

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.07.036

苦荞芽苗茶饮料发酵前后营养、风味及抗氧化活性的变化

Variation of nutrition, flavor and antioxidant activity in tea beverage of tartary buckwheat sprout after fermentation

李俊^{1,2} 卢扬² 赵刚³ 向达兵³ 陈中爱² 刘辉^{1,2}

LI Jun^{1,2} LU Yang² ZHAO Gang³ XIANG Da-bing³ CHEN Zhong-ai² LIU Hui^{1,2}

(1. 贵州理工学院食品药品制造工程学院, 贵州 贵阳 550003; 2. 贵州省农业科学院食品加工研究所, 贵州 贵阳 550006; 3. 农业农村部杂粮加工重点实验室, 四川 成都 610106)

(1. College of Food and Pharmaceutical Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang, Guizhou 550003, China; 2. Food Processing Institute of Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang, Guizhou 550006, China; 3. Key Laboratory of Coarse Cereal Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu, Sichuan 610106, China)

摘要:采用植物乳杆菌发酵苦荞芽苗茶饮料,通过对发酵前后苦荞芽苗茶饮料中芦丁、槲皮素、山奈酚-3-O-芸香糖苷、总黄酮、氨基酸、挥发性化合物、DPPH 和 ABTS 自由基清除率等指标进行测定,研究发酵前后营养、风味及抗氧化活性的变化规律。结果表明,发酵后芦丁含量基本保持不变,槲皮素和山奈酚-3-O-芸香糖苷含量有稍许降低,总黄酮含量从 $(120.6 \pm 1.9) \mu\text{g/mL}$ 微降至 $(114.6 \pm 1.7) \mu\text{g/mL}$ 。苦荞芽苗饮料中包含 6 种必需氨基酸(EAA)和 11 种非必需氨基酸(NEAA),发酵后必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)为 38.32%,EAA/NEAA 为 62.13%,显著高于发酵前。分离鉴定出 8 类 54 种挥发性物质,发酵前含有 46 种,发酵后含有 43 种,通过发酵,阈值较低的芳香性风味物质含量明显提升。发酵后 DPPH 和 ABTS 自由基清除率均升高,乳酸菌发酵可以提高苦荞芽苗茶饮料的抗氧化活性。

关键词:发酵;苦荞芽苗茶饮料;营养;风味;抗氧化活性

Abstract: To identify the changing pattern of nutrition, flavor components, and antioxidant activity, some critical indexes were estimated in tea beverage fermented from plant lactobacillus in

基金项目:成都大学—农业农村部杂粮加工重点实验室开放课题项目(编号:20171203);贵州省基础研究计划(编号:[2018]1153);贵州省博士基金(编号:[2017]1180);贵州省农业科学院青年基金(编号:[2017]26)

作者简介:李俊,男,贵州省农科院食品加工研究所助理研究员,硕士。

通信作者:刘辉(1986—),男,贵州省农科院食品加工研究所副研究员,博士。E-mail:wt1505@126.com

收稿日期:2019-03-15

tartary buckwheat sprout. These indexes included the content of rutin, quercetin, kaempferol-3-O-rutinoside, total flavonoids, and amino acids, as well as volatile compounds identification, including the radical scavenging rate of DPPH and ABTS in buckwheat sprout beverage. The results showed that the content of rutin remained unchanged, but quercetin and kaempferol-3-O-rutinoside decreased slightly, and the total flavonoids decreased slightly from $(120.6 \pm 1.9) \mu\text{g/mL}$ to $(114.6 \pm 1.7) \mu\text{g/mL}$ after fermentation. Tea beverage of tartary buckwheat sprout contains six kinds of EAA and eleven kinds of NEAA. After fermentation, the ratio of EAA/TAA and EAA/NEAA were 38.32% and 62.13%, respectively, which was significantly increased as compared to pre-fermentation. 54 kinds of volatile substances were identified, including 46 in pre-fermented beverage and 43 in post-fermented beverage, and could be classified into 8 categories. Further analysis indicated that the content of aromatic flavor substances with lower threshold was significantly increased after fermentation. The free radical scavenging rate of DPPH and ABTS were both enhanced after fermentation, implied the improved antioxidant activity of tea beverage of tartary buckwheat sprout through lactobacillus fermentation.

Keywords: fermentation; tea beverage of tartary buckwheat sprout; nutrition; flavor; antioxidant activity

苦荞被誉为药食同源植物,除了蛋白质、维生素等基本营养元素外,还富含芦丁、槲皮素等黄酮类物质,营养素含量丰富,比例均衡^[1]。研究^[2]表明,黄酮类物质具有较高的食用和药用价值,具有抗菌消炎等作用,长期食用

还能增强人体免疫力。因此,苦荞已经成为食品加工的一个热点,已经开发出苦荞醋、苦荞茶、苦荞酸奶等各种特色保健食品。有研究^[3]发现,萌发后的苦荞籽粒,黄酮类物质的含量会显著提高,其中芦丁含量会增加 4~6 倍。但现阶段国内外对苦荞产品的开发主要集中于苦荞籽粒,对苦荞萌发后的芽苗研究还较少。

乳酸菌具有协调人体肠道菌群的比例、降低胆固醇、增强免疫力等一系列功效^[4]。通过乳酸菌发酵不仅能赋予制品新的保健功能,而且还可使制品产生特有的风味。Cho 等^[5]开发出的乳酸菌发酵饮料蛋白含量高,脂肪含量低,活菌数高,抗氧化及抗菌活性显著增强,感官性状良好。王振斌等^[6]采用乳酸菌和酵母菌发酵葛根汁,发酵 6 d 葛根汁总黄酮含量提高了 17.72%, γ -氨基丁酸质量浓度增加了 279.17%,必需氨基酸总量增加了 65.58%,乳酸浓度增加,产品中风味物质的含量比葛根汁有所提高。但现阶段关于乳酸菌发酵对苦荞制品中营养及风味物质的研究尚未见报道。

本研究以苦荞芽苗及苦荞茶汤为原料,采用植物乳杆菌发酵,利用液相色谱、氨基酸分析及气质联用等检测方法对发酵前后苦荞芽苗茶饮料的芦丁、槲皮素、山奈酚-3-O-芸香糖苷、总黄酮、氨基酸、挥发性化合物、DPPH 和 ABTS 自由基清除率进行分析,探究发酵前后苦荞芽苗茶饮料营养、风味及抗氧化活性的变化,为苦荞饮料的研制提供数据支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

苦荞籽粒:贵米苦 18 号,贵州师范大学荞麦产业技术研究中心,温度 25℃、湿度 80% 条件下萌发 8~10 d 左右可得萌发苦荞芽苗;

苦荞茶:贵州省威宁县东方神谷有限责任公司;

植物乳杆菌(GIM1.380):广东省微生物菌种保藏中心;

芦丁、槲皮素、山奈酚-3-O-芸香糖苷标准品:美国 Sigma 公司;

果葡糖浆:食品级,加福得食品(北京)有限公司;

甲醇:液相色谱级,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、磷酸、盐酸、苯酚、柠檬酸钠、1,1-二苯基-2-三硝基苯胍、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)、过硫酸钾:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

所用 水 为 超 纯 水。

1.2 仪器与设备

高效液相色谱仪:1260 型,配紫外检测器,色谱柱为 Shiseido C₁₈(4.6 mm×250 mm×5 μ m),美国 Agilent 公司;

气相色谱质谱联用仪:HP6890/5975C 型,色谱柱为

FB-5(30 m×0.25 mm×0.25 μ m)弹性石英毛细管柱,美国 Agilent 公司;

氨基酸分析仪:S433D 型,德国 Sykam 公司;

均质机:BRS-200 型,安徽博进化工机械有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 苦荞芽苗茶饮料制备 参照文献^[7]。苦荞茶汤与苦荞芽苗按照 4:1(质量比)的比例混匀后打浆,用 4 层纱布过滤杂质后,4 000 r/min 离心 5 min,按照 1:10(体积比)的比例加入纯净水进行稀释,加入稳定剂,均质(25 MPa,60℃)后在 121℃ 条件下灭菌 5 min,按 0.6% 的菌剂添加量接种植物乳杆菌(液体 MRS 培养基 37℃ 培养 48 h),37℃ 发酵 24 h,发酵结束。

1.3.2 总黄酮含量测定 采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法^[8]。制作的标准曲线为: $Y = 0.3186X + 0.002$, $R^2 = 0.9991$ 。样品平行测定 3 次取平均值,根据标准曲线计算相应的总黄酮含量(μ g/mL)。

1.3.3 不同黄酮物质含量测定 采用高效液相色谱法。根据文献^[9],修改如下:制成每 100 mL 分别含芦丁 100 mg,山奈酚-3-O-芸香糖苷 50 mg,槲皮素 20 mg 的混合溶液,作为混合对照品溶液。取 5.0 mL 饮料,加入 75%乙醇 50 mL,超声 30 min,水浴蒸干,加甲醇溶解并定容至 10 mL,摇匀,过滤,即得供试品溶液。色谱条件:流动相:甲醇(A):0.1%磷酸溶液(B)=55:45(体积比);波长 355 nm;柱温 30℃;进样量 5 μ L。

1.3.4 氨基酸测定 参照 GB 5009.124—2016《食品中氨基酸的测定》的方法,水解后直接用氨基酸分析仪对苦荞芽苗饮料中的氨基酸进行分析。

1.3.5 挥发性成分测定 取样品 8 mL,置于 10 mL 固相微萃取仪采样瓶中,放置磁力搅拌器上(转速 120 r/min),插入装有 2 cm×50/30 μ m DVB/CAR/PDMS StableFlex 纤维头的手动进样器,在 60℃ 水浴中顶空萃取 45 min,快速移出萃取头并插入色谱仪进样口(温度 250℃),热解析 5 min 进样。色谱条件参照文献^[10],对总离子流图中的各峰经质谱计算机数据系统检索及核对 Nist2014 和 Wiley275 标准质谱图,确定挥发性化学成分。

1.3.6 DPPH 自由基清除的测定 参照 Yang 等^[11]的方法并稍作改动,将发酵前后饮料稀释成不同浓度,分别置于 10 mL 试管中,加入 3 mL DPPH 溶液并振摇 10 s,室温静置,避光反应 30 min。在波长 517 nm 处测其吸光值,以不加样品的 DPPH 溶液作为空白对照。

1.3.7 ABTS 自由基清除率测定 参照 Guo 等^[12]的方法并稍作改动,将发酵前后饮料稀释成不同浓度,分别置于 10 mL 试管中,加入 3 mL ABTS 工作液并振摇 10 s,室温静置,避光反应 6 min。在波长 734 nm 处测其吸光值,以不加样品液的 ABTS 工作液为空白对照。

1.4 数据处理

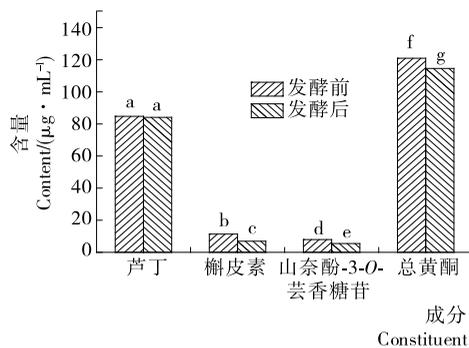
采用 Origin(Version 8.6)进行作图,采用 SPSS(Ver-

sion 17.0)进行统计学分析, $P < 0.05$ 认为有统计学显著性差异, $P < 0.01$ 认为有统计学极显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 发酵前后苦荞芽苗茶饮料中黄酮含量变化

发酵前后苦荞芽苗茶饮料中黄酮含量变化见图 1。由图 1 可知, 发酵后芦丁含量基本保持不变, 但槲皮素和山奈酚-3-O-芸香糖苷含量有稍许降低, 总黄酮含量也从 $(120.6 \pm 1.9) \mu\text{g/mL}$ 降至 $(114.6 \pm 1.7) \mu\text{g/mL}$ 。这些结果与 Shyu 等^[13]关于柑橘果皮中黄酮类物质的报道一致, 柑橘果皮中黄酮类物质经发酵后也有不同程度的降低。可能是, 一部分黄酮被消耗或是经修饰转化为其他物质, Chen 等^[14]报道了发酵对黄岑茎叶提取物中黄酮类物质的生物转化, 发现 *L. brevis* RO1 菌株能够有效地提升黄酮类物质的生物转化率。但关于苦荞芽苗茶饮料中黄酮类物质降低的原因还有待进一步研究。



字母不同代表发酵前后测定结果差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 发酵前后苦荞芽苗茶饮料中黄酮含量对比

Figure 1 Comparison of flavonoids content in tea beverage of tartary buckwheat sprout before and after fermentation

2.2 发酵前后苦荞芽苗茶饮料中氨基酸含量变化

苦荞芽苗茶饮料发酵前后氨基酸含量见表 1。苦荞芽苗茶饮料中包含 6 种必需氨基酸 (EAA) 和 11 种非必需氨基酸 (NEAA), 但经乳酸菌发酵后苏氨酸并未检出。发酵前 NEAA 和总氨基酸 (TAA) 含量显著高于发酵后 ($P < 0.05$), 可能是氨基酸作为乳酸菌发酵的氮源物质被吸收利用, 导致发酵后氨基酸含量降低; 同时发酵过程会产生一定的风味, 如苏氨酸、缬氨酸等会通过微生物转化产生特征性风味物质乙醛^[6]。发酵后 EAA/TAA 的比例为 38.32%, EAA/NEAA 为 62.13%, 而发酵前 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 分别为 26.89% 和 36.80%, 发酵后 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 比例显著高于发酵前。FAO/WHO^[15]提出的理想蛋白质标准为: 人体 EAA/TAA 在 40% 左右, EAA/NEAA 在 60% 左右。从这一角度分析, 发酵有利于苦荞芽苗茶饮料中蛋白质性能的提高。

根据 FAO/WHO^[15]模式制定的苦荞芽苗饮料发酵

表 1 发酵前后苦荞芽苗茶饮料中氨基酸含量对比[†]

Table 1 Comparison of amino acid content in tea beverage of tartary buckwheat sprout before and after fermentation mg/kg

种类	发酵前	发酵后
赖氨酸	171.56 ± 1.37	247.50 ± 1.74 ^a
苯丙氨酸	82.77 ± 0.74 ^a	48.59 ± 0.78
苏氨酸	13.14 ± 0.08	—
异亮氨酸	195.50 ± 1.94	182.88 ± 1.49
亮氨酸	123.45 ± 1.45	167.66 ± 0.83 ^a
缬氨酸	103.69 ± 1.21 ^a	61.90 ± 0.59
天冬氨酸	25.42 ± 0.42 ^a	8.54 ± 0.17
丝氨酸	83.63 ± 1.29 ^a	44.35 ± 0.62
谷氨酸	269.76 ± 0.76 ^a	164.06 ± 1.49
甘氨酸	87.96 ± 0.51 ^a	49.09 ± 0.92
丙氨酸	99.58 ± 1.32 ^a	52.52 ± 0.46
胱氨酸	529.52 ± 2.94 ^a	232.32 ± 2.75
酪氨酸	86.78 ± 1.43 ^a	66.75 ± 0.87
脯氨酸	406.31 ± 2.18 ^a	285.93 ± 1.99
精氨酸	118.96 ± 1.22 ^a	48.11 ± 0.51
组氨酸	44.16 ± 0.68	57.47 ± 0.64 ^a
蛋氨酸	123.33 ± 1.65	131.30 ± 1.32
必需氨基酸	690.11 ± 2.48	708.53 ± 3.14
非必需氨基酸	1 875.41 ± 3.94 ^a	1 140.44 ± 3.72
总氨基酸	2 565.52 ± 4.12 ^a	1 848.97 ± 4.15

[†] a 代表发酵前后同一种氨基酸测定结果对比显著 ($P < 0.05$), 未标注代表结果不显著。

前后氨基酸评分见表 2。苏氨酸在发酵前后苦荞芽苗汁中评分最低, 为第一限制性氨基酸^[10]。氨基酸评分越接近 1, 说明该食品氨基酸比例越接近 FAO/WHO 推荐模式。苦荞芽苗茶饮料发酵前后大部分氨基酸评分都低于 1, 表明其必需氨基酸构成有一定的提升空间。

2.3 发酵前后苦荞芽苗茶饮料中挥发性风味成分变化

通过对发酵前后苦荞芽苗茶饮料中各挥发性成分提取、分离、鉴定, 求得其相对含量, 结果如表 3、4 所示。共分离鉴定出 8 类 54 种挥发性物质, 包括醛类 (7 种), 醇类 (14 种), 酮类 (9 种), 酯类 (11 种), 酸类 (4 种), 烯类 (2 种), 烷类 (1 种), 杂环类 (3 种)。王灼琛等^[16]对苦荞粉、苦荞壳、苦荞麸皮挥发性成分进行了分析, 苦荞粉含有挥发性化合物成分 44 种, 苦荞壳含有 46 种挥发性物质, 苦荞麸皮含有 20 种挥发性物质。余丽等^[17]从苦荞中分析出了 35 种挥发性成分, 包括酯类、烃类、酮类、醛类和醇类, 以酯类和醛类为主。本试验检测出发酵前苦荞芽苗茶饮料中含有 46 种挥发性物质, 发酵后含有 43 种挥发性物质。

表 2 苦荞芽苗茶饮料发酵前后氨基酸评分对比[†]

Table 2 Comparison of amino acid score in tea beverage of tartary buckwheat sprout before and after fermentation

必需氨基酸	发酵前/ (mg · g ⁻¹)	发酵后/ (mg · g ⁻¹)	FAO/WHO 模式	氨基酸评分	
				发酵前	发酵后
苏氨酸	2.64	0.00	40	0.07	0.00
缬氨酸	20.91	16.55	50	0.42	0.33
蛋氨酸+胱氨酸	131.62	150.70	35	3.76	4.31
异亮氨酸	39.42	48.90	40	0.99	1.22
亮氨酸	24.89	18.09	70	0.36	0.26
苯丙氨酸+酪氨酸	34.18	30.84	60	0.57	0.51
赖氨酸	34.59	39.44	55	0.63	0.72

[†] 氨基酸评分表示 1 g 待测蛋白中该氨基酸占 1 g 标准蛋白中该种氨基酸的比值。

表 3 苦荞芽苗茶饮料发酵前后挥发性成分的 GC-MS 分析结果

Table 3 GC-MS analysis of volatile components in tea beverage of tartary buckwheat sprout before and after fermentation

类别	保留时间/min	化合物	相对含量/%		类别	保留时间/min	化合物	相对含量/%		
			发酵前	发酵后				发酵前	发酵后	
醛	1.615	乙醛	0.023	0.057	酮	19.276	2-壬酮	1.975	1.041	
	2.095	2-甲基-丙醛	0.040	0.064		28.973	2-十一烷酮	0.197	0.410	
	6.138	正己醛	0.325	0.241		35.872	香叶基丙酮	0.861	1.373	
	10.059	庚醛	1.350	0.122		2.491	乙酸乙酯	0.087	0.225	
	14.846	辛醛	1.508	0.364		5.318	2-乙酸仲丁酯	0.131	0.136	
	19.879	壬醛	4.928	1.085		8.956	3-乙酸异戊酯	0.182	2.236	
	24.827	癸醛	3.733	0.465		9.041	2-乙酸异戊酯	—	0.501	
	1.737	乙醇	3.236	12.534		12.019	2-乙酸己酯	0.632	—	
	2.152	丙醇	0.027	0.082		15.308	乙酸己酯	3.781	0.325	
	2.717	2-甲基丙醇	0.192	1.743		16.675	2-乙酸庚酯	22.569	11.163	
醇	4.574	3-甲基丁醇	0.331	1.597	20.209	乙酸庚酯	2.738	—		
	4.668	2-甲基丁醇	—	0.646	21.481	2-乙酸辛酯	1.966	2.713		
	9.126	己醇	3.028	—	25.025	乙酸辛酯	4.447	0.804		
	10.407	2-庚醇	4.275	2.425	26.165	2-乙酸壬酯	—	39.986		
	13.763	庚醇	2.281	—	29.652	乙酸壬酯	2.623	—		
	15.195	2-辛醇	8.149	0.126	49.792	(E)-乙酸金合欢酯	0.175	0.598		
	18.729	辛醇	5.119	—	3.271	乙酸	0.154	1.975		
	20.105	2-壬醇	5.273	10.527	17.912	辛酸	—	0.091		
	23.668	壬醇	5.519	—	20.314	壬酸	0.042	0.036		
	28.540	正癸醇	1.011	—	22.971	癸酸	—	0.943		
酮	29.661	2-十一烷醇	—	0.256	烯	9.776	苯乙烯	—	0.122	
	37.333	十二烷醇	1.189	—		16.024	柠檬烯	0.064	0.158	
	2.313	2,3-丁二酮	0.022	0.021		烷	33.459	正十四烷	—	0.082
	3.415	2-戊酮	0.062	0.087			41.678	十六烷	0.046	—
	5.818	2-己酮	0.034	—		杂环	2.415	2-甲基呋喃	0.022	0.034
	9.597	2-庚酮	0.690	0.143			3.773	2,5-二甲基呋喃	—	0.331
	14.102	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.432	0.594			10.756	2-乙酰基呋喃	—	0.869
	14.290	2-辛酮	2.263	—						

表 4 苦荞芽苗茶饮料发酵前后挥发性物质分析汇总

Table 4 Analysis and summary of volatile components in tea beverage of tartary buckwheat sprout before and after fermentation

种类	发酵前		发酵后	
	数量	含量/%	数量	含量/%
醛	7	11.904	7	2.398
醇	14	39.680	9	29.933
酮	9	6.536	7	3.669
酯	11	39.331	10	58.687
酸	2	0.196	4	3.045
烯	1	0.064	2	0.280
烷	1	0.046	1	0.082
杂环	1	0.022	3	1.233

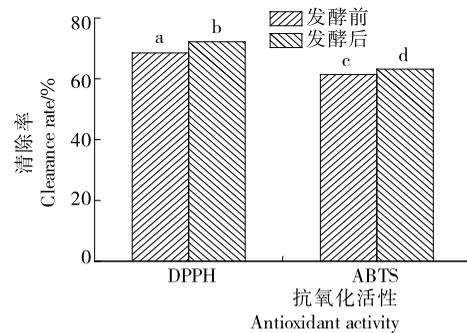
从表 3 可以看出,发酵前所有风味物质中 2-乙酸庚酯含量最高,达到 22.569%,发酵后所有风味物质中 2-乙酸壬酯含量最高,达到 39.986%,可能来源于饮料中添加的稳定剂(黄原胶、羧甲基纤维素钠、海藻酸钠),且发酵过程中发生了一定的化学变化。

从表 4 可以看出,发酵后酯类、酸类、烯类、烷类和杂环类物质均有不同程度升高,而醛类、醇类、酮类物质明显降低。酯类化合物相对含量从 39.331% 升高到 58.687%,它是发酵饮料中一种很重要的挥发性风味物质,具有特殊的水果味和花香味,同时酯类物质的阈值一般较低,对整个体系风味的贡献很大^[18]。发酵前醇类物质为主要挥发性物质,发酵后醇类物质含量从 39.680% 降低至 29.933%,醇类一般具有芳香、花香或水果香,可以结合有机酸形成酯类物质,改善发酵后产品的风味。发酵后乙醇和 2-壬醇含量显著升高,而乙醇具有醇香味,对发酵后产品风味影响较大。醇类物质虽然含量较高,但阈值也较高,对发酵后饮料的香气起到柔和作用^[19]。发酵后酸类物质含量从 0.196% 升高到 3.045%,主要的风味物质是乙酸,是因为乳酸菌代谢会产生辛酸、癸酸等有机酸,有机酸能使饮料口感清爽并带有新鲜的水果香,提升产品的滋味和口感。烷烃阈值较高,对风味的影响不大。而挥发性烯烃具有良好的香气,其中柠檬烯具有类似于柠檬的特异香味^[20]。因此,通过发酵,苦荞芽苗茶饮料中阈值较低的芳香性风味物质含量明显提升,对饮料的风味具有有益的影响。

2.4 发酵对苦荞芽苗茶饮料抗氧化活性的影响

通过 DPPH 和 ABTS 自由基清除率两种测定方法对比发酵前后苦荞芽苗茶饮料的抗氧化活性,结果如图 2 所示。饮料发酵后 DPPH 自由基清除率从 $(68.32 \pm 0.73)\%$ 升高至 $(72.19 \pm 0.52)\%$,ABTS 自由基清除率从 $(61.25 \pm 0.49)\%$ 升高至 $(63.18 \pm 0.65)\%$,均有一定提升。

贾红玲^[21]报道了乳酸菌发酵对全稻芽抗氧化性能的影响,DPPH 和 ABTS 自由基清除率都有显著提升。梁斐等^[22]报道葎草经乳酸菌发酵后,其总黄酮 DPPH 自由基清除率显著高于对照组和自然发酵,对 ABTS 自由基的清除率显著高于自然发酵组。乳酸菌发酵能够提高 DPPH 和 ABTS 自由基清除率,可能有以下 3 种原因:① 发酵过程中苦荞芽苗茶饮料因微生物的代谢活动自身活性物质发生改变,同时代谢出新的活性物质;② 发酵可能造成苦荞芽苗茶饮料中黄酮种类和结构改变,不同种类和结构的黄酮对 DPPH 和 ABTS 自由基清除率差异较大,增加了其抗氧化活性;③ 乳酸菌活菌的存在对其抗氧化活性也有所提高。因此,乳酸菌发酵可以提高苦荞芽苗茶饮料的抗氧化活性。



字母不同代表发酵前后测定结果差异显著($P < 0.05$)

图 2 苦荞芽苗茶饮料发酵前后抗氧化活性对比

Figure 2 Comparison of antioxidant activity in tea beverage of tartary buckwheat sprout before and after fermentation

3 结论

对发酵前后苦荞芽苗茶饮料中营养、风味及抗氧化活性的变化规律进行了研究。试验结果显示,发酵后芦丁含量基本保持不变,总黄酮含量稍微降低,EAA/TAA 达到 38.32%,EAA/NEAA 达到 62.13%,显著高于发酵前,蛋白质更为均衡,但必需氨基酸评分不高。分离鉴定出 8 类 54 种挥发性物质,发酵后阈值较低的芳香性风味物质含量明显提升,对饮料的风味具有有益的影响。发酵后 DPPH 自由基清除率从 $(68.32 \pm 0.73)\%$ 升高至 $(72.19 \pm 0.52)\%$,ABTS 清除率从 $(61.25 \pm 0.49)\%$ 升高至 $(63.18 \pm 0.65)\%$,乳酸菌发酵可以提高苦荞芽苗茶饮料的抗氧化活性。总体来说,乳酸菌发酵可以提高苦荞芽苗茶饮料的营养价值,具有一定的应用前景,但发酵过程会破坏其中的一些有益成分,下一步需要更深层次的研究其作用机理,全面提升产品品质。

参考文献

[1] 赵钢,陕方. 中国苦荞[M]. 北京: 科学出版社, 2009:

- 145-170.
- [2] LEE L S, CHOI E J, KIM C H, et al. Contribution of flavonoids to the antioxidant properties of common and tartary buckwheat[J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 68: 181-186.
- [3] ZHOU Yi-ming, WANG Hong, CUI Lin-lin, et al. Evolution of nutrient ingredients in tartary buckwheat seeds during germination [J]. *Food Chemistry*, 2015, 186: 244-248.
- [4] LYU Chang-jiang, HU Sheng, HUANG Jun, et al. Contribution of the activated catalase to oxidative stress resistance and gamma-aminobutyric acid production in *Lactobacillus brevis*[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2016, 238: 302-310.
- [5] CHO Y H, SHIN S, HONG S M, et al. Production of functional high-protein beverage fermented with lactic acid bacteria isolated from Korean traditional fermented food[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2015, 35(2): 189-196.
- [6] 王振斌, 王晴, 刘加友, 等. 葛根汁发酵前后营养及风味成分变化研究[J]. *中国酿造*, 2016, 35(7): 93-98.
- [7] 李俊, 卢阳, 刘永翔, 等. 乳酸菌发酵对苦荞芽苗饮料品质和营养成分的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(12): 195-199.
- [8] GUO Xu-dan, WU Chun-sen, MA Yu-jie, et al. Comparison of milling fractions of tartary buckwheat for their phenolics and antioxidant properties[J]. *Food Research International*, 2012, 49: 53-59.
- [9] 黄萍, 何兵, 刘艳, 等. 不同来源的苦荞茶中 4 种黄酮的含量测定[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(1): 135-138.
- [10] 陈中爱, 董楠, 陈朝军, 等. 含不同粗粮粉面包的营养、质构特性、风味化合物[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(4): 21-27, 32.
- [11] YANG Xiao-xing, ZHOU Jia-chun, FAN Li-qiang, et al. Antioxidant properties of a vegetable-fruit beverage fermented with two *Lactobacillus plantarum* strains[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2018, 27(6): 1 719-1 726.
- [12] GUO Xu-dan, MA Yu-jie, PARRY J, et al. Phenolics content and antioxidant activity of tartary buckwheat from different locations[J]. *Molecules*, 2011, 16(12): 9 850-9 867.
- [13] SHYU Yung-shi, LU Tzu-chi, LIN Chuan-chuan. Functional analysis of unfermented and fermented citrus peels and physical properties of citrus peel-added doughs for bread making [J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 51(12): 3 803-3 811.
- [14] CHEN Xu, GEUN-EGO Ji. Bioconversion of flavones during fermentation in milk containing scutellaria baicalensis extract by *Lactobacillus brevis*[J]. *J Microbiol. Biotechnol*, 2013, 23(10): 1 422-1 427.
- [15] FAO/WHO. Energy and protein requirements[R]. Geneva: World Health Organization, 1973: 63.
- [16] 王灼琛, 余丽, 程江华, 等. 苦荞粉、苦荞壳及苦荞麸皮挥发性成分分析[J]. *食品科技*, 2014, 39(11): 172-177.
- [17] 余丽, 王灼琛, 程江华, 等. SDE/SPME-GC-MS 分析苦荞的挥发性香气成分[J]. *中国酿造*, 2015, 34(2): 148-152.
- [18] 刘磊, 汪浩, 张名位, 等. 龙眼乳酸菌发酵工艺条件优化及其挥发性风味物质变[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(20): 4 147-4 158.
- [19] 卢晓丹, 张敏. 豆汁的风味物质分析[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(12): 164-172.
- [20] 蔺志颖. 乳酸发酵杏鲍菇酱的加工及其风味物质研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018: 36-43.
- [21] 贾红玲. 全稻芽发酵饮料的研制[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018: 58-59.
- [22] 梁斐, 李元晓, 丁轲, 等. 发酵方式对葎草总黄酮含量及抗氧化活性的影响[J]. *河南科技大学学报: 自然科学版*, 2018, 39(6): 79-83.

(上接第 186 页)

- [20] 孙俊良, 杜寒梅, 吴黎明, 等. 响应面法优化蒸汽爆破技术提取苹果果胶工艺[J]. *食品科学*, 2017, 38(14): 270-275.
- [21] 崔建强, 唐静, 王燕, 等. 响应曲面法优化花生壳中木犀草素的微波提取工艺[J]. *化学与生物工程*, 2017, 34(4): 42-46.
- [22] 张艳. 花生壳中木犀草素的分离纯化及其化学合成[D]. 西安: 西安理工大学, 2010: 15-18.
- [23] 杨剑, 覃梅. 花生壳中木犀草素的提取与含量测定[J]. *应用化工*, 2013, 42(5): 899-900, 920.
- [24] 聂静然. 花生壳中木犀草素的分离提纯及其抑菌性能研究[D]. 南宁: 广西大学, 2008: 17-19.
- [25] 王鑫. 蒸汽爆破预处理技术及其对纤维乙醇生物转化的研究进展[J]. *林产化学与工业*, 2010, 30(4): 119-125.
- [26] 王星敏, 殷钟意, 郑旭煦, 等. 微生物酶解破壁提制葛根黄酮的工艺[J]. *食品科学*, 2011, 32(2): 28-31.
- [27] LIN Ben-guo, CHEN Yong-sheng, MO Hai-zhen, et al. Catalyst steam explosion significantly increases cellular antioxidant and anti-proliferative activities of *Adinandra nitida* leaves[J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 23(6): 423-431.
- [28] 张棋, 易军鹏, 李欣, 等. 蒸汽爆破预处理对粉葛总黄酮及抗氧化性的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(9): 40-44.
- [29] SONG Hong-dong, YANG Rui-jin, ZHAO Wei, et al. Innovative assistant extraction of flavonoids from pine (*Larix olgensis* Henry) needles by high-density steam flash-explosion[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(17): 3 806-3 812.
- [30] 豆婵婵, 宋继赟, 何笑天, 等. 花生壳的红外光谱分析[C]//第十六届全国分子光谱学学术会议论文集. 北京: 中国光学学会光谱专业委员会, 2010: 121-122.