02
24	1.81±0.13	563.42±8.98	197.15±1.10
36	4.07±0.36	631.96±22.23	194.97±4.01
48	6.36±0.24	717.11±10.44	181.90±3.04
60	9.11±0.46	759.83±4.75	178.91±2.71
72	12.0±0.29	806.40±4.96	167.87±5.87



角标字母不同表示数据之间差异显著($P<0.05$)。

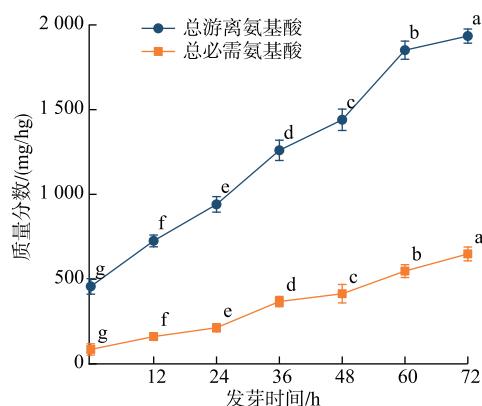
图1 发芽时间对大豆 TCA-可溶性氮质量分数的影响

Fig. 1 Effect of germination time on TCA-soluble nitrogen content of soybean

2.1.3 发芽对大豆游离氨基酸含量的影响 由图2可知,发芽过程中总游离氨基酸与总必需氨基酸含量随发芽时间的延长而增加。发芽至36 h和72 h,大豆的必需氨基酸质量分数分别增加331.76%和659.93%,总游离氨基酸质量分数增加175.49%和332.78%,发芽到36 h时,大豆的游离氨基酸含量已大幅增长,在36~72 h,其含量持续快速增加。游离氨基酸对人体生理机能的调节、能量的代谢和生长发育的促进十分重要^[2],也可以作为氮源被乳酸菌利用,促进植物基乳品的发酵。

2.2 发芽时间对豆浆乳酸菌发酵能力和质构特性的影响

2.2.1 对发酵特性的影响 由图3可知,以不同发芽时间的大豆为原料发酵得到的乳酸菌发酵豆浆的发酵趋势一致。在发芽0~72 h内,随着发芽时间



角标字母不同表示数据之间差异显著($P<0.05$)。

图2 发芽时间对大豆游离氨基酸质量分数的影响

Fig. 2 Effect of germination time on the content of free amino acids in soybean

的延长,乳酸菌发酵豆浆达到发酵终点的酸度由42.18 °T增加至66.56 °T。发酵开始2 h后,发酵速率加快。这可能是由于大豆发芽后,TCA-可溶性氮和游离氨基酸含量增加,更有利于乳酸菌生长和代谢产酸。传统大豆酸奶存在产酸不足的问题,通过发芽可以解决。达到发酵终点pH的时间由7.2 h减少至5 h,一方面可能是酸度不同,另一方面可能是体系的缓冲的能力差异。与未发芽乳酸菌发酵豆浆相比,pH相同(4.5),其酸度更高,说明发芽使体系的缓冲能力变强,这可能与游离氨基酸含量的增加有关。

2.2.2 对有机酸质量分数的影响 与酸度的增加相对应,大豆发芽后,制备的乳酸菌发酵豆浆中有机酸含量均随发芽时间的延长而增加。发芽使内源酶被激活,小分子的物质增加,有更多的碳氮源可以被乳酸菌利用,从而产生更多的有机酸。乳酸菌发酵豆浆中含量较高的有机酸分别为乳酸、乙酸、柠檬酸、丁二酸和丙酸。与未发芽大豆相比,发芽72 h乳酸菌发酵豆浆乳酸质量分数增加51.79%,乙酸质量分数增加70.68%,柠檬酸质量分数增加56.46%,丁二酸质量分数增加396.44%,丙酸质量分数增加399.87%。酸奶中有机酸主要是乳酸菌的分解代谢产物^[23]。同型乳酸发酵将体系中的葡萄糖等碳源经丙酮酸代谢转化为乳酸,异型乳酸发酵将葡萄糖转化为乳酸和乙酸或乙醇。植物的生理代谢可以产生柠檬酸。乳酸代谢和柠檬酸代谢是发酵乳风味形成的重要途径。乳酸与丙酮酸在酶的作用下发生相互转化,进一步生成乙酸、乙醛和乙醇等;柠檬酸在柠

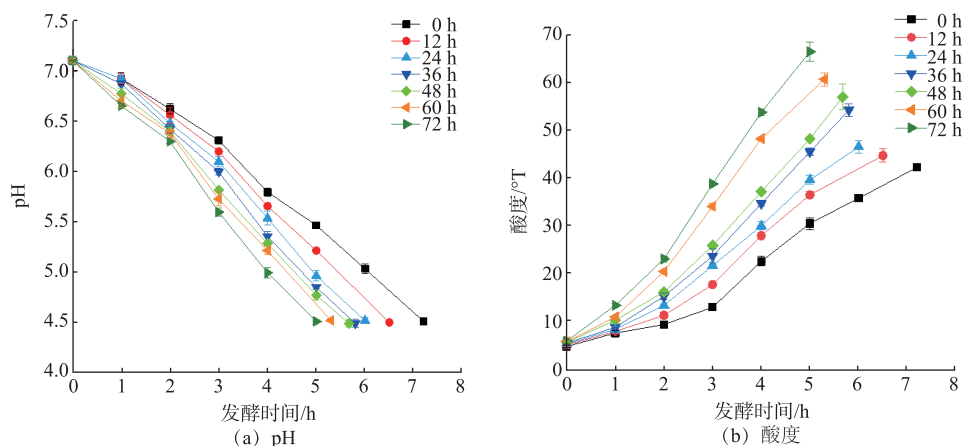


图3 发芽时间对乳酸菌发酵豆浆发酵特性的影响

Fig. 3 Effect of germination time on fermentation characteristics of soymilk fermented by lactic acid bacteria

柠檬裂解酶和草乙酸脱羧酶的作用下生成丙酮酸,再在双乙酰合酶的作用下生成 2,3-丁二酮,呈“奶油、奶酪”香气^[24]。

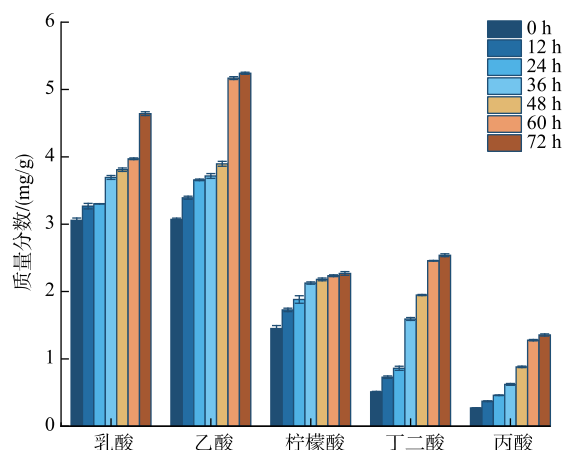


图4 发芽时间对乳酸菌发酵豆浆有机酸质量分数的影响

Fig. 4 Effect of germination time on the content of organic acids in soymilk fermented by lactic acid bacteria

2.2.3 对质构特性的影响 质构是发酵乳的整体感官品质的重要属性。发酵乳的质构受原料的成分、发酵条件等因素的影响。如表 3 可知,不同发芽时间的大豆经过相同条件的发酵处理,质构特性有显著差异 ($P < 0.05$)。发芽时间越长,大豆乳酸菌发酵豆浆的硬度和稠度越低,黏聚性和黏聚指数的绝对值也下降。发芽 36 h 乳酸菌发酵豆浆的硬度为 85.85 g,稠度为 456.80 g·s;发芽至 72 h 时,乳酸菌发酵豆浆的硬度仅为 20.15 g,稠度为 90.53 g·s。这可能是因为是在发芽过程中,蛋白质降解,改善了大豆蛋白质胶束的交叉连接,亲水基团暴露,大豆蛋

白质凝胶结构与更多的水分结合,凝胶结构更疏松^[25],适度的发芽使乳酸菌发酵豆浆的质地变得柔软细腻,发芽时间太长则会导致发酵豆浆的质地松散,乳清容易析出。

2.3 发芽时间对生理活性成分的影响

2.3.1 对 GABA 质量分数的影响 GABA 是一种水溶性的天然氨基酸,可抑制血管紧张素转换酶的活性,降低血压,改善脑功能等^[26]。如图 5 所示,随发芽时间的延长,乳酸菌发酵豆浆中 GABA 的质量分数增加,发芽 36 h, GABA 的质量分数由 3.75 mg/hg 增至 11.71 mg/hg;发芽 72 h 时, GABA 的质量分数为 23.57 mg/hg。在发芽过程中,蛋白质水解生成谷氨酸,在谷氨酸脱羧酶的作用下转化为 GABA^[27]。

2.3.2 对异黄酮质量分数的影响 大豆异黄酮有 12 种存在形式,包括苷元型:大豆苷元(daidzein)、黄豆黄素苷元(glycitein)和染料木素(genistein);糖苷型:大豆苷(daidzin)、黄豆黄素(glycitin)和染料木苷(genistin);以及酰化糖苷型,在糖苷型异黄酮的葡萄糖基上进一步结合乙酰基或丙二酰基^[28]。大豆中异黄酮的绝大部分以酰化糖苷的形式存在,这种分子形式的生物利用度很低。苷元型和糖苷型异黄酮的生理活性孰高孰低尚未定论。

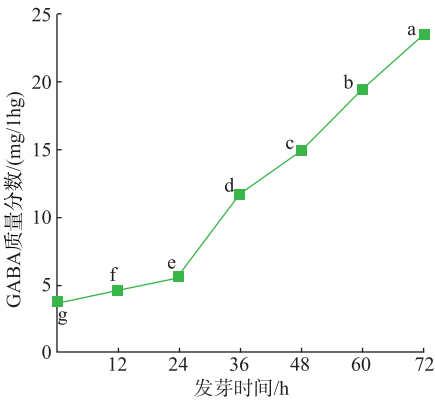
由表 4 可得,发芽后,乳酸菌发酵豆浆中的异黄酮苷元和糖苷形式质量分数显著增加 ($P < 0.05$)。发芽 36 h 后,乳酸菌发酵豆浆的大豆苷元、黄豆黄素苷元和染料木素的质量分数分别增加了 50.34%、18.00%和 175.75%;72 h 后,质量分数分别增加了 78.09%、85.92%和 224.24%。这可能是由于发芽过程中,合成异黄酮的关键酶(苯丙氨酸解氨酶)的活

表 3 发芽时间对乳酸菌发酵豆浆质构参数的影响

Table 3 Effect of germination time on texture parameters of soymilk fermented by lactic acid bacteria

发芽时间/h	硬度/g	稠度/(g·s)	黏聚性/g	黏聚指数/(g·s)
0	150.30±13.08 ^g	1055.86±12.29 ^g	-26.45±0.39 ^g	-32.48±1.04 ^f
12	131.41±8.20 ^f	843.31±4.77 ^f	-24.60±2.16 ^f	-25.18±1.39 ^e
24	98.48±11.18 ^e	620.40±6.85 ^e	-17.88±0.55 ^e	-21.45±2.41 ^d
36	85.85±9.61 ^d	456.80±22.36 ^d	-15.86±1.29 ^d	-20.46±0.30 ^{cd}
48	70.85±3.56 ^c	396.96±2.19 ^c	-13.60±0.25 ^c	-18.26±0.59 ^{bc}
60	63.76±1.99 ^b	336.84±13.73 ^b	-9.91±0.08 ^b	-17.11±0.36 ^b
72	20.15±2.81 ^a	90.53±5.92 ^a	-5.18±0.34 ^a	-9.89±0.47 ^a

注:角标字母不同表示同一列间数据差异显著($P<0.05$)。



角标字母不同的数据之间差异显著($P<0.05$)。

图 5 发芽时间对乳酸菌发酵豆浆中 GABA 质量分数的影响

Fig. 5 Effect of germination time on GABA content in soybean milk fermented by lactic acid bacteria

性增强^[9]。发芽和发酵有助于提高大豆异黄酮的含量和生物利用率,提高大豆酸奶的营养价值。

2.3.3 对抗氧化能力的影响 乳酸菌发酵豆浆的

DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力及羟自由基清除能力均随发芽时间延长而显著升高($P<0.05$)。发芽 36 h,与未发芽相比,DPPH、ABTS 和羟自由基清除率分别提高了 18.80%、17.20% 和 24.82%,发芽 72 h 后,分别提高了 30.24%、36.23% 和 25.32%。这可能是因为发芽过程中的生理变化使具有抗氧化能力的物质富集^[29]。

2.4 发芽对豆浆挥发性风味成分的影响

由表 5 可以看出,随着发芽时间的延长,发芽大豆浆中己醛、1-辛烯-3-醇的质量分数显著增加($P<0.05$)。发芽 36 h,豆浆中的己醛和 1-辛烯-3-醇质量分数分别增加了 34.01%和 31.46%,发芽至 72 h,己醛的质量分数增加了 247.8%,1-辛烯-3-醇质量分数增加了 68.55%。2-戊基呋喃、反,反-2,4-癸二烯醛表现为“青草味”和“香料味”,虽然质量分数不高,但阈值较低,对发芽大豆浆整体风味感知也有影响。

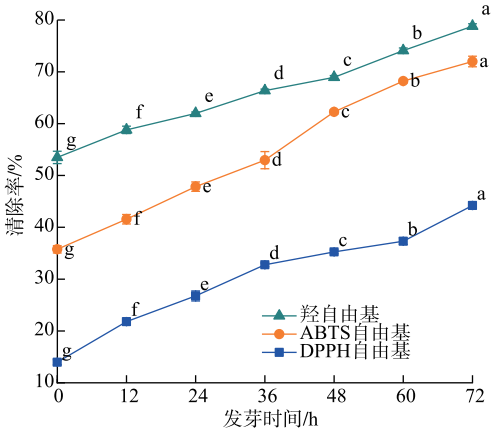
表 4 发芽时间对乳酸菌发酵豆浆异黄酮质量分数的影响

Table 4 Effect of germination time on isoflavone content in soymilk fermented by lactic acid bacteria

单位:μg/g

发芽时间/h	大豆苷	黄豆黄素	染料木苷	大豆苷元	黄豆黄素苷元	染料木素
0	21.13±0.71 ^g	2.59±0.26 ^d	1.73±0.07 ^d	4.29±0.58 ^e	0.72±0.03 ^e	1.65±0.16 ^e
12	23.55±0.64 ^f	2.76±0.16 ^d	2.47±0.23 ^c	4.80±0.04 ^d	0.77±0.03 ^e	1.86±0.09 ^d
24	25.20±0.34 ^e	3.53±0.14 ^c	2.60±0.10 ^{bc}	4.83±0.07 ^d	0.82±0.02 ^{bc}	2.63±0.27 ^c
36	27.21±0.98 ^d	3.85±0.13 ^{bc}	2.63±0.18 ^{bc}	6.45±0.17 ^c	0.85±0.01 ^{bc}	4.55±0.25 ^b
48	29.19±0.85 ^c	3.94±0.39 ^b	2.77±0.19 ^b	6.96±0.12 ^b	0.92±0.03 ^b	4.66±0.12 ^b
60	33.88±0.71 ^b	4.88±0.10 ^a	3.33±0.15 ^a	7.33±0.28 ^{ab}	1.24±0.16 ^a	4.94±0.36 ^b
72	35.76±1.61 ^a	5.04±0.70 ^a	3.46±0.06 ^a	7.64±0.31 ^a	1.33±0.12 ^a	5.35±0.13 ^a

角标字母不同表示同一列间差异显著($P<0.05$)。



角标字母不同的数据之间差异显著($P<0.05$)。
图 6 发芽时间对乳酸菌发酵豆浆自由基清除率的影响
Fig. 6 Effect of germination time on free radical scavenging rate of soymilk fermented by lactic acid bacteria

大豆类产品的异味通常被描述为豆腥味,主要表现为青草味、蘑菇味、油脂酸败味等。一些风味成分含量高且阈值低,对豆浆的整体风味贡献大。己醛是豆浆的“青草味”的主要来源^[30],是脂肪氧合酶作用于多不饱和脂肪酸所形成的产物。1-辛烯-3-醇是豆浆“蘑菇味”“泥土味”的主要来源,是樱草糖苷酶作用于樱草糖苷形成的产物^[31]。

在发芽最初的 72 h 内,随发芽时间的延长,

TCA-可溶性氮与游离氨基酸质量分数均显著增加($P<0.05$),乳酸菌发酵豆浆达到发酵终点(pH4.5)的时间缩短,酸度提高;且生理活性成分 GABA 和大豆异黄酮含量升高,抗氧化能力增强。发芽至 36 h 的乳酸菌发酵豆浆的质构柔软,发芽至 72 h 的乳酸菌发酵豆浆硬度较低,乳清易析出。随着发芽时间的延长,豆浆的豆腥味成分己醛、1-辛烯-3-醇等含量增加,这对其风味有不利影响。综合以上因素考虑,选择发芽 36 h 的大豆为原料,并通过发酵剂的筛选,制备高生理活性和整体接受度高的大豆酸奶。

2.5 发酵剂对发芽大豆酸奶品质的影响

2.5.1 发酵剂对发芽大豆酸奶挥发性风味成分的影响 由表 6 可知,不同的发酵剂对发芽大豆酸奶的不同挥发性风味成分的含量有显著影响($P<0.05$)。发酵剂的选择对酸奶的品质十分重要,豆浆通过乳酸菌发酵可以显著降低异味成分。醛类、醇类和呋喃类是大豆浆中重要的豆腥味物质^[32],表现为“青草味”“蘑菇味”,不同的发酵菌种对其降低程度不同;在发酵过程中乳酸菌的生长代谢,可将己醛转化为己酸或己醇。

采用 4 种不同发酵剂的酸奶样品中,A 型与 C 型发酵剂对己醛的降低程度显著大于 B 型和 D 型($P<0.05$)。1-辛烯-3-醇在发芽大豆酸奶中含量也较高,A 型发酵剂对其降低程度显著高于其他发酵

表 5 发芽时间对大豆浆挥发性风味的影响

Table 5 Effect of germination time on volatile flavor of soybean milk

单位:μg/kg										
发芽时间/h	己醛	反-2-己烯醛	2-戊基呋喃	反-2-庚烯醛	己醇	壬醛	反-2-辛烯醛	1-辛烯-3-醇	反,反-2,4-庚二烯醛	反,反-2,4-癸二烯醛
0	574.10±7.24 ^g	7.61±0.31 ^f	5.57±0.51 ^g	69.11±1.37 ^g	44.22±2.41 ^e	37.39±2.27 ^f	85.15±2.60 ^f	408.89±3.87 ^g	18.07±0.10 ^f	2.60±0.26 ^f
12	602.61±10.20 ^f	12.39±0.60 ^e	17.15±0.62 ^f	78.12±2.42 ^f	53.53±2.78 ^d	46.03±0.77 ^e	90.73±2.69 ^f	473.37±6.26 ^f	18.31±0.70 ^f	2.88±0.18 ^{ef}
24	633.68±3.80 ^e	17.41±1.06 ^d	23.11±2.09 ^e	149.75±3.01 ^e	60.58±0.74 ^c	47.63±1.47 ^e	99.95±1.45 ^e	515.01±2.32 ^e	24.32±0.61 ^e	4.07±0.58 ^e
36	769.35±7.66 ^d	22.17±0.87 ^c	32.53±0.94 ^d	172.01±3.36 ^d	63.01±0.66 ^c	59.12±0.97 ^d	140.16±1.36 ^d	537.54±8.47 ^d	31.31±0.75 ^d	5.64±0.28 ^d
48	1044.57±7.31 ^c	22.62±1.06 ^c	78.67±0.68 ^c	224.32±6.95 ^c	78.17±1.79 ^b	73.46±0.84 ^c	223.59±9.41 ^c	563.41±15.28 ^c	67.63±2.98 ^c	12.40±0.67 ^c
60	1546.62±25.84 ^b	28.55±10.09 ^b	97.02±1.63 ^b	321.85±5.43 ^b	81.62±2.01 ^b	90.11±1.05 ^b	277.98±9.18 ^b	584.05±6.47 ^b	80.58±0.84 ^b	15.61±0.46 ^b
72	1996.87±19.60 ^a	36.56±1.16 ^a	112.03±5.25 ^a	450.43±6.59 ^a	101.97±0.60 ^a	110.66±7.38 ^a	322.70±2.90 ^a	689.18±16.42 ^a	137.76±6.71 ^a	18.91±1.44 ^a

注:角标字母不同表示同一行间数据差异显著($P<0.05$)。

表 6 发酵剂对发芽大豆酸奶挥发性风味成分的影响

Table 6 Effect of starter on volatile flavor components of germinated soybean yoghurt

单位:μg/kg

发酵剂	2,3-丁二酮	2,3-戊二酮	己醛	2-戊基呋喃	3-羟基-2-丁酮	辛醛	己醇	壬醛	反-2-辛烯醛	1-辛烯-3-醇	反,反-2,4-庚二烯醛	反-2-癸烯醛	反,反-2,4-癸二烯醛
A	158.93±1.39 ^a	107.35±4.86 ^a	71.78±1.16 ^c	2.22±0.09 ^b	55.48±1.11 ^a	—	61.24±0.87 ^a	13.03±0.45 ^c	—	346.44±4.06 ^d	9.92±0.36 ^a	13.81±0.42 ^c	1.55±0.12 ^c
B	89.06±1.53 ^d	74.45±1.02 ^c	92.56±1.22 ^b	2.51±0.15 ^b	43.84±0.98 ^b	8.92±0.46 ^c	50.82±0.74 ^b	34.87±1.21 ^a	13.83±0.82 ^b	392.78±11.09 ^c	8.79±0.40 ^b	16.38±0.88 ^b	2.06±0.09 ^{bc}
C	124.02±0.84 ^c	61.36±1.65 ^d	74.03±0.63 ^c	3.46±0.30 ^a	33.31±0.46 ^c	10.73±0.79 ^b	59.34±1.35 ^a	21.57±1.24 ^b	7.56±0.59 ^c	431.65±10.48 ^b	7.01±0.10 ^c	12.97±0.72 ^c	2.66±0.73 ^{ab}
D	138.50±12.20 ^b	97.53±2.08 ^b	106.16±3.97 ^a	3.14±0.16 ^a	36.51±1.12 ^d	12.87±0.94 ^a	46.45±1.16 ^c	34.56±1.37 ^a	15.28±0.62 ^a	447.18±3.84 ^a	9.44±0.40 ^a	17.60±0.41 ^a	3.32±0.17 ^a

注:角标字母不同表示同一行间差异显著($P<0.05$)。

剂($P<0.05$)。

挥发性酮类是酸奶的重要风味物质,柠檬酸代谢及乳酸的发酵和代谢是其形成的重要途径。在发芽大豆酸奶中主要检测到2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮,它们表现为“奶油”、“干酪香气”等^[33]。A型发酵的酸奶中,2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮含量显著高于其他发酵剂制备的酸奶($P<0.05$)。

2.5.2 发酵剂对发芽大豆酸奶感官品质的影响

如图7所示,4种发酵剂发酵得到的酸奶色泽评分相近,B的色泽偏黄。在滋味和气味方面,A与B均有豆香味和乳酸香味,D的豆腥味与豆馊味较重。就质构而言,A软硬适中,质地细腻且无乳清析出,B、C、D因为质地较硬而获得较低评分。总体而言,A由于良好的风味和质地,整体接受度最高。

3 结 语

作者主要研究了发芽时间对大豆酸奶品质和生理活性的影响,在72 h内,发芽时间越长,样品达到发酵终点的时间越短,酸度和乳酸、柠檬酸等有机酸含量越高,这与发芽后大豆的TCA-可溶性氮和游离氨基酸含量增加有一定关系;乳酸菌发酵豆

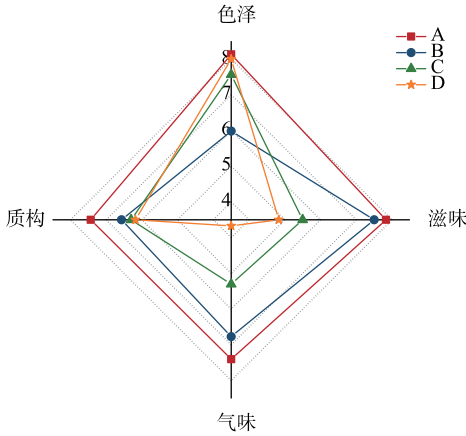


图 7 发酵剂对发芽大豆酸奶感官品质的影响

Fig. 7 Effect of starter on sensory quality of germinated soybean yoghurt

浆的硬度降低,质地柔软细腻;GABA、异黄酮的含量和抗氧化活力也有所增加。发芽对于大豆酸奶的发酵和生理活性的增强有促进作用,但对豆浆的风味有不利影响。通过发芽时间的控制和发酵剂的筛选,对比不同直投式发酵剂对发芽36 h大豆酸奶挥发性风味成分和感官品质的影响,A型发酵剂发酵得到的酸奶的整体风味最好,为制备高质量发芽大豆酸奶提供了依据。

参考文献:

[1] OHANENYE I C, TSOPMO A, EJIKE C E C C, et al. Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 101: 213-222.

[2] 李忍, 吴娜娜, 李志江, 等. 发芽全谷物的营养品质及功能特性[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(12): 183-190.

LI R, WU N N, LI Z J, et al. Nutritional quality and functional characteristics of sprouted whole grains[J]. *Journal of the*

- Chinese Cereals and Oils Association**, 2020, 35(12): 183-190. (in Chinese)
- [3] 胡帅, 高金燕, 武涌, 等. 发芽粟米研究进展[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(1): 138-146.
HU S, GAO J Y, WU Y, et al. Research progress on germinated millets[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2019, 34(1): 138-146. (in Chinese)
- [4] 仇记红, 侯利霞, 张钊国, 等. 浸泡及萌动对芝麻及芝麻酱品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 39-44.
QIU J H, HOU L X, ZHANG Z G, et al. Effect of soaking and germination on the quality of sesame seeds and sesame butter[J]. **Food Science**, 2018, 39(21): 39-44. (in Chinese)
- [5] WONGSIRI S, OHSHIMA T, DUANGMAL K. Chemical composition, amino acid profile and antioxidant activities of germinated mung beans (*Vigna radiata*)[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2015, 39(6): 1956-1964.
- [6] LEMMENS E, DELEU L J, DE BRIER N, et al. Mineral bio-accessibility and intrinsic saccharides in breakfast flakes manufactured from sprouted wheat[J]. **LWT**, 2021, 143: 111079.
- [7] MAETENS E, HETTIARACHCHY N, DEWETTINCK K, et al. Physicochemical and nutritional properties of a healthy snack chip developed from germinated soybeans[J]. **LWT**, 2017, 84: 505-510.
- [8] SUN W X, ZHANG R J, FAN J, et al. Comprehensive transformative profiling of nutritional and functional constituents during germination of soybean sprouts[J]. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2018, 12(2): 1295-1302.
- [9] 王慧芳. 发芽大豆中异黄酮及 GABA 的变化动态研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- [10] 王占东, 张居典, 邵景海, 等. 植物基酸奶作为市场乳制品替代的可行性研究[J]. 食品安全导刊, 2021(12): 166-167, 169.
WANG Z D, ZHANG J D, SHAO J H, et al. Feasibility study on plant-based yogurt as a substitute for dairy products in the market[J]. **China Food Safety Magazine**, 2021(12): 166-167, 169. (in Chinese)
- [11] 朱金蒙, 陈业明, 孔祥珍, 等. 芝麻素在芝麻种子亚细胞结构中的分布[J]. 中国油脂, 2021, 46(8): 20-24.
ZHU J M, CHEN Y M, KONG X Z, et al. Distribution of sesamin in the subcellular structure of sesame seeds[J]. **China Oils and Fats**, 2021, 46(8): 20-24. (in Chinese)
- [12] 谢志茹, 程敏, 谭丽容, 等. OPA-FMOC 柱前衍生化 HPLC 法测定两种常用食用菌中蛋白氨基酸和非蛋白氨基酸的含量[J]. 现代食品科技, 2018, 34(10): 240-246, 230.
XIE Z R, CHENG M, TAN L R, et al. Determination of protein amino acids and nonprotein amino acids in two edible fungi by HPLC with OPA-FMOC precolumn derivatization[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2018, 34(10): 240-246, 230. (in Chinese)
- [13] 韩千慧, 刘丹丹, 望诗琪, 等. 褐色酸奶产品品质的评价[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(8): 51-54.
HAN Q H, LIU D D, WANG S W, et al. Product quality assessment of brown yogurt[J]. **China Dairy Industry**, 2018, 46(8): 51-54. (in Chinese)
- [14] MANINDER K, SANDHU K S, SINGH N. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars[J]. **Food Chemistry**, 2007, 104(1): 259-267.
- [15] 王富豪, 黄璐, 薛晨晨, 等. 不同品种大豆异黄酮组分及体外抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 247-255.
WANG F H, HUANG L, XUE C C, et al. Analysis on the isoflavone profile and antioxidant activity *in vitro* of different soybean varieties[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2021, 42(17): 247-255. (in Chinese)
- [16] 罗旭. 四个中国大豆品种发芽过程中生物活性物质变化规律及 GABA 积累机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [17] 孙灵湘, 叶挺, 华欲飞, 等. 模拟体系制备豆浆及其风味研究[J]. 大豆科学, 2015, 34(4): 679-684.
SUN L X, YE T, HUA Y F, et al. The construction of soymilk model system and the study of its flavors [J]. **Soybean Science**, 2015, 34(4): 679-684. (in Chinese)
- [18] 发酵乳感官评鉴细则: T/SPX 104—2020[S].
- [19] TIAN B Q, XIE B J, SHI J, et al. Physicochemical changes of oat seeds during germination[J]. **Food Chemistry**, 2010, 119(3): 1195-1200.
- [20] GAO C X, WANG F Z, YUAN L, et al. Physicochemical property, antioxidant activity, and cytoprotective effect of the germinated soybean proteins[J]. **Food Science & Nutrition**, 2019, 7(1): 120-131.
- [21] KOO S C, KIM S G, BAE D W, et al. Biochemical and proteomic analysis of soybean sprouts at different germination temperatures[J]. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, 2015, 58(3): 397-407.

- [22] 朱春燕. 大豆发芽过程中营养成分的变化及其异黄酮抑菌、抑制骨髓瘤细胞增殖活性研究[D]. 西安:陕西师范大学,2017.
- [23] 田辉,孙懿琳,周元良,等. 高效液相色谱法测定酸奶中四种有机酸[J]. 食品与机械,2012,28(5):87-90,158.
TIAN H,SUN Y L,ZHOU Y L,et al. Determination of 4 organic acids in yogurt by high-performance liquid chromatography[J]. **Food & Machinery**,2012,28(5):87-90,158. (in Chinese)
- [24] 施小迪. 豆乳及豆乳发酵液不良风味的形成及改善途径研究[D]. 北京:中国农业大学,2017.
- [25] 刘爱洁,冯立科,李理. 大豆萌发对大豆酸奶品质的影响[J]. 食品与机械,2013,29(2):13-17.
LIU A J,FENG L K,LI L. Effect of germinated soybean to soy yogurt preparation[J]. **Food & Machinery**,2013,29(2):13-17. (in Chinese)
- [26] 张荣霞,李崎,朱林江,等. 青稞红曲啤酒中 γ -氨基丁酸(GABA)的研究[J]. 食品与生物技术学报,2018,37(11):1148-1152.
ZHANG R X,LI Q,ZHU L J,et al. Study on the γ -aminobutyric acid(GABA) in highland barley Monascus beer[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2018,37(11):1148-1152. (in Chinese)
- [27] WANG F Z,WANG H F,WANG D H,et al. Isoflavone, γ -aminobutyric acid contents and antioxidant activities are significantly increased during germination of three Chinese soybean cultivars[J]. **Journal of Functional Foods**,2015,14:596-604.
- [28] 李秀,马家辉,顾阳,等. 一测多评法测定 6 种大豆异黄酮的质量分数[J]. 食品与生物技术学报,2020,39(4):93-101.
LI X,MA J H,GU Y,et al. Quantitative analysis of six soybean isoflavones by QAMS[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2020,39(4):93-101. (in Chinese)
- [29] HUANG G C,CAI W X,XU B J. Improvement in beta-carotene, vitamin B2, GABA, free amino acids and isoflavones in yellow and black soybeans upon germination[J]. **LWT**,2017,75:488-496.
- [30] FENG X X,HUA Y F,ZHANG C M,et al. Effect of soaking conditions on the formation of lipid derived free radicals in soymilk [J]. **Food Chemistry**,2020,315:126237.
- [31] FENG X X,HUA Y F. The precursors of C8 alcohols from soybean:purification,distribution and hydrolysis properties of glycosidically bound volatiles[J]. **Journal of Food Science**,2022,87(1):178-192.
- [32] 马文艺,李兴飞,刘军,等. 制浆工艺和发酵剂分别对豌豆浆风味和豌豆酸奶品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2021,47(20):188-193.
MA W Y,LI X F,LIU J,et al. Effects of pulping process and starter on the flavor of pea milk and the quality of pea yoghurt[J]. **Food and Fermentation Industries**,2021,47(20):188-193. (in Chinese)
- [33] 韩莎,华欲飞,李兴飞,等. 关键加工工艺和酶解对大豆涂抹型干酪品质的影响[J]. 安徽农业科学,2019,47(15):167-171.
HAN S,HUA Y F,LI X F,et al. Effects of key processing technology and enzymatic hydrolysis on the quality of soy-cheese spreads[J]. **Journal of Anhui Agricultural Sciences**,2019,47(15):167-171. (in Chinese)