

吴 寒, 李春阳, 柴 智, 等. 乳酸菌发酵对糯性黑色元麦生化成分及体外抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(2): 438-443.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.02.031

乳酸菌发酵对糯性黑色元麦生化成分及体外抗氧化能力的影响

吴 寒¹, 李春阳¹, 柴 智¹, 周剑忠¹, 张明生²

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2. 江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224002)

摘要: 为研究乳酸菌发酵对糯性黑色元麦生化成分及体外抗氧化能力的影响, 分别采用平板计数法、十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳技术 (SDS-PAGE) 及 ORAC 法 (Oxygen radical absorbance capacity) 对乳酸菌生长情况、元麦蛋白质水解情况及体外总抗氧化能力进行测定。结果表明: 发酵 36 h 后, 元麦 pH 值下降至 3.84 ± 0.04 , 乳酸菌活菌数显著增加, 达到 3.49×10^9 CFU/g; 元麦蛋白质明显水解, 可溶性蛋白质含量显著减少, 大分子蛋白质降解率为 9.56%~31.10%, 小分子蛋白质的最大生成率达 22.26%。总酚含量显著增加, 由 (4.87 ± 0.10) mg/g 增至 (5.61 ± 0.02) mg/g; 植酸含量显著减少, 由 (3.16 ± 0.03) mg/g 降低至 (2.17 ± 0.11) mg/g。DPPH 自由基清除能力和铁离子还原能力均显著提高, 总抗氧化能力由 (386.39 ± 21.13) $\mu\text{mol}/\text{ml}$ 增加至 (463.92 ± 23.61) $\mu\text{mol}/\text{ml}$ 。

关键词: 乳酸菌; 糯性黑色元麦; 生化成分; 体外抗氧化能力

中图分类号: TS213.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)02-0438-06

Influence of *Lactobacillus* fermentation on biochemical components and *in vitro* antioxidant capacities of waxy black hulless barley

WU Han¹, LI Chun-yang¹, CHAI Zhi¹, ZHOU Jian-zhong¹, ZHANG Ming-sheng²

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224002, China)

Abstract: In this paper, the response of biochemical components and *in vitro* antioxidant capacities of waxy black hulless barley to lactobacillus fermentation was studied. Lactic acid bacteria growth, the proteolysis of barley and total antioxidant capacities were investigated by plate count method, sodium dodecyl sulfate polyacrylamide-gel electrophoresis (SDS-PAGE) and oxygen radical absorbance capacity (ORAC), respectively. Results showed that, 36 h after the fermentation, pH value decreased rapidly to 3.84 ± 0.04 , and the viable counting number of lactobacillus increased to 3.49×10^9 CFU/g. Owing to the remarkable proteolysis of barley, soluble protein content was reduced by a large margin. High-molecular-weight barley protein were significantly hydrolyzed by 9.56%~31.10% and the maximum degradation rate of low-molecular-weight protein was 22.26%. Total phenolic content was also determined, with a value increased from (4.87 ± 0.10) mg/g to (5.61 ± 0.02) mg/g. Phytic acid content was reduced from (3.16 ± 0.03) mg/g to (2.17 ± 0.11) mg/g, due to enzymatic hydrolysis. Moreover, fermented barley showed higher DPPH free radical scavenging activity and ferric reducing antioxidant power, and its total antioxidant capacity was increased from (386.39 ± 21.13)

收稿日期: 2016-12-26

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31601435); 江苏省自然科学基金面上项目 (BK20141386); 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(14)2120]

作者简介: 吴 寒 (1989-), 女, 江苏淮安人, 硕士, 研究实习员, 主要从事营养与功能食品研究。 (E-mail) hanwu12065@163.com

通讯作者: 李春阳, (E-mail) lichunyang968@126.com

(386.39 ± 21.13) $\mu\text{mol}/\text{ml}$ 增加至 (463.92 ± 23.61) $\mu\text{mol}/\text{ml}$ 。

$\mu\text{mol/ml}$ to $(463.92 \pm 23.61) \mu\text{mol/ml}$.

Key words: lactobacillus; waxy black hulless barley; biochemical component; *in vitro* antioxidant capacity

元麦为裸大麦,也称为青稞。在古代,人们就认识到大麦的特殊食用价值和药用价值。由于没有颖壳包裹,元麦不仅容易加工,而且加工过程中养分损失小。江苏沿海地区农业科学研究所培育的糯性黑色元麦^[1]赋予元麦糯的特性,可以增加其在人体味蕾中的脂肪感觉,改善大麦口感,使加工出来的食品口感更脆,适用于休闲食品开发。此外,该新品种元麦淀粉持水能力较高,凝沉、老化速度较慢,便于冷藏和速冻,能够有效延长大麦制品的货架期^[2]。

糯性黑色元麦含有较多的原花青素。原花青素可以清除自由基,稳定细胞膜和抗氧化酶活性,具有抗氧化、抗癌、抗炎症、抗过敏、预防心血管疾病的功能。此外,元麦中 β -葡聚糖含量还高于小麦和燕麦。 β -葡聚糖能够有效增加动物肠内壁黏度,阻碍单糖等养分吸收,降低血糖,减少体内总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇的含量^[3,4]。乳酸菌是公认的、安全的(Generally regarded as safe, GRAS)微生物,可以有效改善肠道微生态环境,提高机体免疫力。将乳酸菌用于元麦产品开发,对于元麦潜在功能的发挥和口感调节具有明显作用。

目前,国内外对元麦的研究相对较少,大多集中在品种选育、种植、淀粉特性等方面,对元麦中 β -葡聚糖、原花青素、酚类物质等生物活性成分的关注十分欠缺。元麦是中国藏族人民的主要粮食,在沿海地区也有种植元麦的习惯,因此发掘新的元麦加工工艺,开发以元麦为主的新型功能性食品将具有重要意义。为此,在之前对燕麦发酵产品甜醅加工工艺及营养成分、蛋白质变化研究^[5]的基础上,本研究对糯性黑色元麦新品种的生化成分进行分析,并研究乳酸菌发酵对元麦生化成分及体外抗氧化能力的影响,为未来元麦食品开发提供新的方向。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

植物乳杆菌 SR4-1,由江苏省农业科学院农产品加工研究所食品生物工程研究室保存。

糯性黑色元麦,由江苏沿海地区农业科学研究所提供;直链淀粉、支链淀粉、原花青素、1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH)为分析纯,购于北京 Solarbio 公

司;没食子酸为分析纯,购于北京百灵威科技公司;牛血清白蛋白为分析纯,购于上海源叶生物公司;Protein Ruler(相对分子质量 $1.5 \times 10^4 \sim 1.7 \times 10^5$)购于上海力敏实业公司; β -葡聚糖检测试剂盒购于爱尔兰 Megazyme 公司;水溶性维生素 E(Trolox)为分析纯,购于东京化成工业株式会社。

1.2 仪器与设备

Kjeltec TM2300 型全自动凯氏定氮仪(丹麦 Foss 公司产品),HPX-9162 MB 型数显电热培养箱(上海博迅公司产品),Powerdry LL3000 型冷冻干燥机(美国 Thermo 公司产品),H1650-W 型高速离心机(长沙湘仪公司产品),PHS-3C 型 pH 计(北京恒奥德公司产品),UV 5500 型紫外可见分光光度计(上海 Metash 公司产品),Mini-Protein 型电泳仪(美国 Bio-Rad 公司产品),GDS-8000 型凝胶成像分析系统(美国 UVP 公司产品),TriStar LB941 多功能酶标仪(德国 Berthold 公司产品)。

1.3 发酵工艺

精选元麦洗净、烘干,粉碎过 60 目筛。按照料液比 1:5(质量:体积)加水混匀,121 °C 灭菌 20 min。接种 3%(体积分数)的植物乳杆菌 SR4-1,37 °C 发酵 36 h。冷冻干燥 0 h 和 36 h 发酵产物,粉碎。

1.4 生化指标测定

水分含量:105 °C 恒重法测定,参照 GB 5497-85^[6]。粗蛋白质含量:凯氏定氮法测定,参照 GB/T 5511-2008^[7]。粗脂肪含量:索氏脂肪抽提法测定,参照 GB 2906-82^[8]。灰分含量:灼烧重量法测定,参照 GB/T 22510-2008^[9]。淀粉含量:参照 GB/T 5514-2008^[10]测定。直链淀粉含量:参照 GB/T 15683-2008^[11]测定。pH 值:pH 计直接测定法^[10]测定。可溶性蛋白质含量:采用考马斯亮蓝法^[12]测定。

1.5 营养及抗营养成分测定

总酚含量:采用 Folin-Ciocalteu 法^[13]测定。 β -葡聚糖含量:采用 Megazyme β -葡聚糖检测试剂盒测定。原花青素含量:采用盐酸-香草醛法^[14]测定。植酸含量:采用三氯化铁滴定法^[15]测定。

1.6 乳酸菌活菌计数

采用平板计数法,参照 SN/T 1941.1-2007^[16]。

1.7 十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS-PAGE)

参照文献[17],准确称取 150 mg 样品冻干粉,加入 1 ml 0.1 mol/L Tris-HCl 缓冲液 (pH 8.8),37℃摇床中提取 1 h,离心 (12 000 r/min, 20 min, 4℃) 取上清。将蛋白质提取液与 2×上样缓冲液 1:1 (体积比) 混匀,沸水浴保温 3~5 min,取出待用。分离胶和浓缩胶的体积分数分别为 15% 和 4%,样品上样量为 20 μl。

1.8 元麦多酚体外抗氧化活性测定

参照方法 1.5 中总酚提取法提取元麦多酚。1,1-二苯基苦基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基清除活性测定方法参照文献[18],铁离子还原能力 (FRAP) 测定方法参照文献[19],氧化自由基吸收能力 (ORAC) 测定方法参照文献[20]。

1.9 数据处理与分析

所有试验均进行 3 次重复。应用 SPSS 17.0 软件对测定结果进行显著性和相关性分析,采用 Origin 8.5 软件作图,运用 Quantity One 4.62 软件分析 SDS-PAGE 电泳图。

2 结果与分析

2.1 糯性黑色元麦的主要成分

理化指标测定结果显示,糯性黑色元麦的含水量为 10.50%,蛋白质含量为 14.74%,脂肪含量为 2.92%,灰分含量为 0.78%,淀粉含量为 74.15% (其中直链淀粉和支链淀粉分别占淀粉总量的 8.46% 和 91.54%)。可以看出,该品种蛋白质含量与稻谷、玉米、小麦等谷物相比具有明显优势^[21]。据报道,直链淀粉在总淀粉中的比例≤10% 的裸大麦为糯性裸大麦 (Waxy hulless barley)^[2]。糯性大麦是由于颗粒结合型淀粉合酶 (GBSS) 基因发生隐性突变而产生的新品种,当糯性基因型个体在品种内的比例≥20% 时,大麦籽粒即表现出糯性和优良的蒸煮品质与食用口味^[22]。

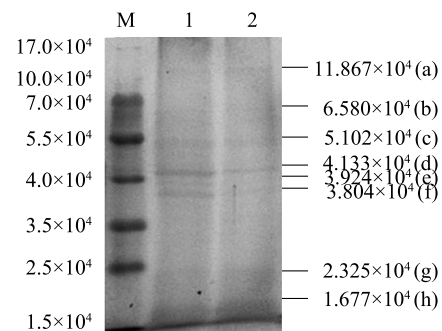
2.2 乳酸菌对糯性黑色元麦的发酵能力

发酵 36 h 的糯性黑色元麦 pH 值由发酵前的 6.78±0.08 下降至 3.84±0.04 ($P<0.01$),乳酸菌活菌数显著增加 ($P<0.01$),达到 3.49×10^9 CFU/g,说明乳酸菌在元麦基质中能够大量繁殖,生长状况良好。pH 值的变化与乳酸菌繁殖和代谢产物的积累密切相

关,是微生物在特定环境下代谢活动的综合指标^[23]。可溶性蛋白质含量在发酵 36 h 后减少至 (18.33 ± 0.62) mg/g ($P<0.05$)。Rui 等^[24]报道,海军豆中可溶性蛋白质含量经不同种类的乳酸菌发酵后均显著降低。这是由于一方面乳酸菌的细胞壁结合蛋白酶 (CEP) 对蛋白质有一定的降解作用,使部分可溶性蛋白质分解为分子量较小的多肽或氨基酸^[25];另一方面微生物生长繁殖过程中消耗了一定量的氮源,使易被吸收利用的可溶性蛋白质明显减少。

2.3 乳酸菌发酵对糯性黑色元麦蛋白质的水解作用

对乳酸菌发酵前后糯性黑色元麦蛋白质进行 SDS-PAGE 电泳分析。由图 1 可知,乳酸菌发酵使元麦蛋白质条带分布发生改变,大分子蛋白质减少,小分子蛋白质增加。发酵 0 h 时,蛋白质主要条带包括 c (5.102×10^4)、d (4.133×10^4)、e (3.924×10^4)、f (3.804×10^4)、g (2.325×10^4) 和 h (1.677×10^4);发酵至 36 h 时, $3.5\times10^4\sim1.7\times10^5$ 范围内的条带明显变浅, $1.5\times10^4\sim2.5\times10^4$ 的条带有所加深,主要条带有 4 条,分别为 c (5.102×10^4)、d (4.133×10^4)、g (2.325×10^4) 和 h (1.677×10^4)。根据 Aguirre 等的报道^[26],植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*)、瑞士乳杆菌 (*Lactobacillus helveticus*) 和发酵乳杆菌 (*Lactobacillus fermentum*) 等 7 种乳酸菌对大豆 β-伴大豆球蛋白的 α、α' 和 β 亚基有明显的降解作用,说明乳酸菌分泌的蛋白酶、肽酶能够特异性水解大豆蛋白质,促进大豆蛋白质在人体内的消化吸收和利用。本研究证实乳酸菌代谢产生的蛋白酶对糯性黑色元麦蛋白质也有一定的水解作用,这有助于提高元麦蛋白质的营养价值。



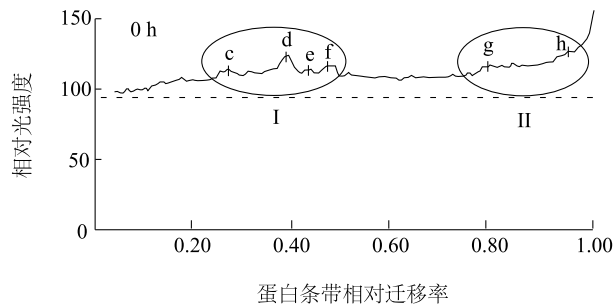
M: Marker; 1: 发酵 0 h; 2: 发酵 36 h。

图 1 糯性黑色元麦发酵前后蛋白质的 SDS-PAGE 电泳图

Fig.1 SDS-PAGE patterns of waxy black hulless barley protein before and after fermentation

运用 Quantity One 4.62 软件分析 SDS-PAGE 电泳图(图 1),将发酵至 36 h 的蛋白质条带灰度值与发酵前进行比较,计算不同分子量蛋白质条带的变化,即元麦蛋白质的水解程度。结果(图 2)表明,发酵 0 h 时 c、d、e 和 f 条带的光密度主要集中在区域 I,明显强于发酵 36 h 对应条带的光密度值,蛋白质的降解程度依次为 11.86%、31.10%、13.65% 和

9.56%。区域 II 蛋白质分子量较小,主要包括条带 g 和 h,发酵 36 h 的光密度值较 0 h 有所上升,说明乳酸菌发酵使小分子蛋白质逐渐增加,生成率分别为 2.46% 和 22.26%。Wu 等^[27] 研究报道,绿豆乳经植物乳杆菌发酵后,蛋白质的降解程度在 49% 至 64% 之间,分子量为 4.7×10^4 的绿豆 8S 球蛋白亚基的降解率达到 52%。



c、d、e、f、g 和 h 条带蛋白质相对分子质量见图 1。

图 2 糯性黑色元麦发酵前后蛋白质条带的光强度分布图

Fig.2 Light intensity of waxy black hulless barley protein bands before and after fermentation

2.4 乳酸菌发酵对糯性黑色元麦营养及抗营养成分的影响

糯性黑色元麦发酵后总酚、 β -葡聚糖、原花青素和植酸含量发生显著变化(表 1)。总酚含量在发酵之后显著增加到 (5.61 ± 0.02) mg/g ($P < 0.01$),与 Bartolome 等的报道^[28] 相符。这是由于酚类化合物中原本与酚羟基、蛋白质和糖类等结合形成的结合酚,在微生物作用下被释放出来,变为游离态的单酚。 β -葡聚糖含量由发酵 0 h 的 (4.86 ± 0.03) mg/g 减少至 (4.02 ± 0.01) mg/g。发酵 36 h 时,原花青素含量较发酵之前显著上升 ($P < 0.05$),达到 (4.28 ± 0.01) mg/g。

植酸是元麦的抗营养物质之一,能与矿物质离子、蛋白质结合形成难溶的络合物,影响元麦中营养物质的吸收。乳酸菌发酵后,糯性黑色元麦的植酸含量从 (3.16 ± 0.03) mg/g 显著降低 ($P < 0.01$) 至 (2.17 ± 0.11) mg/g,平均降解率达 31.33%。这与孙林等^[29] 对菜籽粕的研究结果相一致,说明发酵后元麦的抗营养成分有所减少,一定程度上改善了元麦不易消化等问题,提高了元麦的营养和食用价值。

2.5 乳酸菌发酵对元麦多酚体外抗氧化水平的影响

随着多酚浓度的提高,DPPH 自由基的清除效率显著增加(图 3)。发酵 36 h 的元麦多酚提取液

DPPH 自由基清除率均高于发酵 0 h 的;当浓度当量增加至 0.50 时,发酵 0 h 和 36 h 的元麦多酚提取液 DPPH 自由基清除率基本相同,达到 $93.30\% \pm 1.12\%$ 左右。该结果与 Singh 等的报道^[30] 一致。说明发酵之后元麦总酚含量增加,对提高元麦 DPPH 自由基清除能力有明显提升作用。

表 1 糯性黑色元麦发酵前后营养和抗营养成分的变化

Table 1 Changes of nutrition and anti-nutrition compositions of waxy black hulless barley before and after fermentation

发酵时间 (h)	营养成分含量(mg/g)			抗营养成分 (植酸)含量 (mg/g)
	总酚	β -葡聚糖	原花青素	
0	4.87 ± 0.10	4.86 ± 0.03	3.58 ± 0.09	3.16 ± 0.03
36	$5.61 \pm 0.02^{**}$	$4.02 \pm 0.01^*$	$4.28 \pm 0.01^*$	$2.17 \pm 0.11^{**}$

*、** 分别表示与发酵前(发酵 0 h)相比差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$)。

随着多酚浓度的增加,其铁离子还原能力显著增强(图 4)。发酵 36 h 后,元麦多酚在不同浓度下的铁离子还原能力均高于发酵前,表现出较强的浓度依赖关系;当浓度当量增加至 0.50 时,发酵 0 h 和 36 h 的元麦多酚铁离子还原能力分别为 (48.50 ± 1.20) $\mu\text{mol/L}$ 和 (65.25 ± 2.30) $\mu\text{mol/L}$ (FeSO_4 当量)。由此可见,元麦铁离子还原能力的提高与发酵过程中总酚含量的增加有一定关系。

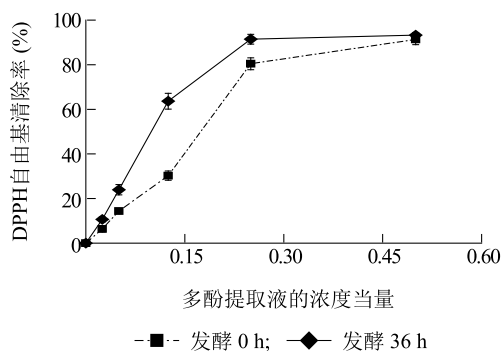


图3 糯性黑色元麦多酚在不同浓度当量下的 DPPH 自由基清除能力

Fig.3 DPPH radical scavenging capacity of polyphenols isolated from waxy black hulless barley

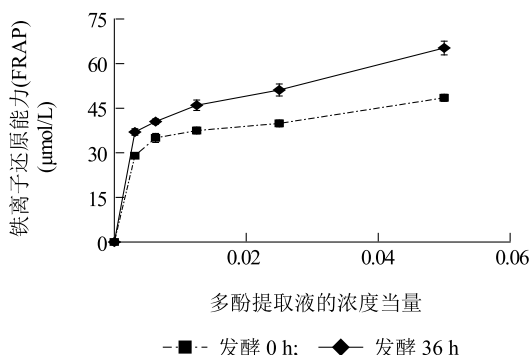


图4 糯性黑色元麦多酚在不同浓度当量下的铁离子还原能力 (FeSO₄当量)

Fig.4 Ferric reducing antioxidant power (FRAP) of polyphenols isolated from waxy black hulless barley

糯性黑色元麦多酚氧化自由基吸收能力 (ORAC) 测定结果表明,发酵 36 h 后元麦总酚的 ORAC 值为 $(463.92 \pm 23.61) \mu\text{mol}/\text{ml}$,显著高于发酵 0 h 的 ORAC 值 $(386.39 \pm 21.13) \mu\text{mol}/\text{ml}$ ($P < 0.05$),说明乳酸菌发酵使元麦的总抗氧化能力显著提高。元麦中酚类物质的抗氧化作用可能体现在以下 2 个方面:一是酚羟基作为供体,释放出氢离子与环境中的自由基结合,生成相对稳定的苯氧自由基,中断自由基反应链;二是酚羟基通过氧化还原反应降低环境中氧含量,从而抑制氧化反应^[31]。

3 结论

本研究对糯性黑色元麦的基本生化成分进行了测定,分析了糯性黑色元麦在乳酸菌发酵后蛋白质分子量、营养成分及体外抗氧化能力的变化。糯性

黑色元麦经乳酸菌发酵后,pH 值明显降低,这可以在一定程度上延长糯性黑色元麦产品贮藏期,改善元麦的口感。SDS-PAGE 分析结果表明,糯性黑色元麦发酵之后大分子蛋白质明显减少,小分子蛋白质有所增加。说明乳酸菌肽酶、蛋白酶能在一定程度上水解糯性黑色元麦蛋白质,提高蛋白质的消化吸收利用率。发酵后糯性黑色元麦总酚和原花青素含量明显增加,植酸含量大幅减少。发酵后糯性黑色元麦还具有更高的 DPPH 自由基清除能力、铁离子还原能力和总抗氧化能力。因此,乳酸菌发酵可促进糯性黑色元麦蛋白质降解,提高糯性黑色元麦的营养价值及抗氧化能力,这为今后开发以糯性黑色元麦为主的高附加值、高活性产品提供了新的思路。

参考文献:

- [1] 张明生,杨力,张志奇,等. 糯性黑色元麦的开发应用[J]. 大麦与谷类科学, 2014(3): 9-11.
- [2] 陈晓静,彦伟,陈和,等. 食用糯性裸大麦研究进展[J]. 大麦与谷类科学, 2011(3): 17-19.
- [3] BEHALL K M, SCHOLFIELD D J, HALLFRISCH J. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2004, 80(5): 1185-1193.
- [4] OTHMAN R A, MOGHADASIAN M H, JONES P J H. Cholesterol-lowering effects of oats β -glucan[J]. Nutrition Reviews, 2011, 69(6): 299-309.
- [5] 吴寒,肖愈,李伟,等. 燕麦甜醅发酵过程中生化成分的动态变化[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 114-118.
- [6] 中国国家标准化管理委员会. GB 5497-1985 粮食、油料检验水分测定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1985.
- [7] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5511-2008 谷物和豆类氮含量测定和粗蛋白质含量计算凯氏法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 中国国家标准化管理委员会. GB 2906-1982 谷类、油料作物种子粗脂肪测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1982.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 22510-2008 谷物、豆类及副产品 灰分含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [10] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5514-2008 粮油检验粮食、油料中淀粉含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 15683-2008 大米直链淀粉含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [12] 张水华. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004.
- [13] PETERSON D M, EMMONS C L, HIBBS A H. Phenolic antioxidants and antioxidant activity in pearling fractions of oat groats[J]. Journal of Cereal Science, 2001, 33(1): 97-103.
- [14] 李绮丽,吴卫国,彭芳刚,等. 莲子皮原花青素测定方法的研究

- [J]. 现代食品科技, 2012, 28(2): 241-245.
- [15] 王国蓉, 万文贵, 王 丽, 等. 三氯化铁滴定法测定植酸含量方法的优化及改进研究[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 188-190.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局. SN/T 1941.1-2007 进出口食品中乳酸菌检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [17] NIKOLIC L, DORDEVIC V, TORBICA A, et al. Legumes seed storage proteins characterization by SDS-PAGE and Lab-on-a-chip electrophoresis[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2012, 28(2): 75-80.
- [18] FAGERLUND A, SUNNERHEIM K, DIMBERG L H. Radical-scavenging and antioxidant activity of avenanthramides[J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 550-556.
- [19] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of 'antioxidant power': the FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [20] KEVERS C, SIPEL A, PINCEMAIL J, et al. Antioxidant capacity of hydrophilic food matrices: optimization and validation of ORAC assay[J]. Food Analytical Methods, 2014, 7(2): 409-416.
- [21] 刘新红, 党 斌, 吴昆仑, 等. 淀粉和蛋白质组成对裸大麦面条食用品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 42(5): 205-209.
- [22] 朱彩梅, 张 京. 中国糯大麦品种资源及地理分布研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4244-4249.
- [23] 刘振民, 王荫榆. 乳酸菌产酸特性研究[J]. 乳业科学与技术, 2010, 143(4): 169-172.
- [24] RUI X, WEN D L, LI W, et al. Enrichment of ACE inhibitory peptides in navy bean (*Phaseolus vulgaris*) using lactic acid bacteria[J]. Food & Function, 2014, 6(2): 622-629.
- [25] GRIFFITHS M W, TELLEZ A M. *Lactobacillus helveticus*: the proteolytic system[J]. Frontiers in Microbiology, 2013, 4: 1-9.
- [26] AGUIRRE L, GARRO M S, GIORI G S. Enzymatic hydrolysis of soybean protein using lactic acid bacteria[J]. Food Chemistry, 2008, 111(4): 976-982.
- [27] WU H, RUI X, LI W, et al. Mung bean (*Vigna radiata*) as probiotic food through fermentation with *Lactobacillus Plantarum* B1-6 [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63: 445-451.
- [28] BARTOLOME B, GOMEZ-CORDOVES C. Barley spent grain: release of hydroxycinnamic acids (ferulic and *p*-coumaric acids) by commercial enzyme preparations[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79(3): 435-439.
- [29] 孙 林, 李吕木, 张邦辉, 等. 多菌种固态发酵去除菜籽粕中的植酸[J]. 中国油脂, 2008, 33(8): 60-63.
- [30] SINGH H B, SINGH B N, SINGH S P, et al. Solid-state cultivation of *Trichoderma harzianum* NBRI-1055 for modulating natural antioxidants in soybean seed matrix[J]. Bioresource Technology, 2010, 101: 6444-6453.
- [31] HONG C Y E, WANG C P, HUANG S S U O, et al. The inhibitory effect of tannins on lipid peroxidation of rat heart mitochondria [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 1995, 47(2): 138-142.

(责任编辑: 张震林)