

乳酸菌发酵饼干的品质特性

胡莉萍¹, 孙 锋², 张均叶², 朱 松¹, 李 玥^{*1}

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 亿滋食品企业管理(上海)有限公司, 江苏 苏州 215126)

摘要: 为研究乳酸菌发酵对饼干的蛋白质消化性和品质特性的影响, 分别采用两种乳酸菌(植物乳杆菌 DN-1、副干酪乳杆菌 JN-1)与酵母共同发酵制备饼干, 测定饼干的蛋白质体外消化率、蛋白质营养指标、品质和风味的变化。研究表明, 与酵母单独发酵饼干(Control 饼干)和市售梳打饼干相比, 两种乳酸菌发酵饼干在胃肠消化阶段的蛋白质体外消化率均有所提高, 其中在肠消化阶段 DN-1 饼干的蛋白质体外消化率最高, 与酵母单独发酵饼干相比, 其蛋白质体外消化率从 81% 提高至 86%; 同时, 两种乳酸菌发酵饼干的硬度和脆性均有所降低; 根据固相微萃取-气相色谱-质谱联用的测定结果可知, 乳酸菌发酵饼干中酯类和醇类总相对含量和种类有明显的提高, 与酵母单独发酵饼干相比, DN-1 发酵饼干中酯类和醇类相对含量占比分别提高了 335%、30%, 其酯类物质和醇类物质的种类分别为 26、24 种。综上, 乳酸菌发酵能提高饼干产品的蛋白质体外消化率, 改善并丰富产品风味。

关键词: 乳酸菌; 发酵饼干; 蛋白质体外消化率; 风味

中图分类号: TS 213.2 文章编号: 1673-1689(2024)01-0029-07 DOI: 10.12441/spyswjs.20211201004

Quality Characteristics of Lactic Acid Bacteria Fermented Crackers

HU Liping¹, SUN Feng², ZHANG Junye², ZHU Song¹, LI Yue^{*1}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Mondelez Shanghai Food Corporate Management Co., Ltd., Suzhou 215126, China)

Abstract: To investigate the effects of fermentation with lactic acid bacteria on the protein digestibility and quality characteristics of crackers, two types of lactic acid bacteria (*Lactobacillus plantarum* DN-1, *Lactobacillus paracasei* JN-1) were used in combination with yeast for fermentation to prepare biscuit products, respectively. The *in vitro* digestibility and nutritional indexes of protein and changes in quality and flavor of fermented crackers were determined. The results showed that compared with yeast-only fermented crackers and commercial soda biscuits, the *in vitro* digestibility of protein in crackers fermented with two types of lactic acid bacteria was both increased during the gastrointestinal digestion stage, with the highest *in vitro* digestibility of protein observed in crackers fermented with DN-1. The *in vitro* digestibility of protein increased from 81% to 86% compared with yeast-only fermented crackers during the intestinal digestion stage. Meanwhile, the hardness and crispness of cracker fermented with two types of lactic acid bacteria were both reduced. The results of solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) showed a

收稿日期: 2021-12-01 修回日期: 2022-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(31871794)。

* 通信作者: 李 玥(1979—), 女, 教授, 博士研究生导师, 主要从事食品加工与配料研究。E-mail: liyue@jiangnan.edu.cn

significant increase in the total and species of esters and alcohols in crackers fermented with lactic acid bacteria. Compared with yeast-only fermented crackers, the relative content of esters and alcohols in DN-1-fermented crackers increased by 335% and 30%, respectively, with 26 and 24 species of esters and alcohols detected. Overall, fermentation with lactic acid bacteria can enhance the *in vitro* digestibility of protein in crackers, and improve and enrich the flavors of products.

Keywords: lactic acid bacteria, fermented crackers, *in vitro* digestibility of protein, flavor

发酵饼干(fermented cracker)是以小麦粉、水为主要原料,加入酵母或(和)乳酸菌,再加入其他辅料,经过拌粉、成型、烘烤等加工工艺制作而成的产品^[1]。有学者研究表明,经酵母发酵后可以提高饼干的淀粉消化性,有利于人体对淀粉等物质的消化吸收^[2]。此外,闫博文等的研究发现复合乳酸菌和酵母共同发酵会明显提高饼干的功能营养特性,同时能赋予面制品独特的风味^[3]。Chang 等研究表明,发酵面团在不同发酵时间段有不同的挥发性风味物质,且发酵面团中风味物质含量和种类明显高于未发酵面团^[4]。有学者通过研究乳酸菌发酵产品的品质特性得出,发酵后馒头的硬度有所降低、体积有所增加,风味品质的评价结果明显高于未加乳酸菌发酵馒头^[5]。

蛋白质作为食品体系中的大分子物质之一,与人们日常的膳食息息相关。随着人们生活水平的提高,大家日益关注食品的品质和营养特性^[6]。食物中蛋白质的质和量、蛋白质体外消化率的高低、各种氨基酸的组成与比例等都与人体的健康息息相关,蛋白质指标的评价对于高品质健康食物的研究与开发具有重要的指导意义^[7]。Xing 等研究发现,乳酸菌和酵母在面团中共同作用不仅可以促进菌株之间的代谢,提高乳酸菌的产酸和酵母的产气能力,而且乳酸菌在发酵过程中会逐渐降低面制品的 pH,进而提高面粉中菌株自身的蛋白酶活性,促进大分子蛋白质的降解^[8]。因此,乳酸菌发酵对终产品的蛋白质体外消化率、氨基酸组成及质构和风味的影响值得深入研究。

作者分别采用两株乳酸菌制备发酵饼干,以市售梳打饼干和酵母单独发酵饼干作为对照,探究乳酸菌发酵饼干的蛋白质消化性,分析不同发酵饼干中蛋白质营养指标以及饼干品质特性的变化情况,为开发高品质饼干产品提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

酵母、小麦粉、全麦粉、起酥油、盐、膨松剂、奶粉:亿滋食品企业管理(上海)有限公司;市售梳打饼干:欧尚超市;DN-1(植物乳杆菌)乳酸菌粉:丹尼斯克公司;JN-1(副干酪乳杆菌):中国中西部重庆市沙坪坝区的泡菜中分离得到;胰酶(P7545,8×USP)、胃蛋白酶(P7000,≥2.5×10⁵ U/g):美国 Sigma 公司;盐酸、硫酸、三氯乙酸(TCA)、硫酸铜、氢氧化钠(粒状)、氯化钙、硫酸钾:国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

ARM-01 型全齿轮传动搅拌机:福建德霸食品机械有限公司;DF-101S 型集热式恒温加热磁力搅拌器:巩义市俞华仪器有限公司;TD6 型低速离心机:湖南赫西仪器装备有限公司;EL20 型 pH 计、AL204 型电子天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;TA-XT2i 型物性测试仪:英国 Stable Micro Systems 公司;焙烤设备(打孔板):亿滋食品企业管理(上海)有限公司特殊定制;KDN-103F 型凯氏定氮仪:上海纤检有限公司;GC-2010PLUS 型气相色谱仪:日本岛津公司。

1.3 实验方法

1.3.1 发酵饼干的制备 发酵饼干的配方如表 1 所示。按照表中的制作配方,将酸面团所需各原料按照其比例称量好,其中,预先将酵母或者乳酸菌放在温水中融化,起酥油融化至液态。

乳酸菌发酵饼干的制作步骤:将小麦粉、奶粉、酵母、乳酸菌、无菌水一起加入到 ARM-01 型全齿轮传动搅拌机中,在一定速度下搅拌 4 min,待搅拌机停止后,将搅拌机及搅拌缸上黏着的面团用刮板刮下,将搅拌完成的发酵面团置于 35℃、相对湿度 80%的发酵箱中发酵 19 h。发酵结束后,将发酵好的酸面团和剩余小麦粉、全麦粉、起酥油、膨松剂、盐

表 1 发酵饼干的配方表

Table 1 Recipe of fermented crackers

| 面团 | 小麦粉 质量/g | 全麦粉 质量/g | 奶粉质量/g | 酵母质量/g | 乳酸菌浓 度/(CFU/g) | 无菌水 质量/g | 起酥油 质量/g | 膨松剂 质量/g | 盐质量/g |
|-----|-------------|-------------|--------|--------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| 酸面团 | 650 | 0 | 15 | 6.15 | 1×10^7 | 340 | 0 | 0 | 0 |
| 主面团 | 350 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 9.5 | 12 |

注:乳酸菌浓度以面粉质量计。

一起放入搅拌机中,搅拌混合 4 min,在温度 30 ℃、相对湿度 80%下继续发酵 4 h,得到主面团。待主面团发酵结束后,用压片机反复压至最终厚度为 1 mm,用模具分割成 5 cm×5 cm 的面片,之后放在上火 250 ℃、下火 250 ℃的焙烤箱中烘烤 6 min,冷却后得到发酵饼干的成品(两种乳酸菌发酵饼干分别称为 DN-1 饼干、JN-1 饼干)。

酵母单独发酵饼干的制作步骤同乳酸菌发酵饼干,但配方略有不同。其中,酸面团配方中不加乳酸菌,主面团配方中膨松剂的质量为 4.5 g(酵母单独发酵饼干称为 Control 饼干)。

1.3.2 发酵饼干蛋白质体外消化率的测定 总蛋白质质量的测定参考《食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5—2016)进行^[9]。

蛋白质体外消化率的测定参照 Minekus 等建立的静态体外消化模拟方法^[10],并略有改动。将 1.000 g 的固体样品放在带盖的样品瓶中,并加入转子和 4 mL 去离子水,在 37 ℃的恒温水浴锅中保温 3 min 后,将 5 mL 的混合好的液体样品与 4 mL 模拟胃液流体(SGF)混合,其中 SGF 中包含 3 mL 胃蛋白酶溶液(质量浓度为 7 mg/mL,酶活力 2.5×10^5 U/g)、0.25 μL 0.3 mol/L 的氯化钙溶液,再用 1 mol/L 的盐酸调节 pH 至 3.0。将混合后的样品补加水至总体积 10 mL,在 37 ℃恒温水浴锅中混合 2 h 并不断搅拌,在胃消化阶段 120 min 时间点取样后,沸水浴灭酶。之后,将 10 mL 混合好的液体样品与 8 mL 的模拟肠液流体(SIF)混合,其中 SIF 中包含 2 mL 胰酶溶液(质量浓度为 8 mg/mL,酶活力 8×USP)、20 μL 0.3 mol/L 的氯化钙溶液,再用 1 mol/L 的 NaOH 溶液调节 pH 至 7.0。将混合后的样品补加去离子水至总体积 20 mL,在 37 ℃恒温水浴锅中混合 2 h 并不断搅拌,在肠消化阶段 120 min 时间点取样后,沸水浴灭酶。将取出后的胃消化液和肠消化液样品,加入等体积的三氯乙酸(TCA)溶液(体积分数为 30%),静置至室温,在 4 500 r/min 下离心 20 min

后弃去上清液,用凯氏定氮法测定沉淀中未被降解的大分子蛋白质质量。蛋白质体外消化率为特定时间点生成的游离氨基酸和小分子可溶性蛋白质的质量与原饼干样品中总蛋白质质量的比值,按照下式(1)计算。

$$D_p = \frac{m_T - m_C}{m_T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: D_p 为发酵饼干的蛋白质体外消化率,%; m_T 为发酵饼干样品总蛋白质质量,mg; m_C 为发酵饼干样品在胃肠消化阶段未被消化的蛋白质质量,mg。

1.3.3 蛋白质组分的营养指标估算 参照文献[11]中的方法,对酸水解后饼干样品中的氨基酸进行蛋白质组分营养指标估算。主要有:必需氨基酸质量分数(EAA)、必需氨基酸与总氨基酸的质量比(E/T)、氨基酸评分(AAS,指被测样品蛋白质中氨基酸含量与参考样品蛋白质中氨基酸含量之比)、生物价(BV,指测试的蛋白质可利用部分)、预测的蛋白质功效比(PER)、蛋白质体外消化率校正后的氨基酸评分(PDCAAS,指氨基酸评分与蛋白质体外消化率的乘积)。

1.3.4 乳酸菌发酵饼干的品质评价 参考文献[12]中的测定方法,并略有改动。对最终发酵饼干样品的堆积高度和堆积质量、比容、饼干的硬度和脆性、pH 等进行研究,对饼干各方面的品质进行客观的评价。首先使用游标卡尺,随机取 5 片发酵饼干样品,并对其堆积高度进行叠加测量,然后将堆垛的饼干顺时针旋转 90°,按顺序依次旋转 4 条边,最终结果取 4 次测定的平均值。同时,使用游标卡尺随机对 5 片发酵饼干的长、宽、高进行测定,每组样品测定 3 次,最终结果取其测定的平均值,使用以下式(2)计算饼干的比容。

$$v = \frac{V}{m} \quad (2)$$

式中: v 为样品的比容,cm³/g; V 为样品的体积,cm³; m 为样品的质量,g。

使用 TA-XT2i 型物性测试仪对乳酸菌发酵饼干的硬度、脆性进行测定。取形状完整的一块饼干作为待测样品放置在实验支架上,测试开始时,型号为 TA-43R 的金属刀片(厚度为 3 mm)垂直从饼干正中切过直至饼干断裂。切刀上行速度、测试速度和下行速度分别为 2.0、3.0、2.0 mm/s,测试距离和接触力分别为 5.0 mm 和 5 g。每组样品测定 3 次,结果取平均值。

1.3.5 乳酸菌发酵饼干的风味物质测定 采用 GC-2010PLUS 型气相色谱仪测定并分析 4 种发酵饼干样品风味物质成分。将饼干粉碎后,取约 2.5 g 的饼干粉末,放置在 20 mL 的棕色进样瓶中,拧紧盖子后插入已老化的 75 μ m Car/PDMS 萃取头,60 $^{\circ}$ C 顶空萃取 40 min,进行 GC-MS 分析。

检测条件^[13]:DB-5MS 毛细管色谱柱(60 m \times 0.32 mm,1 μ m);载气为氦气,以 10 mL/min 恒流 1 min 后分流,分流体积比 10:1。升温程序:40 $^{\circ}$ C 恒温 2 min,以 6 $^{\circ}$ C/min 的速率升温至 160 $^{\circ}$ C 后保温 2 min,再以 10 $^{\circ}$ C/min 的速率升温至 230 $^{\circ}$ C 后保温 10 min。

1.4 数据处理

采用 OriginPro 8 分析作图,SPSS 22 软件处理并分析数据,Duncan's tests 进行方差分析(显著性分析)。

2 结果与分析

2.1 乳酸菌发酵饼干蛋白质体外消化率的研究

蛋白质体外消化率与蛋白质进入体内被人体消化吸收的程度密切相关。一般来说,蛋白质体外消化率越高,说明蛋白质越易被肠胃利用^[14]。由图 1 可以看出,乳酸菌发酵饼干的蛋白质体外消化率在消化过程中变化情况一致。在模拟人体的胃消化阶段,因为低 pH 条件和胃蛋白酶的作用,消化过程中的大分子蛋白质被切断,变成分子链较短的肽段,提高蛋白质消化。但是,随着水解产物的增多,会影响消化的速率,因此在模拟人体的胃消化阶段,蛋白质体外消化率有所升高但升高的不明显。在模拟人体的肠消化阶段,加入胰酶后,因为胰酶的水解作用,蛋白质被降解为相对分子质量较小的多肽或者氨基酸,进一步提高肠消化阶段的蛋白质体外消化率^[15]。

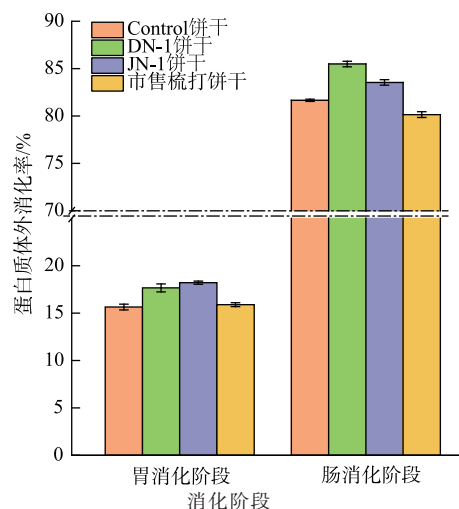


图 1 不同消化阶段下发酵饼干的蛋白质体外消化率情况

Fig. 1 *In vitro* digestibility of protein in fermented crackers at different digestion stages

在模拟胃消化阶段,消化 120 min 后,Control 饼干的蛋白质体外消化率为 16%,两种乳酸菌发酵饼干的蛋白质体外消化率约为 17%,市售梳打饼干的蛋白质体外消化率为 16%。该结果显示 Control 饼干和市售梳打饼干在胃消化阶段的蛋白质体外消化率相近,但略低于乳酸菌发酵饼干的蛋白质体外消化率。在模拟肠消化阶段,消化 120 min 后,与 Control 饼干和市售梳打饼干相比,DN-1 饼干的蛋白质体外消化率最高,蛋白质体外消化率分别由 81%、80%显著提高至 86%,而 JN-1 饼干的蛋白体外消化率为 84%,相比于 Control 饼干也有明显提高。由此可以看出经乳酸菌酸面团发酵后可以显著提高发酵饼干在胃肠消化阶段的蛋白质体外消化率。原因可能是乳酸菌酸面团在发酵过程中,面团中的乳酸菌产生的酸性物质激活了菌株自身和面粉中的蛋白酶类,蛋白酶将小麦粉中的蛋白质降解为小分子肽,小分子肽进一步被降解为氨基酸,使其更容易被机体消化^[16]。该结果与闫博文等的研究结果^[3]一致,相比于酵母发酵产品,加入乳酸菌发酵后会显著提高饼干在胃肠消化阶段的蛋白质体外消化率。

2.2 发酵饼干的蛋白质组分营养指标估算

食物中蛋白质的含量、氨基酸模式、必需氨基酸组成和含量等方面均存在差异,机体对不同种类蛋白质的利用也有所差异。食品中蛋白质组分营养指标估算对食品营养价值的评价、膳食指导、新食品资源的开发等具有重要作用。表 2 为 4 种发酵饼

干的营养指标估算结果,发酵饼干的蛋白质组分营养指标估算主要包括:必需氨基酸质量分数(EAA)、必需氨基酸与总氨基酸的质量比(E/T)、生物价(BV)、预测的蛋白质功效比(PER)、氨基酸评分(AAS)、蛋白质体外消化率校正后的氨基酸评分(PDCAAS)。与 Control 饼干相比,加入乳酸菌发酵

后,多种营养指标差异不显著。尽管饼干中加入的菌株和发酵工艺有所差异,但其配料和蛋白质组分相同,因此,蛋白质组分营养指标估算结果无显著变化。与市售梳打饼干相比,Control 饼干、DN-1 饼干、JN-1 饼干的多数营养指标估算结果均有一定程度的提高。

表 2 4 种发酵饼干的蛋白质组分营养指标估算

Table 2 Evaluation of nutritional indexes of protein components in four fermented crackers

| 产品 | EAA/(mg/g) | E/T/% | BV | PER | AAS | PDCAAS |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Control 饼干 | 29.23±0.03 ^b | 31.02±0.01 ^b | 51.21±0.03 ^b | 2.43±0.02 ^b | 31.31±0.01 ^c | 25.57±0.00 ^b |
| DN-1 饼干 | 28.95±0.03 ^b | 31.16±0.01 ^b | 50.18±0.01 ^b | 2.37±0.05 ^a | 30.85±0.02 ^b | 26.37±0.01 ^b |
| JN-1 饼干 | 28.25±0.05 ^a | 28.92±0.02 ^a | 48.72±0.03 ^a | 2.41±0.01 ^b | 29.52±0.04 ^b | 24.66±0.02 ^b |
| 市售梳打饼干 | 27.79±0.02 ^a | 30.92±0.01 ^b | 47.90±0.04 ^a | 2.26±0.04 ^a | 27.92±0.01 ^a | 22.38±0.02 ^a |

注:不同字母表示同一列数据间具有显著性差异($P<0.05$)。

2.3 发酵饼干的品质评价

发酵饼干会因发酵过程中菌株对面团的作用差异而产生不同的品质特性,4 种发酵饼干品质评价的测定结果如表 3 所示。由表可知,与 Control 饼干相比,DN-1 饼干、JN-1 饼干的堆积质量、堆积高度、比容均有所降低,可能是因为乳酸菌在面团发

酵过程中会产生大量的酸性物质,有机酸会作用于面团网络结构,引起面团网络结构的塌陷,使面团的筋力减弱^[17];也有可能是因为乳酸菌与酵母的协同作用产生更多的二氧化碳气体,使发酵面团的密度降低^[18]。此外,乳酸菌发酵饼干的硬度和脆性也均有显著的降低,且 4 种发酵饼干的 pH 均在 7 左右。

表 3 4 种发酵饼干的品质评价结果

Table 3 Results of quality evaluation of four fermented crackers

| 产品 | 堆积质量/g | 堆积高度/mm | 比容/(cm ³ /g) | 硬度/g | 脆性/mm | pH |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|
| Control 饼干 | 13.21±0.62 ^c | 2.12±0.05 ^d | 0.73±0.03 ^b | 1 313.40±49.52 ^c | 0.80±0.04 ^b | 7.02±0.04 ^a |
| DN-1 饼干 | 11.67±0.54 ^a | 1.83±0.09 ^a | 0.50±0.02 ^a | 1 267.48±27.15 ^b | 0.74±0.05 ^a | 6.89±0.01 ^a |
| JN-1 饼干 | 11.28±0.64 ^a | 1.76±0.08 ^b | 0.47±0.02 ^a | 1 131.91±95.46 ^a | 0.72±0.12 ^a | 6.94±0.01 ^a |
| 市售梳打饼干 | 12.54±0.37 ^b | 1.94±0.05 ^c | 0.50±0.02 ^a | 1 296.37±56.12 ^b | 0.77±0.06 ^{ab} | 7.07±0.03 ^a |

注:不同字母表示同一列数据间具有显著性差异($P<0.05$)。

2.4 乳酸菌发酵饼干的风味物质研究

在 4 种发酵饼干中,一共检测到 100 余种风味物质,这些风味物质主要有烷烃类、醛类、酯类、酮类、酸类、醇类和其他。风味物质主要来源于原料自身、菌株发酵过程中的代谢物、焙烤过程中发生的美拉德反应以及脂质氧化等^[19]。4 种发酵饼干的风味物质如表 4 所示,与 Control 饼干相比,加入乳酸菌发酵后,酯类和酸类物质的相对含量和种类均有所增加,这些风味物质可以增加产品香气。

醇类物质是饼干风味的主要来源之一,在面团发酵过程中酵母和乳酸菌会通过代谢作用产生不同种类的醇类化合物,其中主要以正己醇、1-辛烯-

3-醇、3,5-辛二烯-2-醇、正丁醇和苯乙醇等为主。与 Control 饼干和市售梳打饼干相比,DN-1 菌株发酵后其饼干中的醇类物质在相对含量和种类上均有明显的增加($P<0.05$);与 Control 饼干相比,JN-1 饼干中的醇类物质在相对含量上有所减少,但其醇类物质的种类有所增加,可能是不同的乳酸菌或者来源不同的同种乳酸菌的代谢途径有所不同引起的^[20]。

醛类物质主要包括正辛醛、壬醛、反式-2-壬烯醛、苯甲醛等,检测到的酮类、酸类物质种类较多,而相对含量相对较低。4 种发酵饼干中酮类、醛类、酸类物质在相对含量方面均存在差异,其中,DN-1

表 4 4 种发酵饼干的不同风味物质统计

Table 4 Statistics of different volatile flavor compounds in four fermented crackers

| 产品 | 醇类 | | 醛类 | | 酸类 | | 酮类 | | 酯类 | | 烷烃类 | | 其他 | |
|------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | 相对含量/% | 种类数目 | 相对含量/% | 种类数目 | 相对含量/% | 种类数目 | 相对含量/% | 种类数目 | 相对含量/% | 种类数目 | 相对含量/% | 种类数目 | 相对含量/% | 种类数目 |
| Control 饼干 | 11.47 | 18 | 14.32 | 19 | 1.68 | 9 | 2.27 | 19 | 3.19 | 22 | 47.62 | 18 | 19.46 | 58 |
| DN-1 饼干 | 14.91 | 24 | 8.94 | 16 | 5.02 | 13 | 1.77 | 14 | 13.88 | 26 | 42.05 | 16 | 13.68 | 63 |
| JN-1 饼干 | 10.32 | 20 | 19.49 | 17 | 5.10 | 18 | 1.81 | 15 | 14.40 | 32 | 36.58 | 16 | 12.30 | 64 |
| 市售梳打饼干 | 9.06 | 15 | 9.84 | 13 | 1.15 | 12 | 4.22 | 13 | 3.00 | 11 | 34.65 | 25 | 38.08 | 60 |

注:相对含量为峰面积占比。

饼干、JN-1 饼干中酸类物质的相对含量分别为 5.02%、5.10%,明显高于 Control 饼干和市售梳打饼干,该结果与 Seitz 的研究结果^[21]相似,主要是乳酸菌在面团发酵过程中产酸造成的。

酯类对产品风味影响明显,主要因为酯类物质有较低的阈值^[22]。4 种发酵饼干中共检测出 40 种酯类化合物,Control 饼干和市售梳打饼干中分别有 22、11 种酯类物质,相对含量分别为 3.19%、3.00%。经乳酸菌发酵后,DN-1 饼干、JN-1 饼干分别增加至 26、32 种,相对含量分别为 13.88%、14.40%。其中,在酵母单独发酵饼干中,具有白兰地酒香味的辛酸乙酯的相对含量为 0.2%,而在 DN-1 饼干、JN-1 饼干中分别为 0.2%、0.3%。在不同菌株发酵的样品中还检测到内酯类化合物,其中, γ -丁内酯的形成主要是微生物的代谢作用产生了谷氨酸,并继续进行氧化脱氢反应产生 2-氧戊二酸,经过脱羧还原反应后,最后环化生成 γ -丁内酯^[23]。酯类物质的相对含量在乳酸菌发酵饼干中较高,可赋予产品浓郁的香气。

烷烃类物质的阈值较高,对饼干的风味贡献值

低,而且多数烷烃类物质缺少生物活性,从结果来看,Control 饼干的烷烃类物质相对含量有所增加,经乳酸菌发酵后,饼干中烷烃类物质的相对含量均出现明显下降的趋势。其他类物质包含不饱和烃类、呋喃等风味物质,相比 Control 饼干和市售梳打饼干,在 DN-1 饼干、JN-1 饼干中这些风味物质的相对含量均有所降低。

3 结 语

作者以乳酸菌发酵制备的饼干为研究对象,探究两株不同的乳酸菌对饼干蛋白质体外消化率和品质特性的影响。研究表明,与 Control 饼干相比,乳酸菌发酵后饼干的蛋白质体外消化率均有显著提高,其中在模拟肠消化阶段,DN-1 菌株发酵饼干的蛋白质体外消化率达到最高。同时,与市售梳打饼干相比,3 种发酵饼干(Control 饼干、DN-1 饼干、JN-1 饼干)的蛋白质体外消化率均有明显的增加。此外,经乳酸菌发酵后,发酵饼干的风味品质有所改善,可赋予发酵饼干更好的感官特性。

参考文献:

- [1] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 饼干质量通则:GB/T 20980—2021[S]. 北京:中国标准出版社, 2021.
- [2] 胡莉萍,王志峰,朱松,等. 酵母发酵对饼干品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(15):242-247.
- HU L P, WANG Z F, ZHU S, et al. Effect of yeast fermentation on the quality of crackers[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(15):242-247. (in Chinese)
- [3] 闫博文,赵建新,张均叶,等. 复合乳酸菌协同酵母菌发酵对苏打饼干品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(4):

- 104-111.
- YAN B W,ZHAO J X,ZHANG J Y,et al. Effect of co-culture of lactic acid bacteria and yeast on the quality characteristics of soda biscuit[J]. **Food and Fermentation Industries**,2017,43(4):104-111. (in Chinese)
- [4] CHANG X H,HUANG X Y,TIAN X Y,et al. Dynamic characteristics of dough during the fermentation process of Chinese steamed bread[J]. **Food Chemistry**,2020,312:126050.
- [5] CARBONETTO B,NIDELET T,GUEZENEC S,et al. Interactions between *Kazachstania humilis* yeast species and lactic acid bacteria in sourdough[J]. **Microorganisms**,2020,8(2):240.
- [6] NAJAMUDDIN U,GORJI S G,FITZGERALD M. Genotypic variability in the composition of soluble protein from rice bran - opportunities for nutrition[J]. **Journal of Food Composition and Analysis**,2021,103:104077.
- [7] JARUNGLUMLERT T,NAKAGAWA K,ADACHI S. Digestibility and structural parameters of spray-dried casein clusters under simulated gastric conditions[J]. **Food Research International**,2015,75:166-173.
- [8] XING X L,SUO B,YANG Y,et al. Application of *Lactobacillus* as adjunct cultures in wheat dough fermentation[J]. **Journal of Food Science**,2019,84(4):842-847.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品中蛋白质的测定:GB 5009. 5—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [10] MINEKUS M,ALMINGER M,ALVITO P,et al. A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food:an international consensus[J]. **Food & Function**,2014,5(6):1113-1124.
- [11] 张庆. 植物乳杆菌燕麦酸面团发酵过程及其面包烘焙特性研究[D]. 无锡:江南大学,2012.
- [12] 李娟. 全麦苏打饼干烘焙品质改良以及水分迁移机制的研究[D]. 无锡:江南大学,2013.
- [13] 钱超. 酒曲产 β -葡萄糖苷酶的乳酸菌在葡萄糖面团面包中的应用[D]. 无锡:江南大学,2017.
- [14] ALVAREZ-RAMIREZ J,RODRIGUEZ-HUEZO E,MERAZ M,et al. Spatial variation of *in vitro* starch and protein digestibility in white wheat bread[J]. **Starch - Stärke**,2018,70(5/6):1800025.
- [15] 马子琳. 产单宁酶乳酸菌在豆类酸面团馒头中的应用研究[D]. 无锡:江南大学,2020.
- [16] THIELE C,GRASSL S,GÄNZLE M. Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2004,52(5):1307-1314.
- [17] 张薇. 葡果自然发酵酸面团菌群结构及发酵面包烘焙品质研究[D]. 无锡:江南大学,2015.
- [18] POUTANEN K,FLANDER L,KATINA K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective[J]. **Food Microbiology**,2009,26(7):693-699.
- [19] SETTANNI L,VENTIMIGLIA G,ALFONZO A,et al. An integrated technological approach to the selection of lactic acid bacteria of flour origin for sourdough production[J]. **Food Research International**,2013,54(2):1569-1578.
- [20] HANSEN A,SCHIEBERLE P. Generation of aroma compounds during sourdough fermentation:applied and fundamental aspects [J]. **Trends in Food Science & Technology**,2005,16(1/2/3):85-94.
- [21] SEITZ E W. Microbial and enzyme-induced flavors in dairy foods[J]. **Journal of Dairy Science**,1990,73(12):3664-3691.
- [22] 武盟. 高产 α -半乳糖苷酶乳酸菌的筛选及其在三种豆粉酸面团面包中的应用[D]. 无锡:江南大学,2020.
- [23] DZIALO M C,PARK R,STEENSELS J,et al. Physiology,ecology and industrial applications of aroma formation in yeast[J]. **FEMS Microbiology Reviews**,2017,41(Suppl. 1):95-128.