

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.02.023

郭璞, 王晓闻, 张宏丽, 等. 发酵条件对小米酸粥中多酚含量的影响及其主要组分研究[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 190-196.

GUO P, WANG X W ZHANG H L, et al. Effect of fermentation conditions on polyphenol content in millet sour congee and research on main components of millet sour congee[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 190-196.

发酵条件对小米酸粥中多酚含量的影响及其主要组分研究

郭璞¹, 王晓闻^{1,2}✉, 张宏丽¹, 康森¹

(1. 山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 晋中 030600;
2. 山西省功能食品研究所, 山西 晋中 030600)

摘要: 探究小米酸粥发酵过程中发酵时间及发酵温度对多酚含量的影响, 并对比小米酸粥与小米粥中主要成分差异。结果显示, 小米酸粥中多酚含量随时间增加而增多, 在 20 h 处达到最大值。在 32 °C 的发酵温度下, 小米酸粥中多酚含量最多。与小米粥相比, 小米酸粥降低了煮制导致的多酚损耗, 且酸粥中多酚抗氧化活性较小米粥高。小米酸粥中蛋白、脂肪含量均较高, 分别达到 13.5 mg/100 g 及 6.2 mg/100 g, 而淀粉含量较低为 53.4 mg/100 g, 与小米粥相比降低了 8.7 mg/100 g。此外, 小米酸粥发酵可增加不可溶性膳食纤维含量及上清液中的游离色氨酸含量。

关键词: 酸粥; 发酵; 多酚; 色氨酸; 膳食纤维

中图分类号: TS213.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)02-0190-07

Effect of Fermentation Conditions on Polyphenol Content in Millet Sour Congee and Research on Main Components of Millet Sour Congee

GUO Pu¹, WANG Xiao-wen^{1,2}✉, ZHANG Hong-li¹, KANG Miao¹

(1. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shanxi 030600, China;
2. Shanxi Functional Food Research Institute, Jinzhong, Shanxi 030600, China)

Abstract: This experiment explored the effects of fermentation time and temperature on polyphenol content in millet sour congee fermentation, and further compared the differences of main components between millet sour congee and millet congee. The results showed that the content of polyphenols in millet sour congee increased with time, and reached the maximum at 20 h. At the fermentation temperature of 32 °C, the content of polyphenols in millet sour congee was the highest. Compared with millet congee, millet sour congee reduced the polyphenol loss caused by cooking, and the antioxidant activity of polyphenols in sour congee was higher than that of millet congee. The contents of protein and fat in millet sour congee were higher, reaching 13.5 mg/100 g and 6.2 mg/100 g respectively, while the starch content (53.4 mg/100 g) was 8.7 mg/100 g lower than that of Millet Congee. In addition, the fermentation of sour congee also increased the content of insoluble dietary fiber and the content of free tryptophan in the supernatant. This study provides

收稿日期: 2021-10-26

基金项目: 山西省重点研发计划 (201903D11006)

Supported by: Key Research and Development Project of Shanxi Province (No.201903D211006)

作者简介: 郭璞, 男, 1997 年出生, 在读研究生, 研究方向为食品营养与健康。E-mail: 33237090@qq.com.

通讯作者: 王晓闻, 女, 1968 年出生, 博士, 教授, 研究方向为食品质量与安全。E-mail: wwxw11@163.com.

theoretical support for further research and development of millet sour congee related dietary food.

Key words: sour congee; fermentation; polyphenols; ryptophan; dietary fiber

小米是我国一种常见的食用谷物,它含有丰富的脂肪酸、维生素、较高的膳食纤维、丰富的色氨酸与酚类物质。中医认为,小米“和胃温中”,将小米煮成粥食用,可以清热解毒、治疗反胃热痢,还具有健胃消食的功效^[1-2]。除了作为小米粥食用外,小米还被制成小米饼,小米锅巴等食品。在山西西北部,小米经常被发酵成酸粥食用。酸粥是一种由糜米、大米和小米发酵而成的在我国具有悠久历史的传统食品,当地的酸粥一般选用当地的出产的谷物,因此其风味与营养组分也略有区别。酸粥作为一种发酵食品富含多种人体所必须的维生素,如维生素B、叶酸、维生素E等,同时这些维生素也可以有效的提升人体对其中丰富的矿物质的吸收,由此可见酸粥是一种优秀的功能食品^[3]。

近些年,关于酸粥的研究主要集中于制作方法与发酵菌类分析上。例如秦慧彬^[4]等对不同菌种发酵酸粥进行研究,发现以戊糖乳杆菌 h8-c 为初始菌种发酵的酸粥口味更加纯正。王琪^[5]等则研究了晋西北酸粥中多株乳酸菌的抗氧化性、对胆盐的耐受性及对胆固醇的降解率,证明了晋西北酸粥中的乳酸杆菌具有潜在的益生特性。刘金辉^[6]等还提取了天然发酵酸粥中的植物乳杆菌 TK9,证明其对罗氏青霉、草青霉等食品腐败相关菌种有明显抑制作用,并且可以有效地延长食品的货架期,具有很好的商业价值。然而针对发酵酸粥中多酚含量变化及其主要营养成分的研究仍然较少。

本研究中,以山西传统小米酸粥作为研究对象,探究发酵温度与时间对发酵小米酸粥中多酚含量变化的影响,并对比发酵小米酸粥与同处理小米粥成分差异,为小米酸粥的产品研发提供理论参考。

1 材料与方

1.1 实验材料

酸浆:山西太谷县;小米(东方亮):山西晋中超市;福林酚、没食子酸(标准品)、色氨酸(标准品):北京索莱宝有限公司;无水乙醇、甲醇、

无水碳酸钠、甲醇等试剂:上海阿拉丁有限公司。

1.2 仪器与设备

W-CJ-2FD 型净化工作台:苏州按采空气技术有限公司;HH-B11·42OBY 型电热恒温培养箱:上海跃进医疗器械有限公司;DGL-GI 型立式蒸汽灭菌器:上海力辰仪器科技有限公司;UV-1100 型可见分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;HSJ 恒温水浴锅:江苏科析仪器有限公司;SC-3610 低速离心机:安徽中科中佳科学仪器有限公司;SCIENTZ-18N 型冷冻干燥机:宁波新芝生物科技有限公司;安捷伦 LC-1200 液相色谱仪:北京安捷伦科技(中国)有限公司;SXW-4-13 型马弗炉:上海实研电炉有限公司;BSA124S 电子天平:德国赛多利斯集团;OLBX-10S 型石墨恒温消化炉:深圳欧莱博科技有限公司;DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱:上海笃特科学仪器有限公司;ST3100/F 型实验室台式酸度计:奥豪斯仪器(上海)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 原料预处理

参考康子悦^[7]等的方案,并稍作修改。小米用清水清洗,在瓷盘上铺成 1 cm 厚,紫外灭菌 2 h,期间不断翻搅保证灭菌均匀,灭菌后的小米密封在 4 °C 贮藏备用。

1.3.2 小米粥制备

将小米以 1:25 料液比放入锅中煮制,待水沸后计时 15 min。将煮制后的小米粥晾凉。冻干后储藏在-20 °C。

1.3.3 小米酸粥制备

1.3.3.1 工艺流程 称取 70 g 1.3.1 预处理的小米于灭菌后的 250 mL 三角瓶中,加入 100 mL 酸浆作为发酵引子,然后加灭菌后的水至 250 mL,密封发酵容器,恒温培养箱中发酵。将发酵后的小米酸粥倒至锅中,加水将料液比补至与小米粥相同,煮制,待沸腾后继续煮制 15 min。晾凉后冻干,储藏在-20 °C 备用。

1.3.2.2 小米酸粥样品制备优化 采用单因素实验设计,以多酚含量为主要指标,酸度为参考指

标, 考察温度及时间对小米酸粥发酵的影响。按照 1.3.2.1 的方法, 分别在 27、32、37、42 °C 发酵 20 h, 筛选最佳发酵温度。然后在最适发酵温度下发酵, 分别发酵 4、8、12、16、20、24、28 h 选择最适发酵时间。所有实验重复三次, 结果取平均值。

1.3.3 小米粥及小米酸粥中各成分测定

总酸含量: 采用 GB 12456—2021《食品中总酸的测定 滴定法》;

总酚含量: 采用 Folin-Ciocalteu 法^[8]测定;

淀粉含量: 采用 GB 5009.9—2016《食品中淀粉的测定 酶水解法》;

脂肪含量: 采用 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定 索氏抽提法》;

蛋白含量: 采用 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定 凯氏定氮法》;

灰分含量: 参考 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》;

总膳食纤维、可溶性膳食纤维、不可溶性膳食纤维含量: 参考 GB 5009.88—2014《食品中膳食纤维的测定》;

色氨酸含量: GB/T 15400—2018《饲料中色氨酸的测定 高效液相色谱法》。游离色氨酸使用米粥上清液进行检测, 而水解色氨酸含量使用酸水解法检测。

1.3.4 小米粥及小米酸粥多酚提取物抗氧化性检测

2,2-联苯基-1-苦基肼基 (DPPH) 清除率检测参照康子悦^[7]等的方案进行。羟自由基清除能力采用索莱宝羟自由基清除能力试剂盒检测。按照说明书进行实验并重复三次。在 96 孔板中每孔加入 50 μL 试剂一, 100 μL 试剂二和 100 μL 试剂三, 充分混匀。空白孔中加入 70 μL 蒸馏水, 对照孔中加入 20 μL 试剂四以及 50 μL 蒸馏水, 样品孔中加入 50 μL 1.3.3 中多酚含量检测提取的多酚样品以及 20 μL 蒸馏水, 混匀 37 °C 反应 20 min。使用酶标仪于 536 nm 处检测吸光度值, 按下列公式进行计算:

$$D(\%) = (A_{\text{测}} - A_{\text{对}}) \div (A_{\text{空}} - A_{\text{对}}) \times 100\%$$

式中: D-羟自由基清除率(%); $A_{\text{测}}$ -样品吸光度值; $A_{\text{对}}$ -对照孔吸光度值; $A_{\text{空}}$ -空白孔吸光度值。

1.4 数据分析

通过 SPSS 16.0 进行数据分析, 当两组间 $P < 0.05$ 时认为两组间存在显著差异, 使用 GraphPad Prism 8 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 发酵温度对小米酸粥总酚总酸的影响

微生物的生长代谢与环境温度密切相关, 因此温度是生物发酵的一项重要指标。如图 2 所示, 随着温度的升高, 总酚及总酸含量均呈现先升高后降低的趋势。当温度为 27 °C 时, 温度较低, 产酸细菌繁殖较慢, 产酸能力较弱, 酸度较低。同时, 在较低的温度下, 小米酸粥发酵产生多酚的过程也受到了抑制。当温度为 42 °C 时, 环境温度较高, 不利于微生物的生长繁殖, 由图中数据可知, 在此温度下小米酸粥酸度较低, 且小米酸粥中一部分乳酸可能来源于发酵时加入的酸浆引子, 推测较高的温度可能杀死酸粥菌液中的一部分菌种, 使得小米酸粥产酸产多酚能力进一步下降。而在 32~37 °C 时, 小米酸粥产酸产多酚能力较强, 总酸含量达到 46.37 g/kg 和 50.90 g/kg, 且总酚含量达到 1.18 mg/g 和 1.08 mg/g。

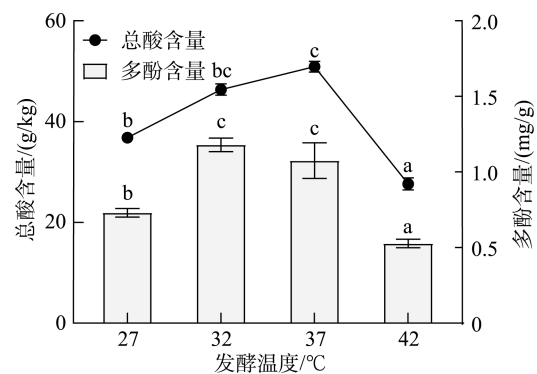


图 1 发酵温度对酸粥总酸含量与多酚含量的影响
 Fig.1 Effect of fermentation temperature on total acid content and polyphenol content of sour congee

2.1.2 发酵时间对小米酸粥总酚总酸的影响

研究表明酸粥中富含多种产酸菌类^[5,9]。如图 2 所示, 随着时间的增加, 小米酸粥中总酸含量逐渐上升, 4~12 h 上升较慢, 而 12~20 h 小米酸粥酸度上升显著, 可能是随着乳酸的积累, 小米酸粥中 pH 逐渐降低, 形成利于乳酸菌等产酸菌

种生长繁殖的环境,因此产酸量增加,总酸含量迅速上升。而到20 h后,小米酸粥酸度趋于平稳,可能是随着时间的流逝,小米酸粥环境中的底物被迅速消耗导致的。

多酚类物质是小米中的重要功能成分,包括多种游离酚、黄酮类物质以及结合态的共轭酚酸^[10]。研究表明,酸粥中含有多种乳酸菌与枯草芽孢杆菌^[11]。这两种菌被证明可以通过发酵来产生多酚类物质^[12-13]。其原理可能是原先附着于蛋白或淀粉结构内部的多酚类物质,通过发酵的过程被释放出来,从而增加了发酵产品多酚的含量。如图2所示,随着时间的增加,小米酸粥内多酚含量逐渐升高。其升高趋势与总酸含量相近,表明多酚含量的增加可能与乳酸菌等产酸菌种相关。多酚含量在20 h处达到顶峰,之后无显著差异。可能是由于底物中多酚类物质被完全释放,但也不排除其原因是小米酸粥发酵过程中菌种变化导致的,具体原因还有待进一步实验考察。

结合2.1.1的研究结果,在32℃发酵20 h可以使小米酸粥中总酚及总酸含量达到最佳。在此条件下总酚含量达到1.18 mg/g,总酸含量达到46.37 g/kg。

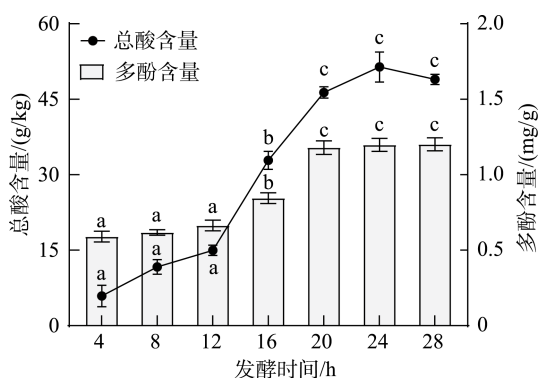


图2 发酵时间对酸粥总酸含量与多酚含量的影响

Fig.2 Effect of fermentation time on total acid content and polyphenol content of sour congee

2.2 小米酸粥中其他营养成分与小米粥的差异

2.2.1 发酵对小米粥多酚含量的影响

小米热处理会导致多酚含量显著降低。Taylor^[14]等分析了脱皮、蒸煮、发芽处理后小米中多酚含量的变化,发现小米中多酚含量与食品加工程度呈负相关,并且发现小米加工过程中多酚含量变化受到多酚变性与结合态多酚释放两方面调控。如图3所示,在本实验中,与小米粥相

比,小米酸粥中多酚含量显著上升。此外,我们还检测了小米中多酚的含量,发现蒸煮处理使小米中多酚含量降低了60%,这与Taylor^[14]等的研究结果一致,而发酵后多酚含量达到小米粉中多酚含量的60%。证明酸粥发酵可以有效地弥补热处理产生的小米多酚损耗。

2.2.2 小米粥发酵对多酚抗氧化性的影响

实验分别提取了小米、小米粥、发酵小米酸粥中的多酚,并对其抗氧化能力进行检测。与小米多酚相比小米粥多酚的DPPH清除率及羟自由基清除率分别降低了5.56%和23.46%,而发酵小米酸粥中多酚的这两项指标分别降低了1.62%及14.93%。实验证明煮制会显著降低小米中多酚的抗氧化活性,而发酵可以明显减少因煮制而产生的小米粥多酚抗氧化活性减弱。

表1 小米、小米粥与小米酸粥中多酚的抗氧化活性
Table 1 Antioxidant activity of polyphenols in millet, millet congee and millet sour congee %

	小米多酚	小米粥多酚	发酵小米酸粥多酚
清除DPPH能力	72.16±0.04	66.60±0.41	70.54±0.50
清除羟自由基能力	70.75±0.56	47.29±0.78	55.82±0.54

2.2.3 发酵对小米粥主要营养组分的影响

结合单因素实验的结果,本实验选取了在32℃发酵20 h的小米酸粥冻干样品,比较它与相同料液比及煮制时间的小米粥冻干样品的主要营养成分。结果如图3所示。经过发酵后,小米酸粥中的蛋白及油脂含量相较于小米粥有明显上升,而淀粉含量明显下降,这与郭昊翔^[3]等的研究结果一致。一方面,伴随着微生物的生长繁殖,小米中的淀粉及其他营养物质被当作碳源加以利用,作为自身的能量供给,导致淀粉含量下降。另一方面,小米酸粥中微生物在发酵过程中利用一些小分子物质合成新的营养物质,导致小米酸粥中如蛋白、脂肪等营养物质含量增加,如酵母菌发酵过程中利用醇和酸合成酯类物质,导致粗脂肪含量增加。此外,发酵小米酸粥与小米粥之间灰分含量没有显著差异,说明发酵过程纯净,并没有引入新的无机盐。

2.2.4 小米粥发酵对色氨酸含量的影响

小米中含有丰富种类的氨基酸,其中含量最

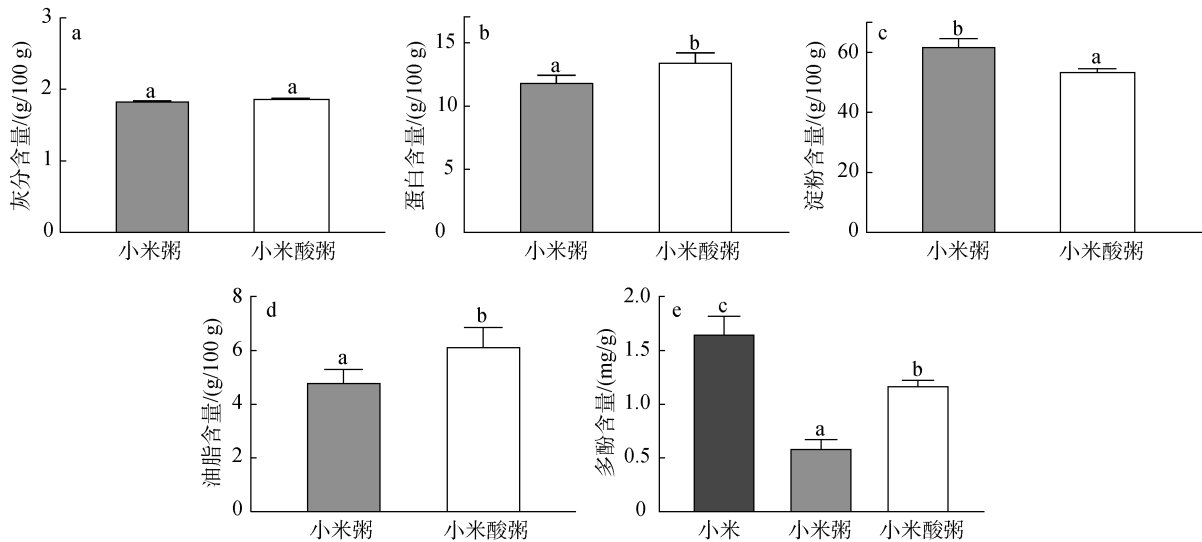


图 3 小米粥与小米酸粥主要营养成分对比

Fig.3 Comparison of main nutritional components between millet congee and millet sour congee

高的是色氨酸。色氨酸是一种主要由饮食摄入的必需氨基酸，被认为是一种重要的代谢途径调节因子，在多条代谢通路中起到调节作用^[15]。另外还有研究指出色氨酸可以有效地保护肠道屏障稳态，因此富含色氨酸的食物被认为可以作为肠道保护的膳食补充剂开发利用。

在本实验中，我们利用液相色谱检测了小米酸粥与小米粥中的游离色氨酸含量与水解色氨酸含量。发现与小米粥相比，小米酸粥中水解色氨酸含量并没有发生显著的变化。而小米酸粥中游离色氨酸含量相较小米粥显著增加。说明发酵过程释放了部分小米中的色氨酸，使色氨酸变为游离态。

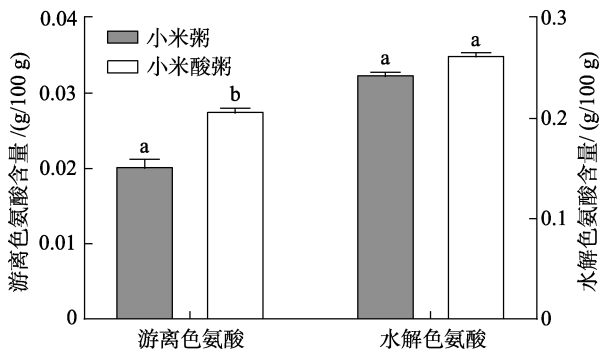


图 4 小米粥与小米酸粥色氨酸含量对比

Fig.4 Comparison of tryptophan content between Millet Congee and millet sour congee

2.2.5 小米粥发酵对膳食纤维含量的影响

膳食纤维 (dietary fiber, DF) 是指一类不能被小肠消化吸收而可以在大肠部分发酵的可食用的植物性成分、碳水化合物及其相似物质的总称

^[16]。根据是否可以被水溶解分为两大类：可溶性膳食纤维及不溶性膳食纤维。很多年以前，由于膳食纤维不能被消化吸收为人体提供能量，因此并不被研究者所重视。但近些年，随着对营养学研究的深入发展，人们渐渐发现膳食纤维具有治疗肠道疾病^[17]、降低血糖^[18]、抗腹泻^[19]等多种作用。因此膳食纤维也被研究人员称为第七营养素。

在本研究中，我们分别检测了小米粥冻干粉与小米酸粥冻干粉的膳食纤维含量，结果如图 5 所示。对比小米粥与小米酸粥中膳食纤维含量，小米酸粥发酵明显增加了总膳食纤维含量。有研究表明，枯草芽孢杆菌的发酵会显著增加发酵食品中的膳食纤维含量^[20]，我们推测这可能是膳食纤维的来源菌。另外与小米粥相比小米酸粥中的可溶性膳食纤维含量没有显著差异，而不可溶性膳食纤维含量明显增多，证明发酵过程主要产生的是不可溶性膳食纤维。

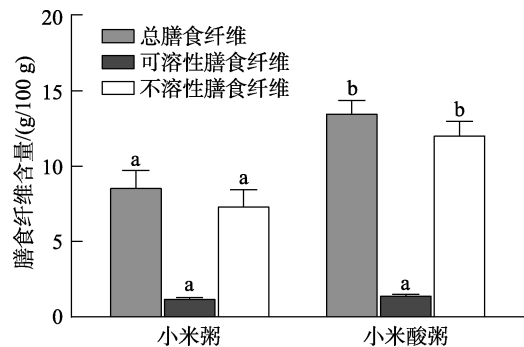


图 5 小米粥与小米酸粥膳食纤维含量对比

Fig.5 Comparison of dietary fiber content between Millet Congee and millet sour congee

3 讨论和结论

在中国,小米作为一种重要的杂粮被广泛的种植与食用。小米中营养成分均衡,因此经常作为主食食用。发酵是一种传统的食品生产方式,人们通常通过发酵谷物与水果改变食物原有的形态与风味。此外,发酵还改变了食物原有的营养结构,为人们提供更为丰富的营养补充。郭昊翔^[3]等利用电子舌和电子鼻对内蒙发酵酸粥中的营养成分及风味进行检测,研究发现发酵过程增加了酸粥中的蛋白及总酸含量,降低了酸粥中总糖含量,此外发酵还增加了酸粥中叶酸、维生素C等维生素的含量。薛建岗^[21]等对内蒙古地区酸粥进行取样并分析其化学成分,发现除总固形物外,不同地区发酵酸粥中营养成分有较大差异。另外酸粥中还富含乙酸、 γ -氨基丁酸等天然活性成分。本研究则分析了晋西北发酵酸粥中的不同营养成分,与内蒙酸粥相比,晋西北小米酸粥中蛋白、脂肪、灰分含量更高,推测可能是由于不同地区原料选择与配比不同造成的。此外,我们还发现发酵会使小米粥中多酚含量增加,结合上述研究成果,可以得知发酵酸粥中含有丰富的维生素、氨基酸、以及多酚类物质,是一种健康的传统发酵食品。然而,本实验并未涉及发酵对小米粥多酚种类的影响,并且不同营养成分变化可能部分源自于发酵菌种而非小米酸粥。因此,计划下一步针对发酵小米酸粥中多酚及不同营养成分进行具体分析。

通过对酸度及多酚含量进行检测,探究了发酵时间与温度对小米酸粥发酵的影响。单因素实验结果表明,小米酸粥中总酸含量及多酚含量均会随时间而升高,两者均在20 h处达到顶峰。而发酵过程在32~37 °C较为活跃,其中32 °C左右多酚产量最高。对小米酸粥冻干粉与小米粥冻干粉中营养物质含量检测发现,发酵过程会增加小米粥中蛋白、脂肪和多酚含量,降低淀粉含量。另外小米酸粥发酵还会提高不可溶性膳食纤维与游离色氨酸含量。由于冻干样品中同时含有大量菌种,营养物质的变化可能源自于菌种自身,因此还需要进一步地分析各营养成分具体的变化,如蛋白种类的分析,来确定发酵过程对小米本身的影响。因此计划下一步对小米酸粥中营养物质

进行进一步的分析,以便更好地阐述发酵过程对小米酸粥功能成分的影响。

参考文献:

- [1] LI A N, LI S, ZHANG Y J, et al. Resources and biological activities of natural polyphenols[J]. *Nutrients*, 2014, 6(12): 6020-6047.
- [2] 张超, 张晖, 李冀新. 小米的营养以及应用研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2007(1): 51-55.
ZHANG C, ZHANG H, LI J X. Advances of millet research on nutrition and application[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2007(1): 51-55.
- [3] 郭昊翔, 满都拉, 任宇婷, 等. 传统酸粥发酵过程中营养成分及风味的变化规律[J]. *食品与发酵工业*, 46(12): 7.
GUO H X, MANDLAA, REN Y T, et al. Variation of nutrients and flavors in the fermentation process of traditional sour congee[J]. *Food and Fermentation Industries*, 46(12): 7.
- [4] 秦慧彬, 黄志伟, 张志强, 等. 传统食品酸粥的发酵工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(17): 111-116.
QIN H B, HUANG Z W, ZHANG Z Q, et al. Fermentation process of preparing traditional food Suanzhou[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(17):111-116.
- [5] 王琪, 刘聪, 景彦萍, 等. 晋西北酸粥发酵液中乳酸菌的潜在益生特性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(2):64-70.
WANG Q, LIU C, JING Y P, et al. Probiotic properties of LAB isolated from fermentation broth of sour congee in Northwestern Shanxi[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(2): 64-70.
- [6] ZHANG N, LIU J H, LI J J, et al. Characteristics and application in food preservatives of lactobacillus plantarum TK9 isolated from naturally fermented congee[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2016, 12.
- [7] 康子悦, 沈蒙, 葛云飞, 等. 基于植物广泛靶向代谢组学技术探究小米粥中酚类化合物组成及其抗氧化性[J]. *食品科学*, 42(4): 9.
KANG Z Y, SHEN M, GE Y F, et al. Analysis of phenolic composition in millet congee using widely-targeted metabolomics and evaluation of antioxidant activity[J]. *Food Science*, 42(4): 9.
- [8] SINGLETON V L, ORTHOFER R, RM LAMUELA-RAVENTÓS. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent[J]. *Methods in Enzymology*, 1999, 299(1): 152-178.
- [9] 王玉荣, 折米娜, 刘康玲, 等. 内蒙古鄂尔多斯地区酸粥真菌多样性研究[J]. *中国酿造*, 2018(8): 50-55.
WANG Y R, SHE M N, LIU K L, et al. Fungal diversity in acidic-gruel from Ordos area of Inner Mongolia[J]. *China Brewing*, 2018(8): 50-55.
- [10] XIANG J, ZHANG M, APEA-BAH F B, et al. Hydroxycinnamic acid amide (HCAA) derivatives, flavonoid C-glycosides, phenolic acids and antioxidant properties of foxtail millet[J].

- Food Chemistry, 2019, 295(OCT.15): 214-223.
- [11] WANG Y, ZHANG H, LEI Z, et al. In vitro assessment of probiotic properties of Bacillus isolated from naturally fermented congee from Inner Mongolia of China[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2010, 26(8): 1369-1377.
- [12] 马欣, 古绍彬, 吴影. 凝结芽孢杆菌复合干酪乳杆菌发酵南瓜饮料的研制[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44, 367(7): 165-171. MA X, GU S B, WU Y. Development of fermented pumpkin beverage with Bacillus coagulans and Lactobacillus casei[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44, 367(7): 165-171.
- [13] 吕丹丹, 何佳, 宋文华, 等. 8种乳酸菌发酵对凤丹花瓣中酚类物质及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 146-151. LV D D, HE J, SONG W H, et al. Effects of eight species of Lactobacillus fermentation on phenolic compounds and their antioxidant activity in Feng Dan petals[J]. Food & Machinery, 2018, 34(11): 146-151.
- [14] TAYLOR J R, DUODU K G. Effects of processing sorghum and millets on their phenolic phytochemicals and the implications of this to the health-enhancing properties of sorghum and millet food and beverage products[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 95(2): 225-237. DOI: 10.1002/jsfa.6713.
- [15] ISLAM J, SATO S, WATANABE K, et al. Dietary tryptophan alleviates dextran sodium sulfate-induced colitis through aryl hydrocarbon receptor in mice[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2017, 42: 43.
- [16] 卢宏科, 王琴, 区子弁, 等. 膳食纤维的功能与应用[J]. 广东农业科学, 2007(4): 69-72. LU H K, WANG Q, QV Z B, et al. Function and application of the dietary fiber[J]. GUANGDONG AGRICULTURAL SCIENCES, 2007(4):69-72.
- [17] UCHIYAMA K, YASUKAWA Z, TOKUNAGA M, et al. Tu1859 various effects to intestinal epithelial wound healing by partially hydrolyzed dietary fiber and Its intestinal metabolites such as short chain fatty acids[J]. Gastroenterology, 2015, 148(4): S-921-S-921.
- [18] FUWA M, NAKANISHI Y, MORITAKA H. Effect of dietary fiber exhibiting a sol on blood sugar level after cooked rice consumption[C]//Meeting of the Japan Society of Cookery Science. The Japan Society of Cookery Science, 2016.
- [19] OSAMU, KANAUCHI, TOSHIHIKO, et al. Dietary fiber fraction of germinated barley foodstuff attenuated mucosal damage and diarrhea, and accelerated the repair of the colonic mucosa in an experimental colitis[J]. Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2001.
- [20] CHEN H Q, BING D U, LIANG Z H, et al. Study on modified dietary fiber of mung-bean powder by fermentation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015.
- [21] 薛建岗, 陈永福, 于海静, 等. 内蒙古西部地区自然发酵酸粥化学成分及微生物组成分析[J]. 食品科技, 2013, 38(7): 10-14. XUE J G, CHEN Y F, YV H J, et al. Analysis of chemical and microbiological composition in naturally fermented acidic-gruel from western areas of Inner Mongolia[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(7): 10-14. 