

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.07.002

不同蛋白含量大豆籽粒发酵纳豆的 品质差异及相关性分析

Quality differences and correlation analysis of natto fermented from soybean seeds with different protein content

林咏珊^{1,2} 高向阳^{1,2} 程 甲^{1,2} 曾 健^{1,2}

LIN Yong-shan^{1,2} GAO Xiang-yang^{1,2} CHENG Jia^{1,2} ZENG Jian^{1,2}

陈睿志^{1,2} 刘昱龙³ 杨存义³

CHEN Rui-zhi^{1,2} LIU Yu-long³ YANG Cun-yi³

(1. 华南农业大学食品学院广东省功能食品活性物重点实验室, 广东 广州 510642;

2. 岭南现代农业科学与技术广东省实验室, 广东 广州 510642;

3. 华南农业大学农学院广东省分子育种重点实验室, 广东 广州 510642)

(1. *Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China*; 2. *Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Guangzhou, Guangdong 510642, China*; 3. *Guangdong Provincial Key Laboratory of Plant Molecular Breeding, College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China*)

摘要:以 7 个基因型不同蛋白质含量的大豆为原料, 研究纳豆枯草芽孢杆菌发酵后纳豆表面黏液感官品质与黏液性质的差异, 并分析黏液品质与籽粒品质性状的关系。结果表明, 除青大豆 YSG-10 和黑大豆 YSB-37 外的 5 种基因型的黄大豆发酵的纳豆黏液的感官评分、拉丝长度分别与籽粒蛋白质含量呈显著负相关(r 分别为 -0.953 和 -0.946 , $P < 0.05$); 青大豆 YSG-10 蛋白质含量低、感官评分较低、拉丝长; 黑大豆 YSB-37 蛋白质含量最高、感官品质较差、拉丝长度只有同一蛋白水平黄大豆 YSY-23 的 $1/3$ 左右。低蛋白含量的黄色种皮 YSY-102 大豆适合做鲜食纳豆, 而蛋白质含量较高的黄色种皮 YSY-23 大豆适合加工成纳豆粉。

关键词:大豆; 蛋白质含量; 纳豆; 黏液; 拉丝长度; 感官品质

Abstract: Seven genotype soybean seeds with different protein content were using as the raw material for natto fermentation. The study was focus on the difference of the sensory quality and

properties of mucilage on the surface of natto after fermented by *Bacillus subtilis* natto. Then the relationship between the quality of mucilage and the quality traits of soybean seeds was analyzed. The results showed that, the sensory score and stretch length of natto mucilage fermented from five different genotype soybean except green soybean YSG-10 and black soybean YSB-37 were significantly negatively correlated with seeds protein content respectively (r are -0.953 , -0.946 respectively, $P < 0.05$). Green soybean seed YSG-10 has a relatively low protein content, relatively low sensory score and relatively long stretch length; black soybean seed YSB-37 has the highest protein content, the lowest sensory score and the shortest stretch length, and yellow seed coat with low protein content soybean YSY-102 is suitable for fresh natto while the high protein content soybean YSY-23 is suitable for processing into natto powder, which can provide a reference for the selection and breeding of natto soybean.

Keywords: soybean; protein content; natto; mucilage; stretch length; sensory property

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0101900)

作者简介:林咏珊,女,华南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:高向阳(1966—),女,华南农业大学教授,博士。

E-mail: gaoxiangyang@scau.edu.cn

收稿日期:2020-03-10

纳豆(Natto)是一种在日本广受欢迎的传统大豆发酵食品,其最具特色的是表面覆盖着白色黏稠物质,搅拌后能形成黏液,具有丝般黏腻感的黏液是评判优质纳豆的重要标准^[1]。虽然传统鲜食纳豆最典型的特征是

黏液多、黏性强、拉丝细长,但纳豆粉生产过程中过多的黏液不仅会增加干燥的难度和成本,还会造成营养物质的损失。

目前用于生产纳豆的豆类有大豆、红豆^[2]、蚕豆^[3]、鹰嘴豆^[4]等,但纳豆原料的选育对象以大豆为主。杜磊^[5]比较了4个不同产地的黄豆发酵纳豆的黏液品质,发现东北小粒黄豆发酵的纳豆黏液最多、黏性最强、黏液评分最高。刘琪等^[6]对4种黄豆发酵纳豆拉丝性能的比较发现东北大豆较好。目前大多数的研究均停留在比较不同品种大豆发酵纳豆黏液的感官品质和黏液性质的差异上,未能深入分析差异产生的原因。因不同基因型大豆籽粒的蛋白质含量存在差异^[7],而且低蛋白大豆发酵可以得到优质的纳豆^[8-9],试验拟选取由同一父本和母本杂交的7个不同基因型大豆,按照蛋白质含量分成高、中、低3个水平,分析比较不同蛋白质含量水平大豆籽粒发酵后纳豆黏液感官品质、黏液产率、水分含量和拉丝长度的差异,并对籽粒品质性状与纳豆黏液品质指标的相关性进行分析,以期为纳豆产品发酵用大豆的选择和育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

纳豆枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis natto*):实验室保存;

YSY-102(黄色种皮)、YSY-12(黄色种皮)、YMY-1(黄色种皮)、YSY-19(黄色种皮)、YSY-2(黄色种皮)、YSG-10(青色种皮)、YSB-37(黑色种皮)7种基因型大豆籽粒:华南农业大学农学院大豆分子设计育种实验室利用栽培大豆与野生大豆杂交选育的小粒大豆;

氯化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

牛肉膏、蛋白胨、琼脂粉:生物试剂,北京奥博星生物技术有限责任公司;

斜面培养基:牛肉膏0.5%,蛋白胨1%,氯化钠0.9%,琼脂1.5%;

种子培养基:牛肉膏0.5%,蛋白胨1%,氯化钠0.9%。

1.1.2 主要仪器

超净工作台:SW-CJ-1G型,苏州净化有限公司;

立式压力蒸汽灭菌锅:YXQ-LS-50A型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

摇床:HZQ-C型,常州澳华仪器厂;

人工气候箱:Climacell 404型,德国MMM集团;

近红外谷物品质分析仪:Infratec1241型,丹麦FOSS公司。

1.2 试验方法

1.2.1 大豆籽粒蛋白质含量测定 采用近红外谷物分析仪测定,按式(1)计算干基蛋白质质量分数。

$$\omega = \frac{\omega_1}{1 - \omega_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

ω ——大豆干基蛋白质质量分数,%;

ω_1 ——大豆湿基蛋白质质量分数,%;

ω_0 ——大豆含水量,%。

1.2.2 种子培养 纳豆枯草芽孢杆菌经斜面培养基活化后接种到种子培养基中,置于37℃、180 r/min恒温摇床中培养24 h。

1.2.3 纳豆发酵工艺流程

大豆籽粒→筛选、清洗→浸泡20 h→蒸煮(121℃、35 min)→冷却→接种(蒸煮后大豆质量的4%)→发酵(37℃、90% RH,24 h)→后熟(4℃、24 h)→纳豆

1.2.4 纳豆黏液感官评价 由经过专业培训的人员组成评价小组(5男5女),对纳豆黏液的拉丝、黏性、数量、外观、气味进行评分。感官评价标准见表1。

1.2.5 纳豆黏液拉丝长度测定 轻轻刮下纳豆表面的黏液约5 g,用玻璃棒搅拌约2 min,以恒定的速度垂直拉起,记录拉断时的高度。

1.2.6 纳豆黏液产率测定 准确称取两份10.000 g纳豆,一份直接于70℃烘箱干燥至恒重,质量记为 W_1 ,另一份用蒸馏水洗净去纳豆表面的黏液后置于烘箱干燥至恒重,质量记为 W_2 ,按式(2)计算纳豆黏液产率^[10]。

$$\gamma = \frac{W_1 - W_2}{W_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

表1 纳豆黏液的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for natto mucilage

分数	色泽	气味	口感	组织形态
8~10	鲜黄色,有光泽	氨味较轻,有纳豆独特的香气	湿滑	黏液多、黏性强、拉丝细长
6~8	鲜黄色,无光泽	有少许氨味,有纳豆香气	较湿滑	黏液较多、黏性较强、拉丝较细较长
4~6	暗黄色,有光泽	氨味稍重,有较淡的纳豆香气	一般	黏液较多、黏性一般、拉丝较细、长度一般
2~4	暗黄色,无光泽	氨味较重,几乎没有纳豆香气	较干燥	黏液较少、黏性较弱、拉丝较粗、较短
0~2	黄褐色,无光泽	强烈氨臭味,无纳豆香气	干燥	黏液少、黏性弱、拉丝粗、短

γ ——黏液差率, %;

W_0 ——称取纳豆的质量, g。

1.2.7 纳豆黏液水分测定 准确称取纳豆黏液约 0.500 0 g 于恒重的铝盒中, 在 105 °C 鼓风干燥箱中干燥至与上一次称量的质量差小于 0.002 g, 即记为纳豆黏液的水分含量。

1.3 数据处理

每个样品测定均取 3 次平均值, 利用 SPSS 16.0 对数据进行显著性分析、误差分析和 Pearson 相关性分析, 采用 Origin 9.1 进行制图。

2 结果与讨论

2.1 大豆籽粒蛋白质含量

7 个不同基因型大豆籽粒的蛋白质含量见表 2。试验选用的大豆蛋白质量分数为 39.97%~48.00%, 按照 GB 1352—2009《大豆》划分高蛋白的标准, 除 YSY-102 的蛋白质量分数为 39.97%, 稍低于标准的 40% 外, 其他均属于高蛋白大豆。根据蛋白含量高低将大豆籽粒分为高、中、低 3 个水平, 高含量组($\geq 45\%$)有黑大豆 YSB-37 和黄大豆 YSY-23, 其蛋白质含量无显著差异($P > 0.05$); 中含量组(41%~45%)有黄大豆 YSY-19 和 YMY-1, 其蛋白质含量有显著差异($P < 0.05$), 且与高、低蛋白组大

表 2 不同基因型大豆籽粒的基本成分[†]

Table 2 Basic component and property of different genotype soybean %

基因型	蛋白质含量	脂肪含量	可溶性糖含量
YSY-102	39.97±1.09 ^e	21.41±0.96 ^a	8.05±0.35 ^a
YSG-10	40.83±0.25 ^d	21.26±1.02 ^a	8.20±0.25 ^a
YSY-12	40.93±0.25 ^d	20.63±1.14 ^a	8.01±0.19 ^a
YSY-19	41.34±1.63 ^c	21.78±0.84 ^a	7.71±0.20 ^a
YMY-1	44.40±1.25 ^b	20.52±0.95 ^a	7.98±0.33 ^a
YSY-23	47.85±0.90 ^a	19.88±0.76 ^a	7.85±0.34 ^a
YSB-37	48.00±0.42 ^a	21.88±0.88 ^a	5.57±0.16 ^b

† 字母不同表示不同基因型之间具有显著性差异($P < 0.05$)。

豆之间有显著差异($P < 0.05$); 低蛋白质含量组(39%~41%)有青大豆 YSG-10 和黄大豆 YSY-102、YSY-12, 其中 YSG-10 和 YSY-12 之间无显著差异($P > 0.05$), 与 YSY-102 差异显著($P < 0.05$)。

2.2 纳豆黏液的感官品质

不同基因型大豆籽粒发酵纳豆黏液的感官评价见表 3。纳豆黏液的色泽方面, 除 YSB-37 和 YSG-10 外评分均较高, YSB-37 和 YSG-10 的种皮分别是黑色和青色, 发酵后黏液颜色不如黄色种皮大豆鲜亮, 评分较低; 气味方面, YSB-37 和 YSG-10 也与其他 5 种纳豆相差较远, 蛋白质含量较高的籽粒发酵纳豆黏液的风味更差, 可能是由于蛋白质降解产生了不愉快的氨味, 蛋白质含量越高产生的氨味越重, 但 YSG-10 蛋白质含量较低而气味评分也低, YSB-37 蛋白质含量较高而氨味较轻、评分较低, 这两种纳豆黏液几乎没有纳豆独特的香味, 可能与籽粒蛋白质组成有关, 蛋白质降解产生的氨基酸可作为纳豆独特风味物质合成的前体^[11], 种皮颜色的差异可能导致了纳豆菌对蛋白质利用的差异, 降解产生的氨基酸种类和数量会影响纳豆风味的形成。7 种纳豆黏液的口感差异较不显著而组织形态差别较显著, 黏液的黏性除了 YSB-37 黏性最差和 YSY-23 黏性一般, 其他的黏性均较强, YSY-102 的黏性尤其强; 除了 YSB-37 的其他 6 种纳豆产生的黏液均较多; 除了 YSB-37 黏液拉丝性能较差以外, 其他纳豆黏液均能拉出细长的丝状物, YSY-102 的拉丝能力最强, 蛋白质含量高的籽粒发酵纳豆黏液的组织形态较差, 可能是蛋白质对纳豆菌的代谢形成黏液有一定的阻碍作用。此外, YSB-37 组织形态较差还可能与其可溶性糖含量低有关, YSG-10 组织形态较好可能与青大豆淀粉含量较高有关, 淀粉可水解产生可溶性糖, 可溶性糖是纳豆菌代谢的能量来源, 可控制纳豆的发酵程度。总体上, 蛋白质含量较低的 YSY-102 和 YSY-12、YSY-19 发酵纳豆黏液品质最佳, 蛋白质含量较高的 YMY-3 和 YSY-23 纳豆次之, 青色种皮的 YSG-10 纳豆较差, 黑色种皮的 YSB-37 纳豆最差。

表 3 不同基因型大豆发酵纳豆黏液的感官评分[†]

Table 3 Sensory score of natto mucilage fermented with different genotype soybean

基因型	色泽	气味	口感	组织形态	总分
YSY-102	8.1±1.1 ^{ab}	8.6±0.5 ^a	7.7±1.1 ^{ab}	8.9±0.8 ^a	33.3±0.3 ^a
YSY-12	7.7±0.9 ^b	8.9±1.0 ^a	8.5±1.0 ^a	7.8±0.7 ^{bc}	32.9±0.1 ^a
YSY-19	9.0±0.7 ^a	7.0±0.9 ^b	8.2±0.9 ^{ab}	7.3±0.9 ^c	31.5±0.1 ^a
YMY-1	7.2±0.8 ^b	6.6±1.1 ^b	7.4±1.0 ^{ab}	7.5±1.0 ^{bc}	28.7±0.1 ^b
YSY-23	6.8±0.8 ^b	6.1±1.1 ^b	8.4±1.0 ^{ab}	6.5±0.7 ^d	27.8±0.2 ^b
YSG-10	4.2±0.4 ^c	3.4±0.7 ^c	6.6±0.8 ^b	8.0±0.6 ^b	22.2±0.2 ^c
YSB-37	3.0±0.9 ^d	4.1±0.7 ^c	7.1±1.1 ^{ab}	2.2±0.6 ^e	16.4±0.2 ^d

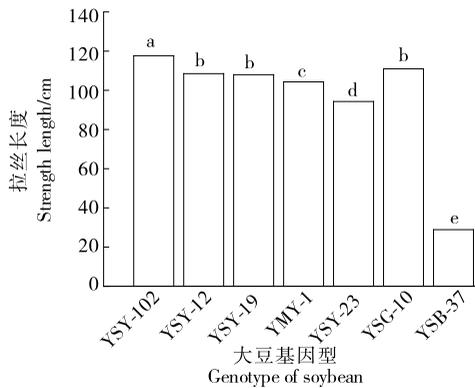
† 字母不同表示不同基因型之间具有显著性差异($P < 0.05$)。

2.3 纳豆黏液的拉丝长度

如图 1 所示, YSB-37 纳豆黏液的拉丝长度仅 29.00 cm, 而其他 6 种纳豆黏液的拉丝长度均在 90 cm 以上, 其中 YSY-102 纳豆黏液的拉丝长度最长, 达 117.67 cm。除 YSB-37 和 YSG-10 外的 5 种纳豆黏液的拉丝长度与感官评分呈显著正相关($r=0.889$, $P<0.05$) (见表 4), 感官品质好的纳豆其拉丝长度也较长。

2.4 纳豆的黏液产率和水分含量

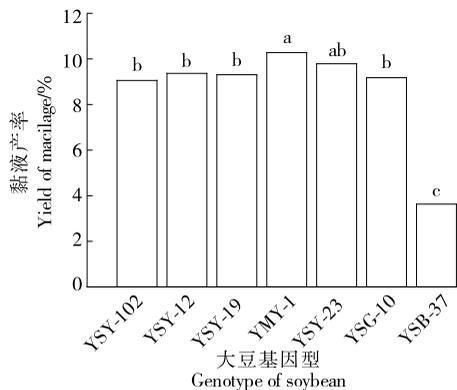
2.4.1 黏液产率 如图 2 所示, 7 个不同基因型大豆发酵的纳豆黏液产率为 3.62%~10.25%, YSB-37 纳豆黏液产率最低, 其他 6 种纳豆的黏液产率均在 8% 以上, 差异较小, 且均是 YSB-37 的 2 倍以上。黏液产率可以反映纳豆菌代谢的强度, 不同种皮颜色的大豆籽粒的成分以及种皮的成分与结构有较大的差异^[12-13], 影响了大豆籽粒的吸水性能, 进而影响到纳豆菌的代谢。黏液产率越高, 搅拌时能形成更多的丝状物, 具有更好的组织形态。有研究^[14-16]发现, 纳豆菌发酵对黄大豆和黑大豆的利用情况不同, 黄大豆中的物质更容易被纳豆菌利用, 繁殖更快,



字母不同表示不同基因型之间具有显著性差异($P<0.05$)

图 1 纳豆黏液拉丝长度的比较

Figure 1 Comparison of stretch length of natto mucilage



字母不同表示不同基因型之间具有显著性差异($P<0.05$)

图 2 纳豆黏液产率的比较

Figure 2 Comparison of mucilage yield of natto

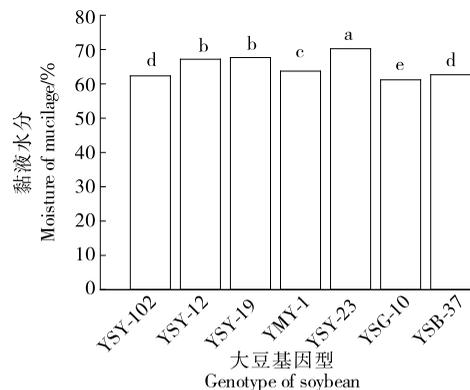
数量更多, 代谢更旺盛, 能产生更多的黏液。

2.4.2 水分含量 如图 3 所示, 7 个不同基因型大豆发酵的纳豆黏液水分变幅范围为 61.01%~70.05%, 标准差为 3.37, 变异系数为 5.19%, 具有较显著的差异。黏液的含水量越高, 其质地越黏滑, 更易被拉长, 黏液的组织形态更好。

黏液产率高的纳豆其黏液水分含量也较高, 黏液中的黏性物质有防止水分蒸发的功能^[17], 但水分含量高又会使黏液中黏性物质浓度降低, 黏度也随之降低, 黏液的感官品质尤其是拉丝长度受黏液产率和水分共同影响。对黏液拉丝长度和黏液产率、黏液水分的相关性分析, 得到除了 YSB-37 和 YSG-10 以外的 5 个不同基因型大豆发酵的纳豆黏液拉丝长度与黏液产率、黏液水分呈负相关关系($P>0.05$), 相关系数分别为 -0.651 和 -0.775 (见表 4), 说明低黏液产率和低水分含量更有利于黏液拉丝。这与王欢等^[10]的研究结果黏液产率越高拉丝情况越好的结论不同, 可能是因为黏液的拉丝长度主要受其黏性物质的影响, 黏液产率的高低与黏性物质的多少不一定呈正比。YSB-37 黏液产率和黏液水分较低, 拉丝却最短, 而 YSG-10 黏液产率高, 水分含量低, 拉丝却较长, 可能与纳豆菌对大豆发酵产生的黏液代谢物质有关, 有待对黏液成分的进一步分析。

2.5 籽粒品质性状与纳豆黏液品质指标的相关性

通过对大豆籽粒蛋白质含量和纳豆黏液感官品质的比较分析发现, 蛋白质含量高的大豆发酵的纳豆黏液较少, 拉丝较短, 黏性也较差, 低蛋白质组纳豆黏液的感官评分较中、高蛋白质组的高。对除了 YSB-37 和 YSG-10 外的 5 个不同基因型大豆籽粒的蛋白含量和纳豆黏液评分进行相关性分析得出两者有显著负相关关系($r=-0.953$, $P<0.05$) (见表 4), 说明低蛋白质含量的大豆发酵有利于形成更高品质的纳豆黏液。YSG-10 的蛋白质



字母不同表示不同基因型之间具有显著性差异($P<0.05$)

图 3 纳豆黏液水分含量的比较

Figure 3 Comparison of moisture content in natto mucilage

表 4 籽粒品质性状与纳豆黏液品质指标之间的 Pearson 相关系数[†]

Table 4 Pearson correlation coefficients for quality indexes of natto mucilage and seed quality traits

指标	感官评分	黏液产率	黏液水分	拉丝长度
蛋白质含量	-0.905*	0.719	0.568	-0.946*
感官评分		-0.842	-0.419	0.889*
黏液产率			0.086	-0.651
黏液水分				-0.775

[†] 相关性分析基于除了 YSB-37 和 YSG-10 外的 5 种基因型大豆进行; * 表示在 P<0.05 水平上差异显著。

含量较低而纳豆黏液的感官评分较低,YSB-37 与 YSY-23 处于同一蛋白水平,但 YSB-37 的感官评分低很多,说明黄色种皮大豆发酵纳豆黏液的感官品质比黑色种皮和青色种皮大豆更好。

对大豆籽粒蛋白质和纳豆黏液拉丝长度的比较分析得出,蛋白质含量越低的大豆发酵纳豆黏液拉丝越长。刘琪等^[6]研究也发现蛋白质含量较低的东北大豆发酵的拉丝性能好,含量较高的湖北大豆拉丝能力较差。除了 YSB-37 和 YSG-10 外的 5 个不同基因型的黄色种皮大豆的拉丝长度与蛋白质含量呈显著负相关($r = -0.946$, $P < 0.05$)(见表 4),表明高蛋白质含量不利于纳豆黏液拉丝的形成。蛋白质含量高的大豆发酵有更高的黏液产率和水分含量,而且拉丝较短,更适合作为纳豆粉的生产原料;低蛋白含量的大豆发酵的纳豆黏液感官品质较高且拉丝长,可作为鲜食纳豆的发酵原料。

3 结论

黄色种皮大豆(YSY-102、YSY-12、YMY-1、YSY-19、YSY-2)发酵纳豆表面黏液感官评分比青色种皮大豆(YSG-10)和黑色种皮大豆(YSB-37)高,感官评分高的纳豆黏液其拉丝长度也更长,黄色种皮大豆的感官评分和拉丝长度分别与籽粒蛋白质含量呈显著负相关($P < 0.05$);黑色种皮大豆的蛋白质含量最高,感官评分最低,拉丝最短;青色种皮大豆的蛋白质含量最低,感官评分低,但拉丝长。低蛋白质含量的大豆适用于生产鲜食纳豆,而高蛋白质含量的大豆适用于生产纳豆粉。

蛋白质含量相近种皮颜色不同的大豆发酵纳豆制品之间存在较大差异,除蛋白质外的其他成分如糖类、微量元素等的差异是否也会对发酵纳豆黏液品质造成影响,尤其是对拉丝性质的影响还有待进一步研究。

参考文献

[1] WEI Q, WOLF-HALL C, CHANG K C. Natto characteristics as affected by steaming time, bacillus strain, and fer-

mentation time[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(1): 167-173.

[2] 王琳, 高辰哲, 刘丹怡, 等. 响应面法优化红豆纳豆的发酵工艺[J]. 中国酿造, 2018, 37(1): 190-194.

[3] 张杰, 杨希娟, 党斌, 等. 蚕豆纳豆发酵工艺优化及其酶学性质[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 205-210.

[4] 刘晓宇. 鹰嘴豆纳豆发酵工艺优化及纳豆激酶的分离纯化研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019: 9-24.

[5] 杜磊. 影响纳豆粉品质关键因素的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2019: 60.

[6] 刘琪, 陈静, 张佩娜, 等. 不同黄豆自制纳豆与市购纳豆差异性比较分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 1-5.

[7] SANTOS E L D, PÍPOLO A E, FARIA R T D, et al. Influence of genotype on protein and oil concentration of soybean seeds[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2010, 53(4): 793-799.

[8] YOSHIKAWA Y, CHEN Peng-yin, ZHANG Bo, et al. Evaluation of seed chemical quality traits and sensory properties of natto soybean[J]. Food Chemistry, 2014, 153, 186-192.

[9] TAIRA H. Quality of soybeans for processed foods in Japan[J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 1990, 24(3): 224-230.

[10] 王欢, 李宏梁, 杜磊, 等. 纳豆菌的分离、筛选、鉴定及发酵特性对比研究[J]. 中国调味品, 2018, 43(11): 1-5.

[11] KIMURA K, KUBO Y. Flavor development during natto fermentation[J]. Japanese Society for Food Science and Technology, 2017, 64(7): 379-384.

[12] MIGLANI H, SHARMA S. Cell wall composition and nutrients in soybean genotypes of varying seed coat colour[J]. Legume Research, 2017, 40(3): 442-452.

[13] SUQIN S, CHRIS J M, FENGSHAN M, et al. The outermost cuticle of soybean seeds: Chemical composition and function during imbibition[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58(5): 1 071-1 082.

[14] 杨华松, 张晓冬, 阮梅杰, 等. 黑豆纳豆发酵工艺的研究[J]. 中国调味品, 2010, 35(4): 85-88.

[15] 谭周进, 周传云, 廖兴华, 等. 原料对纳豆制品的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(1): 87-90.

[16] 牛红红, 苗欣宇, 李达, 等. 不同菌种发酵对纳豆激酶活性及黏液成分影响[J]. 中国酿造, 2019, 38(10): 116-120.

[17] 贾琼. 纳豆菌对紫花芸豆的发酵条件优化及理化特性研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016: 38.