

银耳蓝莓酵素发酵过程中体外抗氧化性能变化及品质的研究

罗泽江,张永生,李琢伟,王凤,张丽,王天一,刘俊梅*
(吉林农业大学 食品科学与工程学院,吉林 长春 130118)

摘要:对银耳蓝莓酵素(tremella blueberry enzymes, TBE)发酵过程中体外抗氧化性能的变化及其理化品质进行研究,从多个体系监测银耳蓝莓酵素发酵过程中抗氧化性能的动态变化。试验结果表明,银耳蓝莓酵素发酵后的总酚含量较发酵前提高了 39.99%;金属离子还原能力、DPPH 自由基清除能力、ABTS⁺自由基清除能力、超氧阴离子自由基清除能力和羟基自由基清除能力与发酵前相比提高了 7.30%、17.21%、15.40%、18.07%和 10.47%;经过皮尔逊相关性分析,自由基清除能力与总酚含量呈显著正相关($P<0.05$)。银耳蓝莓酵素发酵后的蛋白酶、脂肪酶、 α -淀粉酶和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活力分别达到 51.10、5.64、0 U/mL 和 138.75 U/mL。

关键词:银耳蓝莓酵素;抗氧化性能;发酵过程;功效酶;理化品质

Antioxidant Capacity and Quality Changes of Tremella Blueberry Enzymes *in vitro* during Fermentation Process

LUO Ze-jiang, ZHANG Yong-sheng, LI Zhuo-wei, WANG Feng,
ZHANG Li, WANG Tian-yi, LIU Jun-mei*

(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China)

Abstract: The changes of antioxidant properties and physical and chemical properties of tremella blueberry enzymes (TBE) during fermentation were studied. The dynamic changes of antioxidant performance during the fermentation of tremella blueberry enzymes were monitored from multiple systems. The results showed that the total phenolic content of the fermentation of tremella blueberry enzyme was 39.99 % higher than that before fermentation; iron ion reduction ability, DPPH free radical scavenging ability, ABTS⁺ free radical scavenging ability, superoxide anion free radical scavenging ability and hydroxyl radical scavenging The ability increased by 7.30 %, 17.21 %, 15.40 %, 18.07 % and 10.47 % compared with that before fermentation; After Pearson correlation analysis, there was a significant positive correlation between free radical scavenging ability and total phenolic content ($P<0.05$). The activities of protease, lipase, alpha-amylase and superoxide dismutase (SOD) after fermentation of tremella blueberry enzymes reached 51.10, 5.64, 0 U/mL and 138.75 U/mL.

Key words: tremella blueberry enzymes; antioxidant activity; fermentation process; efficacy enzymes; quality analysis

引文格式:

罗泽江,张永生,李琢伟,等. 银耳蓝莓酵素发酵过程中体外抗氧化性能变化及品质的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12):39-45

LUO Zejiang, ZHANG Yongsheng, LI Zhuo-wei, et al. Antioxidant Capacity and Quality Changes of Tremella Blueberry Enzymes *in vitro* during Fermentation Process[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12):39-45

酵素是指利用益生菌发酵,由一种或多种新鲜蔬菜、水果、食用菌、中草药等制备得到的功能性液体或固体,因富含功效酶、维生素、微量元素、有机酸、氨基酸和多酚类物质,从而受到国内外研究人员的重视,具有极大的发展潜力^[1]。

尽管酵素产品越来越被人们所关注,仍不能满足市场需求,新型的功能性酵素产品(以人参、灵芝、食用菌等为原料)逐渐成为研究的热点。随着人民生活水平的提高和膳食结构的改善,食用菌产品已经成为国内外消费者主要食品之一^[2]。以长白山有机银耳、有机蓝莓及植物提取液为主要原料,复合益生菌定植发酵,生产得到银耳蓝莓酵素。

银耳蓝莓酵素(tremella blueberry enzymes, TBE)中的主要原料银耳,又称白木耳,呈雏菊状或鸡冠状,半径3 cm~6 cm,柔软有弹性。银耳所含化学成分较为复杂,古今史著和历代医学家通过临床验证,银耳具有滋养阴虚、滋润肺部、清洁眼睛、缓解咳嗽、滋润肠道、清爽大脑和保护皮肤等效果^[3]。蓝莓,又名欧洲越橘,属于杜鹃花属。蓝莓果实的平均质量为0.5 g~2.5 g。作为一种新的果树,欧美国家首先研究了蓝莓的栽培和深加工^[4]。蓝莓果实具有很强的药用价值和营养保健功能。联合国粮食及农业组织还将蓝莓列为人类5大健康食品之一(苹果、杏、香蕉、黑莓、蓝莓)。蓝莓果实含有丰富的营养成分,具有改善脑力、预防便秘、改善视力、降低血糖水平和增强免疫力等功能。蓝莓果实中还含有丰富的黄酮类和多糖类,花青素,维生素E和氨基酸远远超过其他水果。因此又被赞誉为“黄金浆果”。

酚类物质是银耳蓝莓酵素的一项重要指标,它决定了产品的色泽和风味,而且对产品的各种保健功效也有很大贡献^[5-9]。本试验对不同发酵时期的银耳蓝莓酵素的总酚含量及相关抗氧化指标进行检测分析,并对银耳蓝莓酵素的理化指标及主要功效酶进行分析测定。探讨了银耳蓝莓酵素发酵过程中抗氧化活性动态的变化,评价银耳蓝莓酵素的抗氧化性能及其品质,为进一步研究银耳蓝莓酵素发酵过程的动态变化规律及发酵工艺的改善提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

银耳蓝莓酵素发酵液:吉林华鑫菌业有限公司。

福林酚、没食子酸、邻苯三酚、1,1-二苯基-2-苦苄肼(DPPH)、2,2-联氨基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺

酸)二氨盐(ABTS⁺)、过硫酸钾、三氯乙酸、铁氰化钾、硫酸亚铁、3,5-二硝基水杨酸、维生素A、维生素C、维生素E、2,6-二氯靛酚钠、草酸、1,10-菲绕啉、三氯化铁:北京鼎国生物试剂有限公司。

聚乙烯醇(polyvinyl alcohol vinylalcohol polymer, PVA)、硝基四氮咪唑蓝(nitrotetrazolium blue chloride, NBT)、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(nicotinamide adenine dinucleotide, NADH):美国SGIMA公司。

氢氧化钠、盐酸、福林试剂、碳酸钠、三氯乙酸、乳酸、乳酸钠、硼酸钠、三氯醋酸、干酪素、L-酪氨酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、甲苯、二硝基水杨酸、酒石酸钾钠、柠檬酸、柠檬酸钠、EDTA、Tris(以上试剂均为分析纯):国药化学试剂有限(上海)公司。

1.2 仪器与设备

AUY220型精密电子天平:日本岛津有限公司;3K15高速冷冻离心机:美国SGIMA公司;SY11-Ni型数显恒温水浴锅:北京市长风仪器仪表有限公司;UV-1700紫外可见分光光度计:瑞士TECAN公司;FE20K数显pH计:上海旦鼎国际贸易有限公司;DG-800型旋涡振荡器:北京鼎国昌盛生物技术有限公司;ZSD-1160型恒温光照培养箱:哈尔滨东联电子技术开发有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 总酚含量的测定

将0.5 mL样品溶液8 000 r/min条件下离心10 min后,加入到5 mL蒸馏水中,然后加入3 mL福林酚试剂。混合并静置3 min,加入6 mL 12%碳酸钠溶液,用蒸馏水稀释至25 mL。将数字恒温水浴设定为25℃、2 h,并在760 nm的波长下测量吸光度^[7]。根据标准曲线 $Y=0.1227x+0.0085$ 的线性回归方程,总酚含量表示为没食子酸当量, $R^2=0.9993$ 对总酚含量进行测定。式中: Y 为显色溶液的吸光度; x 为没食子酸标准溶液的浓度(浓度为100 μg/mL)。

1.3.2 抗氧化指标的测定

1.3.2.1 DPPH自由基清除能力

2 mL样品液在8 000 r/min条件下离心10 min后与2 mL的DPPH溶液(将0.1 mol/L溶于95%乙醇中),用涡旋混合器充分混合,反应在室温下在避光放置30 min,并且在反应完成后,在517 nm的波长下测量吸光度^[8-9]。DPPH清除率计算公式如下:

$$\text{清除率}/\%=[1-(A_1-A_0)/A_2]\times 100$$

式中: A_0 为样品液+乙醇的吸光值; A_1 为DPPH+样品液的吸光值; A_2 为DPPH+乙醇的吸光值。

1.3.2.2 ABTS⁺自由基清除能力

用 7 mmol/L ABTS⁺(用 5 mmol/L 的磷酸盐缓冲液, pH7.4 配制), 加入过硫酸钾使得最终浓度为 2.45 mmol/L, 在室温条件下避光放置 12 h~16 h。在使用前用磷酸盐缓冲液稀释 ABTS⁺ 自由基以在 734 nm 的波长下具有 0.7±0.02 的吸光度值。将 100 μL 样品溶液加入到 10 mL 上述稀释溶液中, 并在 25 °C 下反应 10 min。以蒸馏水为参照溶液。在 734 nm 波长处测定吸光度^[10]。ABTS⁺ 自由基清除率计算公式如下:

$$\text{清除率}/\%=[A_0-(A_1-A_2)/A_0]\times 100$$

式中: A_0 为空白对照液的吸光度; A_1 为酵素样品的吸光度; A_2 是样品底液的吸光度。

1.3.2.3 超氧阴离子自由基清除能力

500 μL 样品加入 500 μL 磷酸缓冲液 (0.1 mol/L, pH7.4), 然后加入 1 mL 120 μmol/L PMS(用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液, pH7.4 配制), 1 mL 936 μmol/L NADH(用 0.1 mol/L 的 PBS, pH7.4 配制) 和 1 mL 300 μmol/L NBT(用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液, pH7.4 配制)。在室温条件下, 反应 5 min, 以蒸馏水为参照溶液。在 560 nm 波长处测定吸光度^[11-12]。超氧阴离子自由基清除率计算公式如下:

$$\text{清除率}/\%=[A_0-(A_1-A_2)/A_0]\times 100$$

式中: A_0 为空白对照液的吸光度; A_1 为酵素样品的吸光度; A_2 是样品底液的吸光度。

1.3.2.4 羟基自由基清除能力

将 140 μL 样品加入到 1.4 mL、6 mmol/L 过氧化氢, 然后加入 0.6 mL 20 mmol/L 水杨酸钠和 2 mL 1.5 mmol/L 硫酸亚铁, 37 °C 恒温水浴 1 h。以蒸馏水为参照溶液, 在 562 nm 波长处测定吸光度^[13]。羟基自由基清除率计算公式如下:

$$\text{清除率}/\%=[A_0-(A_1-A_2)/A_0]\times 100$$

式中: A_0 为空白对照液的吸光度; A_1 为酵素样品的吸光度; A_2 是样品底液的吸光度。

1.3.2.5 金属离子还原能力的测定

1 mL 样品液与 2.5 mL 磷酸缓冲液 (0.2 mol/L, pH 6.6), 将 2.5 mL 铁氰化钾均匀混合。然后在 3 000 r/min, 离心 10 min, 并将 2.5 mL 上清液与蒸馏水和 0.5 mL 氯化铁混合。在静置 10 min 后在 700 nm 下测量吸光度^[14]。其中, 吸光度值越大, 金属离子还原能力越强。

1.3.3 理化指标的测定

能量的测定、碳水化合物的测定: 参照 GB/Z 21922-2008《食品安全国家标准 食品营养成分基本术语》进行测定^[15]; 蛋白质的测定: 参照 GB 5009.5-2016

《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》进行测定^[16]; 脂肪的测定: 参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》进行测定^[17]; 维生素 A 的测定: 参照杨志孝等^[18]的紫外分光光度法测定; 维生素 C 的测定: 参照 2,6-二氯酚钠法进行测定^[19]; 维生素 E 的测定: 参照龚经纬等^[20]的紫外分光光度法。

1.3.4 功效酶活力的测定

蛋白酶活力的测定: 参照 GB/T 23527-2009《食品安全国家标准/国内标准 蛋白酶制剂》进行测定^[21]; 脂肪酶活力的测定: 参照 GB/T 23535-2009《食品安全国家标准/国内标准 脂肪酶制剂》进行测定^[22]; α-淀粉酶活力的测定: 参照 GB/T 24401-2009《食品安全国家标准/国内标准 α-淀粉酶制剂》进行测定^[23]; 超氧化物歧化酶活力的测定: 参照邻苯三酚自氧化法进行测定^[24]。

1.3.5 统计分析

试验数据均为 3 次重复试验的平均值, 结果表示为平均值±标准偏差。应用 SPSS24.0 软件进行显著性和相关性分析, 采用 prism 软件作图。

2 结果与分析

2.1 银耳蓝莓酵素发酵过程中总酚含量变化的分析测定

本研究采用福林酚法测定总酚含量, 该反应是在恒温下伴随有磷钨酸和磷钼酸参与的复杂还原反应。吸光度越高, 总酚含量越大^[14]。发酵过程中银耳蓝莓酵素总酚含量变化如图 1 所示。

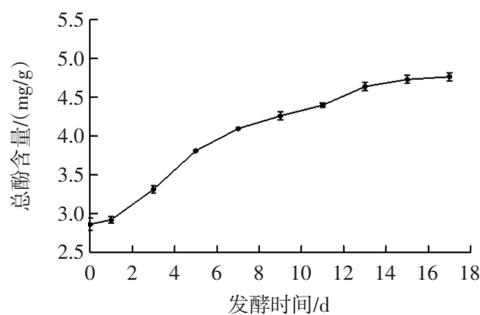


图 1 发酵过程中总酚含量的变化

Fig.1 Changes in total phenolic compounds during fermentation

由图 1 可知, 随着发酵时间的延长, 银耳蓝莓酵素发酵液中总酚含量总体呈现逐渐增加的趋势, 但是在发酵初期(发酵 0~1 d)时总酚含量变化不明显。发酵结束时总酚含量由发酵前的 2.88 mg/g 上升到 4.76 mg/g。发酵前后总酚含量上升了 39.99%。在 TBE 发酵过程中, 由于微生物把复杂的大分子酚类物质转化成小分子酚类物质从而导致总酚含量的增加^[25]。

2.2 银耳蓝莓酵素发酵过程中抗氧化性能变化的分析测定

2.2.1 DPPH 自由基清除能力

DPPH 自由基清除能力广泛应用于评价短时间内的抗氧化活性^[26]。银耳蓝莓酵素在发酵过程中 DPPH 自由基清除能力的变化如图 2 所示。

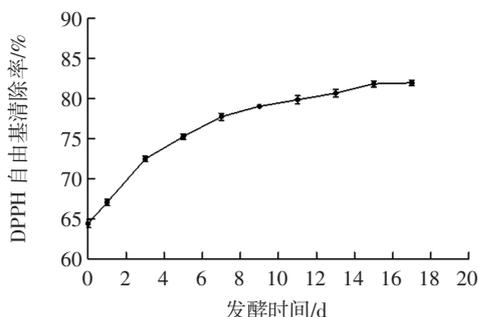


图 2 发酵过程中 DPPH 自由基清除能力的变化

Fig.2 Changes in DPPH scavenging ability during fermentation

由图 2 可知, 银耳蓝莓酵素对 DPPH 自由基清除作用在 1 d~7 d 内由 64.41 % 上升至 77.74 %, 其中发酵前 3 d 增长幅度最为明显, 涨幅为 8.06 %。从发酵第 8 d 开始直至发酵第 17 d, DPPH 自由基清除率缓慢上升, 发酵 15 d 后趋于稳定, 在发酵结束时最高, 清除率达到 81.62 %。发酵前后 DPPH 自由基清除率上升了 17.21 %。由于多酚类物质能很容易地给出一个氢离子, 并通过共振杂化而达到稳定, 最终导致自由基清除能力升高^[27]。

2.2.2 ABTS⁺自由基清除能力

银耳蓝莓酵素发酵过程中 ABTS⁺自由基清除能力的变化如图 3 所示。

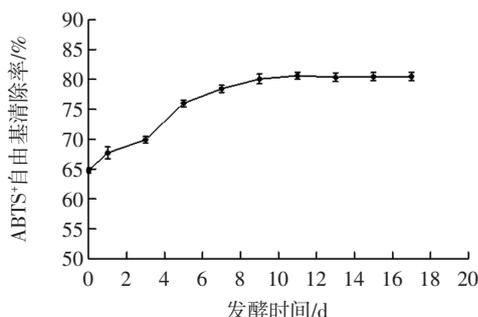


图 3 发酵过程中 ABTS⁺自由基清除能力的变化

Fig.3 Changes in ABTS⁺ radical scavenging ability during fermentation

由图 3 可知, 银耳蓝莓酵素 ABTS⁺自由基清除能力在发酵前 9 d 一直属于增长状态, 这段时间里 ABTS⁺自由基清除率提高了 15.63 %。在第 9 天至第 17 天总体呈现升高的现象。在发酵结束后, ABTS⁺自由

基清除率达到 79.53 %, 与未发酵前相比增加了 15.40 %。ABTS⁺自由基是一种过氧化氢酶的底物^[28], 而有机酸、维生素和酚类物质具有清除 ABTS⁺自由基的能力, 它们的作用取决于分子质量、芳香环的数量和羟基取代基等性质^[29]。

2.2.3 超氧阴离子自由基清除能力

机体内生成的活性氧自由基, 能引发体内脂质过氧化, 导致皮肤到内部器官整个肌体的衰老过程大大加快, 并可诱发皮肤病变、心血管疾病、癌症等, 严重危害人体健康, 超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 将体内的活性氧自由基转化为过氧化氢和氧气并消除它们。超氧阴离子自由基在活性氧物质的形成中起重要作用, 例如过氧化氢, 羟基自由基和单线态氧。这些物质能够诱导脂质, 蛋白质和核酸的氧化损伤^[30]。银耳蓝莓酵素发酵过程中超氧自由基清除能力的变化如图 4 所示。

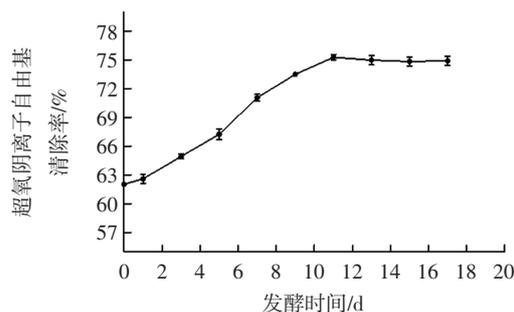


图 4 发酵过程中超氧阴离子自由基清除能力的变化

Fig.4 Changes in superoxide radical scavenging ability during fermentation

由图 4 可知, 银耳蓝莓酵素超氧阴离子自由基的清除率呈现先增加后略微降低再增加的趋势, 其中发酵前 9 d 增长幅度较大, 发酵后比发酵前增加了 18.07 %。在发酵第 11 天时达到最大, 清除率为 74.95 %; 发酵第 17 天稍有下降, 清除率为 74.92 %, 在这个发酵阶段超氧阴离子自由基清除能力总体是趋于稳定的。具有自由羟基的酚类物质和 A 环或 B 环上有多羟基取代或有自由的 3-羟基取代的黄酮化合物都可以呈现出超氧自由基清除能力^[31]。

2.2.4 羟基自由基清除能力

羟基自由基作为生物系统产生的反应性和高反应性自由基, 可对自由基病理学造成高度损害。它的破坏能力几乎存在于每个活细胞中^[32]。银耳蓝莓酵素发酵过程中羟基自由基清除能力的变化如图 5 所示。

由图 5 可知, 银耳蓝莓酵素羟基自由基的清除率在发酵过程中总体呈现增长的趋势。相对其他自由基的清除能力, 在发酵过程中银耳蓝莓酵素羟基自由

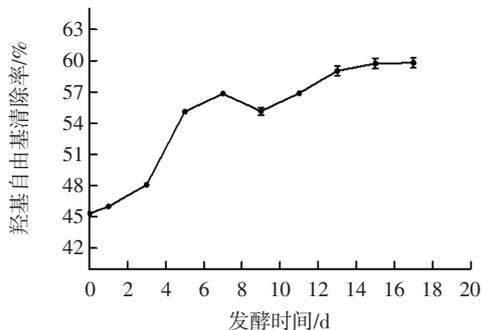


图5 发酵过程中羟基自由基清除能力的变化

Fig.5 Changes in hydroxyl radical scavenging ability during fermentation

的清除能力的增幅相对较小,发酵前羟基自由基清除率为45.34%,发酵后羟基自由基清除率达到59.81%,发酵结束时增加了10.47%。发酵第3天到第5天,增长最为剧烈,清除率增加7.01%。在发酵第5天到第9天经历了先上升又下降的趋势,随后不断上涨,在发酵15 d后较为稳定。

2.2.5 金属离子还原能力

银耳蓝莓酵素在发酵过程中金属离子还原能力变化如图6所示。

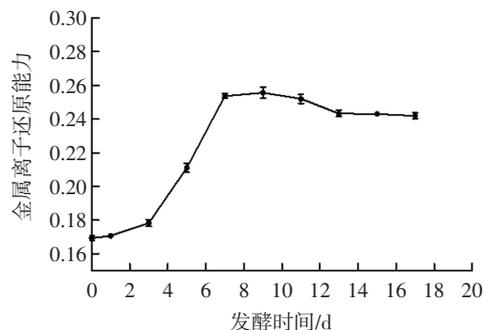


图6 发酵过程中金属离子还原能力的变化

Fig.6 Changes in reducing power ability during fermentation

由图6可知,银耳蓝莓酵素中金属离子还原能力在发酵前7 d大幅度提高,与发酵开始相比上升了8.47%,发酵结束比发酵开始金属离子还原能力上升了7.30%。在发酵第9天达到最高值,随后出现了小幅度的降低。

2.3 银耳蓝莓酵素中总酚和抗氧化性能的相关性分析

对银耳蓝莓酵素发酵过程中的总酚含量与DPPH自由基清除能力、ABTS⁺自由基清除能力、羟基自由基清除能力、超氧阴离子自由基清除能力和金属离子还原能力进行了皮尔逊相关性分析,结果如表1所示。

表1 银耳蓝莓酵素中总酚含量和抗氧化性能的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of total phenol content and antioxidant performance in TBE

项目	总酚	DPPH	ABTS ⁺	羟基自由基	超氧阴离子自由基	还原能力
总酚	1					
DPPH	0.981**	1				
ABTS ⁺	0.782**	0.782**	1			
羟基自由基	0.988**	0.988**	0.733*	1		
超氧阴离子自由基	0.903**	0.903**	0.903**	0.891**	1	
还原能力	0.596	0.596	0.833**	0.584	0.669*	1

注:*表示显著相关($P<0.05$);**表示极显著相关($P<0.01$)。

由表1可知,在银耳蓝莓酵素发酵过程中,总酚含量与DPPH自由基、ABTS⁺自由基、羟基自由基和超氧阴离子自由基清除能力呈极显著正相关($P<0.01$)。但是总酚含量与金属离子还原能力相关性较弱,二者无统计学显著性($P>0.05$)。这些研究结果表明,银耳蓝莓酵素在发酵过程中抗氧化性能的增加与多酚类物质

的转化及代谢有一定关系;同时酚类化合物也是银耳蓝莓酵素中抗氧化性能的主要来源。

2.4 银耳蓝莓酵素理化品质的分析测定

对发酵前后的银耳蓝莓酵素进行相关理化指标的分析结果如表2所示。

由表2可知,银耳蓝莓酵素发酵前的pH值为

表2 银耳蓝莓酵素理化指标的分析测定

Table 2 Analysis of physical and chemical indexes of TBE

理化指标	pH值	总酸/(g/L)	糖度	还原糖/(mg/mL)	维生素A/(IU/g)	维生素C/(μg/mL)	维生素E/(μg/mL)
TBE 发酵前	4.18±0.04	3.02±0.04	18.60±0.25	29.35±0.43	72.40±2.11	21.90±0.93	18.91±1.45
TBE 发酵后	2.91±0.02	7.48±0.08	7.90±0.10	10.94±0.11	150.20±3.78	26.75±1.25	30.43±1.32

4.18、总酸含量为 3.02 g/L、糖度为 18.6 及还原糖含量为 29.351 mg/mL。发酵后的 pH 值为 2.91、总酸含量为 7.48 g/L、糖度为 7.9 及还原糖含量 10.940 mg/mL。银耳蓝莓酵素发酵前后维生素含量也发生了一定的改变。发酵前维生素 A 含量为 72.40 IU/g, 维生素 C、维生素 E 含量分别为 21.90、18.91 $\mu\text{g/mL}$; 发酵后维生素 A 含量为 150.20 IU/g, 维生素 C、维生素 E 含量分别为 26.75、30.43 $\mu\text{g/mL}$ 。由此可知, 发酵对银耳蓝莓酵素中维生素含量有一定的影响, 银耳蓝莓酵素发酵液维生素含量随着发酵时间的推移不断增加, 其中维生素 A 含量增加幅度最大, 增幅为 107.46%。

2.5 银耳蓝莓酵素功效酶的酶活力的分析测定

对发酵前后的银耳蓝莓酵素进行功效酶活力的测定分析结果如表 3 所示。

表 3 银耳蓝莓酵素功效酶活力的分析测定

Table 3 Analysis of enzyme activity of tremella blueberry enzyme

功效酶	蛋白酶/ (U/mL)	脂肪酶/ (U/mL)	α -淀粉酶/ (U/mL)	SOD/ (U/mL)
TBE 发酵前	73.32 \pm 1.69	5.42 \pm 0.37	0.90 \pm 0.02	103.48 \pm 0.91
TBE 发酵后	51.10 \pm 1.15	5.64 \pm 0.18	-	138.75 \pm 0.87

注: -为银耳蓝莓酵素发酵后未检出 α -淀粉酶活力。

由表 3 可知, 银耳蓝莓酵素在发酵前的脂肪酶和 SOD 的酶活力均低于发酵后的含量; 发酵前的蛋白酶和 α -淀粉酶的酶活力均高于发酵后的含量。发酵前蛋白酶、脂肪酶、 α -淀粉酶和 SOD 的酶活力分别为 73.32、5.421、0.897 U/mL 和 103.48 U/mL。发酵后的蛋白酶、脂肪酶和 SOD 的酶活力为 51.10、5.640 U/mL 和 138.75 U/mL。银耳蓝莓酵素中 SOD 的酶活力相对较高, 具有较好的抗衰老及强身健体的效果。测定银耳蓝莓酵素主要功效酶的酶活力, 对于科学合理评价银耳蓝莓酵素的质量指标、开发利用银耳蓝莓酵素产品有重要的指导意义。

3 结论

利用长白山有机银耳和有机蓝莓发酵制备得到的银耳蓝莓酵素产品具有较强的功效酶酶活力, 丰富的营养成分及良好的抗氧化性能。由于蓝莓中含有大量花青素 (anthocyanidin, ANC) 等酚类化合物, 抗氧化性能良好, 因此监测了银耳蓝莓酵素在发酵过程中抗氧化性能的变化。抗氧化性能研究显示, DPPH 自由基清除能力、ABTS⁺ 自由基清除能力、超氧自由基清除能力、羟基自由基清除能力和金属离子还原能力随银耳蓝莓酵素发酵时间的延长均显示出不同程度的增加。

同时, 自由基清除能力与发酵过程中总酚含量呈显著正相关 ($P < 0.05$)。银耳蓝莓酵素发酵前后主要功效酶的酶活力发生了一定的变化, 其中 α -淀粉酶在发酵后并未检出。发酵后银耳蓝莓酵素的 pH 值、糖度、还原糖较发酵前均出现了一定程度的下降。然而, 与发酵前相比, 总酸和维生素含量增加。综上所述, 银耳蓝莓酵素具有营养补给、抗氧化、改善肠道代谢等功效, 发酵能够提高其抗氧化性能。本研究结果为长白山有机银耳、有机蓝莓的多功能开发利用、新型食用酵素产品的研发和生产工艺的改进提供了一定的参考。

参考文献:

- [1] 韩齐, 赵金敏, 高小琴, 于淼, 等. 功能性酵素发展研究现状[J]. 食品工业科技, 2019, 4(1): 337-341
- [2] 潘力. 吉林省黑木耳产业发展问题研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012
- [3] 黎勇, 王晓东, 高敏. 我国银耳的研究历史及现状[J]. 北方园艺, 2014(16): 188-191
- [4] 方仲相, 胡君艳. 蓝莓研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(4): 599-606
- [5] Dussosoy E, Brat P, Bony E, et al. Characterization, anti-oxidative and anti-inflammatory effects of Costa Rican noni juice (*Morinda citrifolia* L.) [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 133 (1): 108-115
- [6] Ali M, Kenganora M, Manjula S N. Health benefits of morinda citrifolia (noni): A review[J]. Pharmacognosy Journal, 2016, 8(4): 321-334
- [7] Yang J, Paulino R, Janke-Stedronsky S, et al. Free-radical-scavenging activity and total phenols of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and powder in processing and storage[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 302-308
- [8] 杨洋, 李晓儿, 李煜彬. 对木瓜酵素中抗氧化物质活性的研究[J]. 食品安全导刊, 2015(8): 78-81
- [9] 董银卯, 何聪芬, 王领, 等. 火龙果酵素生物活性的初步研究[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 192-196
- [10] 蒋增良. 天然微生物酵素发酵机理、代谢过程及生物活性研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012
- [11] 范晓, 严小军, 房国明, 等. 高分子量褐藻多酚抗氧化性质研究[J]. 水生生物学报, 1999, 23(5): 494-499
- [12] 葛瑞宏, 储瑞嵩, 李井泉, 等. 桂圆酵素制备及其抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2015, 40(8): 262-267
- [13] 丁利君, 周圳辉, 林燕如. 芒果中黄酮物质的提取及其抗氧化作用研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 77-82
- [14] 蒋增良, 毛建卫, 黄俊, 等. 蓝莓酵素在天然发酵过程中抗氧化性能的变化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 194-197
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 食品安全国家标准 食品营养成分基本术语: GB/Z 21922-2008[S]. 北京: 中国标准化出版社, 2008
- [16] 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. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S].北京:中国标准化出版社,2016
- [17] 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. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S].北京:中国标准化出版社,2016
- [18] 杨志孝,李桂新,邓文,等.紫外分光光度法直接测定 AD 钙盐中维生素 A 的含量[J].理化检验(化学分册),2006,42(4): 267-268
- [19] 李书静,李可,姚新建,等.2,6-二氯酚钠法测定果汁饮料中的维生素 C[J].光谱实验室,2011,28(5): 2391-2394
- [20] 龚经纬,李平,乔志俭,等.紫外分光光度法测定复方维生素 E 霜中维生素 E 的含量[J].兰州医学院学报,1994,20(2): 87-88
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.蛋白酶制剂:GB/T 23527-2009[S].北京:中国标准化出版社,2009
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.脂肪酶制剂:GB/T 23535-2009[S].北京:中国标准化出版社,2009
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会.α-淀粉酶制剂:GB/T 24401-2009[S].北京:中国标准化出版社,2009
- [24] 李巨秀,王柏玉,福林.酚比色法测定桑葚中总多酚[J].食品科学, 2009,30(18): 292-295
- [25] Chu S C, Chen C. Effects of origins and fermentation time on the antioxidant activities of kombucha[J]. Food Chemistry, 2006, 98(3): 502-507
- [26] Siriwardhana S S K W, Shahidi F. Antiradical activity of extracts of almond and its by-products[J]. J Amer Oil Chem Soc, 2006, 79(9): 903-908
- [27] Shahidi F, Alasalvar C, Liyana-Pathirana C M. Antioxidant phytochemicals in hazelnut kernel (corylus avellana) and hazelnut byproducts[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(4): 1212-1220
- [28] Hagerman A E, Riedel K M, Jones G A, et al. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(5): 1887-1892
- [29] Erel O. A novel automated direct measurement method for total antioxidant capacity using a new generation, more stable ABTS radical cation[J]. Clinical Biochemistry, 2004, 37(4): 277-285
- [30] Lacan D, Baccou J C. High levels of antioxidant enzymes correlate with delayed senescence in nonnetted muskmelon fruits[J]. Planta, 1998, 204(3): 377-382
- [31] Prasad K N, Yang B, Dong X H, et al. Flavonoid contents and antioxidant activities from Cinnamomum species[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4): 627-632
- [32] Hochstein P, Atallah A S. The nature of oxidants and antioxidant systems in the inhibition of mutation and cancer[J]. Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 1988, 202(2): 363-375

收稿日期:2018-10-12

欢迎订阅 2019 年《食品研究与开发》

《食品研究与开发》是由天津市食品研究所有限公司和天津市食品工业生产力促进中心主办,国内外公开发行的食品专业科技期刊,1980年创刊,半月刊,采用国际流行开本大16开。其专业突出,内容丰富,印刷精美,是一本既有基础理论研究,又包括实用技术的刊物。本刊已被“万方数据库”、“中文科技期刊数据库”、《乌利希期刊指南》、美国《化学文摘》、英国国际农业与生物科学研究中心(CABI)、英国《食品科技文摘》(FSTA)等知名媒体收录,并被列入“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、RCCSE中国核心学术期刊(A)。主要栏目有:基础研究、应用技术、检测分析、生物工程、专题论述、食品机械等。

本刊国内统一刊号 CN 12-1231/TS; 国际刊号 ISSN 1005-6521; 邮发代号:6-197。全国各地邮局及本编辑部均可订阅。从本编辑部订阅全年刊物享八折优惠。2019年定价:30元/册,全年720元。

本编辑部常年办理邮购,订阅办法如下:

(1) 邮局汇款。地址:天津市静海县静海经济开发区南区科技路9号;收款人:《食品研究与开发》编辑部;邮政编码:301600。

(2) 银行汇款。开户银行:工商银行静海支行

账号:0302095119300204171;单位:天津市食品研究所有限公司。

《食品研究与开发》编辑部

www.tjfrad.com.cn

E-mail:tjfood@vip.163.com

电话(传真):022-59525671