



# 黑龙江省主栽大豆品种豆芽品质特性的综合分析

毕伟伟<sup>1,2</sup>, 赵贵兴<sup>1</sup>, 夏晓雨<sup>1,3</sup>, 王广金<sup>1</sup>, 卞开鑫<sup>4</sup>, 张丰屹<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 博士后流动站, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 哈尔滨商业大学 食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150076; 4. 讷河市望得利农业科技发展有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161300)

**摘要:**为筛选出黑龙江省适合的芽用大豆品种,提升豆芽附加值和开发潜力,本研究选取了黑龙江省 11 个主栽大豆品种,利用人工气候箱进行发芽试验,比较不同品种籽粒蛋白质和脂肪含量、发芽率、豆芽产率、感官评定和异黄酮含量等指标,并利用隶属函数对豆芽品质特性进行了综合评价。结果表明:11 个大豆品种蛋白、脂肪含量存在一定差异,单从发芽率和产率 2 个指标来看,适合生产豆芽的品种为黑农 48、黑农 66 和黑农 70。大豆发芽后,异黄酮总含量较籽粒显著增高,且在发芽第 3 天达到最高,显著高于大豆籽粒和其他发芽时间,异黄酮总含量增加最多的品种为黑农 61 和黑农 63,分别是原来的 1.63 和 1.76 倍,黑农 52 的异黄酮含量第 3 天达到最高值,为 636.38 mg·100 g<sup>-1</sup>。感官评定结果筛选出的品质较好品种为黑农 59、黑农 63 和黑农 70。通过发芽率、豆芽产率、感官评定和异黄酮含量 4 个指标的隶属函数综合评定,筛选出适合豆芽生产且异黄酮含量高的品种为黑农 70。

**关键词:**大豆异黄酮;萌发时间;发芽率;主栽品种;感官评价

## Comprehensive Analysis on Soybean Sprout Characteristics of Main Soybean Varieties in Heilongjiang Province

BI Wei-wei<sup>1,2</sup>, ZHAO Gui-xing<sup>1</sup>, XIA Xiao-yu<sup>1,3</sup>, WANG Guang-jin<sup>1</sup>, BIAN Kai-xin<sup>4</sup>, ZHANG Feng-yi<sup>1</sup>

(1. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Postdoctoral Station, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Institute of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China; 4. Nehe Shengdeli Agricultural Technology Development Co., Ltd., Qiqihar 161300, China)

**Abstract:** In order to screen out suitable soybean varieties for sprouting in Heilongjiang Province, and improve the added value and development potential of soybean sprouts, 11 main soybean varieties in Heilongjiang Province were selected as materials in this study. The germination experiments were carried out in artificial climate box, and compared the protein and fat content, germination rate, soybean sprout yield, germination rate, sensory evaluation and isoflavones. The quality characteristics of bean sprouts were evaluated by membership function. The results showed that there were some differences in protein and fat contents among the 11 soybean varieties. From the germination rate and yield, the suitable varieties for bean sprout production were Heinong 48, Heinong 66 and Heinong 70. The content of isoflavones increased significantly after germination, and reached the highest on the third day of germination, which was significantly higher than that of soybean seeds and other germination stages. The total isoflavone content of Heinong 61 and Heinong 63 on the third day increased by 1.63 and 1.76 times to CK, respectively. The isoflavone content of Heinong 52 reached the highest value of 636.38 mg·100 g<sup>-1</sup> on the third day. The results of sensory evaluation showed that the varieties with good quality were Heinong 59, Heinong 63 and Heinong 70. Through the comprehensive evaluation of the membership function of germination rate, bean sprout yield, sensory evaluation and isoflavone, the suitable soybean sprout variety with high isoflavone content was screened out as Heinong 70.

**Keywords:** Soybean isoflavones; Germination time; Germination rate; Main cultivation; Sensory evaluation

黑龙江省是中国大豆的主产区,品种资源丰富。黄明伟等<sup>[1]</sup>和张海军等<sup>[2]</sup>对中国北方黑龙江、吉林、内蒙古 3 省 50 种大豆主栽品种进行检测分析,发现黑龙江省大豆的蛋白质、植酸、总黄酮平均含量最高。黑龙江省属于高异黄酮主产区,具有开

发异黄酮类大豆功能性产品的巨大潜力。相关研究表明,大豆发芽后,蛋白质、还原糖、VC 和异黄酮含量均较发芽前有所增加,营养价值提高,发芽后植酸等有害成分的含量降低,并且形成独特的风味和口感<sup>[3-4]</sup>。豆芽中含有很多营养物质,很多成分

收稿日期:2020-11-19

基金项目:黑龙江省农业科学院院级课题(2017BZ14);黑龙江省博士后基金(LBH-Z16184);农业科技创新跨越工程(HNK2019CX01-14-5);哈尔滨市科技局项目(2017RAQYJ034)。

第一作者:毕伟伟(1984—),女,博士,助理研究员,主要从事农产品加工与储藏研究。E-mail:weiwebi5321@163.com。

通讯作者:赵贵兴(1978—),男,硕士,副研究员,主要从事粮油加工技术研究。E-mail:zhaoguixing@163.com。

对人体健康有益，甚至可以预防和缓解疾病<sup>[5-8]</sup>。我国黄豆芽的研究刚刚起步，高品质黄豆芽是未来豆芽菜的发展方向，在保证高产、高效生产豆芽的同时，还要兼顾豆芽的外观品质和营养价值，具有特殊功能性成分的豆芽菜会成为市场的宠儿<sup>[9-11]</sup>。发芽率、豆芽产率和感官评定是豆芽菜的主要评价指标<sup>[12-14]</sup>。有研究表明大豆发芽后异黄酮含量明显提高，发芽 48 h 异黄酮含量是干大豆的 191.2%<sup>[15]</sup>。苷元含量在 96 h 时达到最高，比未发芽的大豆提高 512.9%<sup>[16]</sup>。大豆发芽后异黄酮总含量在芽长 3 cm 时达到最高。豆芽芽茎中异黄酮的总含量显著高于大豆原料和豆芽子叶<sup>[17-18]</sup>。液质联用结合串联质谱的分析表明，在豆芽子叶和芽茎中异黄酮主要组分和含量不同，芽茎中苷元的含量高于子叶和大豆原料，其中大豆素含量最高，占芽茎大豆异黄酮总含量的 6.71%<sup>[19]</sup>。虽然对于大豆发芽后异黄酮含量和分布有了一定的研究，但是把异黄酮含量作为筛选豆芽适用品种的综合评价指标之一的报道还很少。本研究从黑龙江省 11 个大豆主栽品种中筛选理想的豆芽品种，检测分析每个品种的品质、发芽率、豆芽产率，并结合豆芽生长过程中异黄酮的含量变化，运用隶属函数对不同品种进行综合评价分析，从而筛选出性状优良，且具有高异黄酮含量特性的芽用品种，以期为我国黄豆芽的高效快速发展提供优质的大豆品种，为特殊功用的芽苗菜生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试品种 供试的 11 个大豆品种为东北主栽品种，来自黑龙江省农业科学院大豆研究所，分别为黑农 43、黑农 48、黑农 52、黑农 59、黑农 61、黑农 63、黑农 65、黑农 66、黑农 67、黑农 70、黑农 71。

1.1.2 主要试剂 染料木素标准品：Sigma-Aldrich 公司；其它分析纯试剂：中国国药集团化学试剂有限公司。

1.1.3 主要仪器 5810R Eppendorf 高速冷冻离心机；德国艾本德公司；FD-1A-50 冷冻干燥机：江苏天翎仪器有限公司；Knifetec 1095 高速研磨机：丹麦福斯分析仪器公司；恒温混匀仪：德国艾本德公司；UV-2900 紫外可见分光光度计：日本日立公司 KPM 分析集团中国分公司；2600XT-R 近红外分析仪：美国 Unity。

1.2 方法

1.2.1 大豆萌发 选取颗粒饱满的优质大豆籽粒用清水漂洗后于 24 ℃ 纯水中浸泡，然后将大豆单层平铺于托盘中，并用纱布覆盖，放入 24 ℃ 左右的人工气候箱中发芽。每天观察和记录发芽的情况，并检测发芽率和产量，发芽结束后，清洗，冷冻干燥后研磨成粉末，备用<sup>[20]</sup>。

1.2.2 样品预处理 将大豆原料、不同时期的大豆芽分别用粉碎机预粉碎，并以石油醚(30 ~ 60 ℃)为溶剂，用索氏抽提法除去其中油脂后再次粉碎并过 80 目筛。处理后的样品置于 -20 ℃ 冰箱中保存备用。

1.2.3 大豆异黄酮提取 准确称取 1.2.2 中处理后的样品粉末 1.5 g，按液比 1:10 (g·mL<sup>-1</sup>) 的比例加入 70% 乙醇，重复提取 3 次，提取温度为 70 ℃，提取时间为 3 h。提取液经冷冻离心机离心后取上清液于 4 ℃ 冰箱中保存备用。检测分析 3 个平行提取液测定的平均值<sup>[18,21]</sup>。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 品质测定 应用近红外分析仪中的大豆籽粒模型对大豆籽粒进行品质分析，检测大豆籽粒的蛋白质和脂肪含量，每个样品扫描 3 次，取平均数。

1.3.2 豆芽发芽率及产率的测定 在大豆发芽第 3 天测定发芽率。以胚根露出种皮超过豆子长度 1 mm 以上为发芽标准，发芽豆子的数量除以总豆子数量的值即为发芽率。用万分之一天平测定发芽前大豆的质量和第 4 天大豆芽的鲜质量，然后用大豆芽的质量除以大豆质量，即为产率。

1.3.3 异黄酮总含量测定 利用紫外分光光度计法检测大豆籽粒和发芽 1~4 d 的豆芽异黄酮含量。以染料木素为标准品，以浓度为横坐标、吸光度为纵坐标，得到的标准曲线方程为： $y = 201.4x - 0.1841$ ， $R^2 = 0.9988$ 。准确量取 1 mL 提取液于容量瓶中，用 70% 乙醇定容到 100 mL，摇匀后测定吸光度值，波长为 260 nm，以 70% 乙醇水溶液为空白对照，根据标准曲线换算大豆异黄酮总含量，结果表示为染料木素当量(mg)/样品干重(100 g)<sup>[18,21]</sup>。

1.3.4 感官评定 感官鉴评小组人员为 20 名食品相关的老师和学生(男女各半)。评定员接受过相关课程培训以及 2 次时间为 2 h 的豆芽评定培训。评分采用 7 分制，评定人员按各属性等级的不同分别给每个样品打分，从豆芽的色泽、外观、滋味气味和组织形态 4 个方面进行打分(精确到 0.01 分)<sup>[9,22]</sup>，具体评分标准详见表 1。

表 1 大豆芽感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standard for soybean sprouts

分数 Score	色泽 Color	外观 Exterior	滋味气味 Taste smell	组织形态 Organizational form
6-7	根部白色或淡褐色,色泽鲜艳	芽身挺直,芽体粗壮,无烂根、烂茎	固有的豆香味,无苦涩味	形态完整,组织结构脆嫩,无杂质
4-5	颜色灰白,色泽较鲜艳	芽身较挺直,芽体较均匀	固有的豆香味淡薄,稍有异味	形态较完整,组织结构脆嫩,稍有杂质
2-3	颜色发暗,色泽发暗无光泽	长短不一,粗细不匀,枯萎蔫软	固有的豆香味很淡薄,并有异味	部分形态不完整,部分打蔫,有杂质
0-1	颜色暗淡,无光泽	严重枯萎或霉烂	有腐烂味、酸臭味等不良气味	形态不完整,打蔫严重,有杂质

色泽、外观、滋味气味和组织形态的权重分别为 30%、30%、20% 和 20%。

The weight of color、exterior、taste smell and organizational form is 30% , 30% , 20% and 20% , respectively.

1.3.5 综合评价 本试验以发芽率、豆芽产率、感官评价和异黄酮含量 4 个指标为依据,利用隶属函数法对不同品种大豆芽的品质进行综合评价。在计算品质隶属值时,使用公式进行标准化处理: $f(X_h) = (X_h - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,  $h = 1, 2, 3, \cdots, n$ , 式中: $X_h$  表示第  $h$  个指标值, $X_{\max}$  表示第  $h$  个指标的最大值, $X_{\min}$  表示第  $h$  个指标的最小值<sup>[23]</sup>。隶属函数值越大,表示豆芽品质越高,对应的大豆品种更适合开发高异黄酮含量的大豆芽。

1.4 数据分析

每组试验均做 3 次重复,用作试验分析的数据均表示为平均值±标准差。采用统计软件 SAS 9.2

进行数据分析,所有显著性分析均基于  $P = 0.05$  显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同大豆品种的品质分析

从表 2 可知,不同大豆品种蛋白含量、脂肪含量和百粒重都有一定的差异,11 个大豆品种蛋白含量为 37.71% ~ 44.00%,脂肪含量为 20.29% ~ 24.55%,百粒重为 14.04 ~ 20.75 g。同等条件下,发芽率为 81.00% ~ 99.95%,其中发芽率超过 98%,较适合生产豆芽的品种为黑农 43、黑农 48、黑农 52、黑农 61、黑农 66 和黑农 70。

表 2 不同大豆品种的品质分析

Table 2 Quality analysis of different soybean varieties

品种 Variety	蛋白含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content/%	百粒重 100-seed weight/g	发芽率 Germination rate/%	豆芽产率 Sprout yield
黑农 43 Heinong 43	42.44 ab	21.92 c	18.74 e	99.00 bc	6.65 d
黑农 48 Heinong 48	43.91 e	22.31 c	17.26 f	99.95 a	7.30 c
黑农 52 Heinong 52	37.71 e	23.57 b	19.75 c	99.71 ab	6.20 f
黑农 59 Heinong 59	40.24 cd	23.88 ab	16.91 h	82.67 g	7.35 bc
黑农 61 Heinong 61	37.86 e	24.54 a	20.75 a	98.33 c	5.87 g

续表 2

品种 Variety	蛋白含量 Protein content/%	脂肪含量 Fat content/%	百粒重 100-seed weight/g	发芽率 Germination rate/%	豆芽产率 Sprout yield
黑农 63 Heinong 63	40.33 cd	20.29 d	20.56 b	93.83 d	5.86 g
黑农 65 Heinong 65	41.34 bc	22.00 c	14.04 j	81.00 h	7.60 a
黑农 66 Heinong 66	38.89 de	24.55 a	17.16 g	99.33 ab	7.28 c
黑农 67 Heinong 67	44.00 a	23.83 ab	19.01 d	89.17 f	6.31 f
黑农 70 Heinong 70	38.82 de	24.22 ab	16.39 i	98.33 c	7.48 ab
黑农 71 Heinong 71	40.14 cd	24.23 ab	18.76 e	90.17 e	6.47 e

不同字母代表差异显著( $P < 0.05$ )。下同。  
Different letters represent significant differences( $P < 0.05$ )。The same below.

从图 1 可以看出随着百粒重的增加,豆芽的产率下降,百粒重越小,豆芽的产率越高。所以百粒重小的品种,比如黑农 48、黑农 59、黑农 65、黑农 66 和黑农 70,豆芽的产率比较高,经济效益比较好,较适合生产豆芽。综合发芽率和产率分析表明适合做豆芽的品种为黑农 48、黑农 66 和黑农 70。

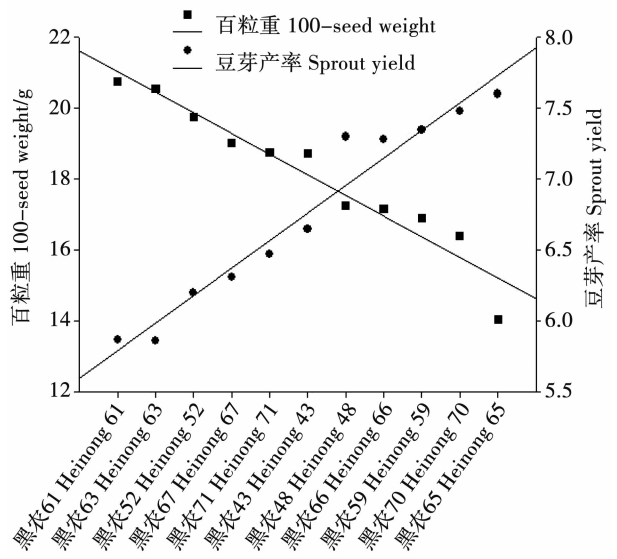


图 1 不同品种百粒重与豆芽产率的相关性  
Fig. 1 The correlation between 100-seed weight and bean sprouts yield of different soybean varieties

2.2 不同大豆品种萌发过程中异黄酮总量变化

由表 3 可知,大豆萌发过程中不同品种之间异黄酮总含量存在较大差异。未萌发的种子中,异黄酮总含量较高的品种为黑农 52、黑农 67 和黑农 70,含量较低的品种为黑农 61、黑农 63 和黑农 66。发芽提高了大豆中异黄酮的含量。参试的 11 个品种萌发第 3 天的异黄酮含量与原籽粒相比差异都达到了显著水平( $P < 0.05$ ),增加最多的品种为黑农 61 和黑农 63,分别是原来的 1.63 和 1.76 倍。第 3 天异黄酮含量最多品种的为黑农 52,达到  $636.38 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。

黑农 43、黑农 48、黑农 59 和黑农 65 在萌发第 3 天的异黄酮含量分别是未萌发的 1.30、1.17、1.38 和 1.26 倍,第 4 天开始下降,原因可能是异黄酮分解或者流失。黑农 66 和黑农 71 萌发第 3 天异黄酮含量分别是籽粒的 1.52 和 1.32 倍,第 4 天开始下降,但是仍然显著高于第 2 天的含量,第 1 天含量与未萌发的种子差异不显著。不同的品种在萌发过程中,异黄酮增加的趋势存在差异,与异黄酮合成途径中的遗传差异有关。综上大豆异黄酮总量在第 3 天较高的品种分别为黑农 52、黑农 59、黑农 63、黑农 67 和黑农 70。

表 3 不同品种大豆萌发过程中异黄酮总量变化

Table 3 Changes of total isoflavones in different soybean varieties during germination (mg·100 g<sup>-1</sup>)

品种 Variety	籽粒 Seed	第 1 天 The first day	第 2 天 The second day	第 3 天 The third day	第 4 天 The fourth day
黑农 43 Heinong 43	327.64 ± 2.45 e	346.41 ± 2.11 d	368.88 ± 5.13 c	426.14 ± 1.03 a	414.53 ± 1.52 b
黑农 48 Heinong 48	339.74 ± 7.87 d	355.04 ± 3.18 c	370.60 ± 6.99 b	397.98 ± 3.03 a	379.44 ± 1.72 b
黑农 52 Heinong 52	529.90 ± 5.35 d	547.01 ± 2.07 c	569.83 ± 3.49 b	636.38 ± 9.27 a	582.21 ± 1.87 b
黑农 59 Heinong 59	368.00 ± 2.31 e	378.07 ± 1.52 d	388.88 ± 1.51 c	509.49 ± 1.07 a	445.90 ± 4.94 b
黑农 61 Heinong 61	299.17 ± 2.46 e	312.25 ± 1.52 d	358.59 ± 5.26 b	487.89 ± 4.20 a	333.10 ± 4.01 c
黑农 63 Heinong 63	288.42 ± 6.27 d	317.24 ± 1.56 c	382.76 ± 1.53 b	508.15 ± 2.38 a	487.40 ± 2.00 b
黑农 65 Heinong 65	349.13 ± 5.62 c	356.34 ± 3.80 c	372.82 ± 8.33 b	440.33 ± 5.50 a	350.34 ± 5.51 c
黑农 66 Heinong 66	282.91 ± 2.02 e	359.62 ± 0.94 d	380.77 ± 1.52 b	429.76 ± 1.52 a	367.12 ± 1.65 c
黑农 67 Heinong 67	442.04 ± 2.00 c	466.32 ± 5.13 b	486.02 ± 4.73 a	497.33 ± 4.16 a	460.03 ± 8.08 b
黑农 70 Heinong 70	428.81 ± 2.42 d	442.91 ± 4.33 c	497.66 ± 1.53 b	513.63 ± 2.41 a	431.15 ± 2.08 d
黑农 71 Heinong 71	368.54 ± 1.02 d	379.56 ± 5.04 d	394.21 ± 3.67 c	486.13 ± 7.00 a	471.50 ± 6.04 b

2.3 不同品种豆芽的感官评价

对 11 个大豆品种不同萌发时期豆芽的感官品质评价结果表明,第 4 天较优秀的品种有黑农 59、黑农 63、黑农 65 和黑农 70,第 3 天时优秀的品种为黑农 59、黑农 63、黑农 66 和黑农 70(表 4)。表现为

鲜食豆芽形态整齐,芽体粗壮,芽长较长,芽体色正,豆腥味较淡,脆韧度好,手感较好;熟食豆芽有较浓甜味和鲜香味,豆腥味较淡,无苦涩味。综合以上得出品质比较好的品种为黑农 59、黑农 63 和黑农 70。

表 4 不同品种萌发过程中的感官评分

Table 4 Sensory scores of different varieties during germination

品种 Variety	第一天 The first day	第二天 The second day	第三天 The third day	第四天 The fourth day
黑农 43 Heinong 43	5.54 g	5.61 h	5.45 i	5.58 f
黑农 48 Heinong 48	5.65 f	5.75 g	5.64 g	5.72 e
黑农 52 Heinong 52	5.43 h	5.47 i	5.38 j	5.50 f
黑农 59 Heinong 59	6.12 a	6.18 a	6.15 a	6.18 a
黑农 61 Heinong 61	5.95 c	6.09 c	5.87 e	6.08 bed

续表 4

品种 Variety	第一天 The first day	第二天 The second day	第三天 The third day	第四天 The fourth day
黑农 63 Heinong 63	5. 98 bc	6. 15 ab	6. 03 b	6. 16 ab
黑农 65 Heinong 65	5. 99 b	6. 12 bc	5. 85 e	6. 11 abc
黑农 66 Heinong 66	6. 01 b	6. 05 d	5. 92 d	6. 07 bcd
黑农 67 Heinong 67	5. 89 d	5. 94 e	5. 76 f	6. 02 cd
黑农 70 Heinong 70	5. 71 e	5. 92 ef	5. 97 c	6. 09 abc
黑农 71 Heinong 71	5. 67 f	5. 89 f	5. 48 h	5. 99 d

2.4 不同品种大豆芽的综合评分

由表 5 可知,各品种豆芽品质综合隶属函数值差异明显,综合值最大的是黑农 70(3. 10),最小的是黑农 71(1. 33),11 个品种豆芽综合品质由高到低依次为:黑农 70、黑农 66、黑农 59、黑农 52、黑农 48、黑农 63、黑农 61、黑农 65、黑农 43、黑农 67 和黑农 71。

表 5 11 个品种各指标隶属函数值及综合评价值

品种 Variety	隶属函数 Membership function					排序 Sequence
	发芽率	豆芽产率	异黄酮含量	感官评价	综合值	
	Germination rate /%	Sprouts yield	Isoflavone content /(mg·100 g <sup>-1</sup> )	Sensory evaluation	Comprehensive value	
黑农 43 Heinong 43	0. 95	0. 45	0. 12	0. 09	1. 61	9
黑农 48 Heinong 48	1. 00	0. 83	0	0. 34	2. 17	5
黑农 52 Heinong 52	0. 99	0. 20	1. 00	0	2. 19	4
黑农 59 Heinong 59	0. 09	0. 86	0. 47	1. 00	2. 42	3
黑农 61 Heinong 61	0. 91	0. 01	0. 38	0. 64	1. 94	7
黑农 63 Heinong 63	0. 68	0	0. 46	0. 84	1. 98	6
黑农 65 Heinong 65	0	1. 00	0. 18	0. 61	1. 79	8
黑农 66 Heinong 66	0. 97	0. 82	0. 13	0. 70	2. 62	2
黑农 67 Heinong 67	0. 43	0. 26	0. 42	0. 49	1. 60	10
黑农 70 Heinong 70	0. 91	0. 93	0. 49	0. 77	3. 10	1
黑农 71 Heinong 71	0. 48	0. 35	0. 37	0. 13	1. 33	11

3 讨 论

豆芽的品质与大豆籽粒的品质有很直接的关系。本研究发现大豆的百粒重与豆芽的产率呈现负相关的关系,这与康玉凡等<sup>[23]</sup>研究结果相一致。有研究表明大豆的发芽率与大豆的浸水条件和用水量有关<sup>[12]</sup>,本研究考虑到不同的大豆品种吸水量不同,所以用了充足的水浸泡大豆,能够保证每个大豆品种的正常发芽,因此不同品种间发芽率的差异只和品种的种子活力有关。豆芽的感官评定是研究豆芽品质优劣的重要部分,专家对豆芽的外观、色泽、气味和组织形态人为打分具有一定的主观性和试验误差。有研究通过质构分析仪评定豆芽的硬度,让豆芽评定更精确,但是评价指标较为单一<sup>[9]</sup>。开发检测豆芽色泽和气味的专有仪器是未来的研究方向。豆芽的品质分析指标很多,现有研究中多是有关可溶性蛋白、可溶性糖、维生素 C、矿物质元素和氨基酸含量等<sup>[4,9,13-14]</sup>。以异黄酮作为豆芽评价指标的研究几乎没有,黑龙江省作为高异黄酮大豆产区,具有开发高异黄酮产品的天然优势。

相关研究表明黑龙江中粒芽豆发芽第 7 天时异黄酮含量为  $421.62\text{ mg}\cdot100\text{ g}^{-1}$ <sup>[24]</sup>。本研究筛选的黑农 70 发芽第 3 天时异黄酮含量为  $513.63\text{ mg}\cdot100\text{ g}^{-1}$ ,高于黑龙江中粒芽豆,原因可能是发芽时间过长会导致异黄酮分解或者流失。本研究表明豆芽中的异黄酮含量会随着发芽时间的延长逐渐增加,在第 3 天时达到最高,第 4 天开始下降,这是由于大豆在发芽过程中呼吸作用增强,酶的种类和数量显著增加,苯丙氨酸氨基裂解酶(PAL)就是其中之一,而它又是异黄酮生物合成代谢的关键酶<sup>[23,25]</sup>。而前人研究表明大豆发芽第 7 天时异黄酮含量最高,有可能是参试品种不同和试验所用的标准样品不同所导致的差异<sup>[26]</sup>。众多研究表明大豆芽在芽长 3 cm 时异黄酮含量最高<sup>[18-19]</sup>,本研究也得到类似结论,在大豆发芽第 3 天时芽长大概是 3~5 cm,本研究中大豆萌发第 3 天的异黄酮含量显著高于第 4 天。

以上分析发现,大豆发芽后异黄酮含量会增加,但是异黄酮含量在发芽第几天最高因品种、检测方法和试验所用标准品不同而有一定的差异。今后如果能够形成固定的标准检测方法将更有利于大豆芽异黄酮研究的快速发展和豆芽行业的规范。

4 结 论

本研究发现随着萌发时间的增加,豆芽异黄酮

总量逐渐增加,在萌芽第 3 天时达到最大值,显著高于未萌发的大豆籽粒,增加最多的品种为黑农 61 和黑农 63,其中异黄酮含量最高的品种为黑农 52。通过发芽率、豆芽产率、异黄酮含量和感官评价综合分析,11 个大豆品种中最适合豆芽生产的品种为黑农 70。

参考文献

[1] 黄明伟,于寒松,刘瑞雪,等. 中国北方地区大豆主栽品种五种成分检测与分析[J]. 中国食物与营养,2015,21(8):31-34. (Huang M W, Yu H S, Liu R X, et al. Detection and analysis of five components of soybean cultivars in northern China[J]. Food and Nutrition in China,2015,21(8):31-34. )

[2] 张海军,王英,苏连泰,等. 东北地区栽培大豆品种籽粒异黄酮含量分析及不同测定方法优化比较[J]. 大豆科学,2011,30(6):979-986. (Zhang H J, Wang Y, Su L T, et al. Analysis of isoflavone content in cultivated soybeans [*Glycine max*(L.) Merr.] in northeast China and comparison of different determination methods[J]. Soybean Science, 2011,30(6):979-986. )

[3] 于立梅,钟惠曾,于新,等. 大豆发芽过程中营养成分变化规律的研究[J]. 中国粮油学报,2010,25(8):19-22. (Yu L M, Zhong H Z, Yu X, et al. Change of nutritional composition during soybean germination[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010,25(8):19-22. )

[4] 王莘,胡可心,汪树生,等. 豆类萌发期蛋白质和氨基酸含量的比较分析[J]. 吉林农业大学学报,2003,25(1):21-23. (Wang S, Hu K X, Wang S S, et al. The comparison and analysis of protein and amino acid contents of beans in sprouting period[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2003,25(1):21-23. )

[5] 金庆跃,宋爱清,毛唯叶,等. 大豆异黄酮对不同雌激素受体基因型绝经后妇女骨代谢的影响[J]. 中国老年学杂志,2011,31(2):503-504. (Jin Q Y, Song A Q, Mao W Y, et al. Effects of soybean isoflavones on bone metabolism in postmenopausal women with different estrogen receptor genotypes[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2011,31(2):503-504. )

[6] 韩小存,丁长河. 大豆膳食纤维和大豆异黄酮对糖尿病影响[J]. 粮食与油脂,2012(6):7-9. (Han X C, Ding C H. The effect of soybean dietary fiber and soybean isoflavones on diabetes[J]. Cereals & Oils, 2012(6):7-9. )

[7] Hagen M K, Ludke A, Araujo A S, et al. Antioxidant characterization of soy derived products *in vitro* and the effect of a soy diet on peripheral markers of oxidative stress in a heart disease model[J]. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 2012,90(8):1095-1103.

[8] Yang Q, Qin L, Trust Beta. Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids[J]. Journal of Food Chemistry,2010,121:140-147.

[9] 陈玥,陈野. 黄豆芽生产工艺及营养物质变化研究[J]. 食品研究与开发,2015,36(24):111-115, 137. (Chen Y, Chen Y. Studies on soybean sprouts production technology and nutrition changes[J]. Food Research and Development, 2015,36(24):111-115,137. )

[10] 线郁,张林,赵楠楠,等. 优质豆芽菜生产研究现状与展望[J].

安徽农业科学,2009,37(20):9446-9448. (Xian Y, Zhang L, Zhao N N, et al. Study advances and prospect of high-quality bean sprouts[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(20):9446-9448. )

[11] 李晓红,李淑荣,罗红霞,等. 芽苗活性成分研究进展[J]. 粮食与油脂,2019,32(12):1-4. (Li X H, Li S R, Luo H X, et al. A review of bioactive compounds in sprouts[J]. Cereals & Oils, 2019,32(12):1-4. )

[12] 张永清,顾振新,张颖,等. 豆芽生产中大豆浸泡条件与吸水率和发芽率的关系研究[J]. 食品研究与开发,2007(11):26-29. (Zhang Y Q, Gu Z X, Zhang Y, et al. Study on sucked water rate and sprout rate associated with soaking condition in soybean sprout production[J]. Food Research and Development, 2007(11):26-29. )

[13] 高亮,孙继发,潘玲. 酵素对绿豆芽生长发育、产量和品质的影响[J]. 蔬菜,2020(4):15-20. (Gao L, Sun J F, Pan L. Effects of enzyme on the growth, yield and quality of mungbean sprouts[J]. Vegetables, 2020(4):15-20. )

[14] 李长凤,王沙沙,崔小利,等. 4-氯苯氧乙酸钠对大豆芽品质的影响及其安全风险性分析[J]. 食品与发酵工业,2017,43(10):80-87. (Li Y F, Wang S S, Cui X L, et al. Analysis of sodium 4- chlorophenxyacetate on bean sprouts quality and safety evaluation[J]. Food and Fermentation Industries, 2017,43(10):80-87. )

[15] 李振艳,张永忠,任红波. 大豆发芽过程中异黄酮、 $\gamma$ -氨基丁酸等成分含量变化的研究[J]. 食品工业科技,2009,12:356-361. (Li Z Y, Zhang Y Z, Ren H B. Study on change of isoflavones,  $\gamma$ -GABA and other compositions during the germination of soybean [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009,12:356-361. )

[16] 申海进,汪海峰,袁健,等. 大豆发芽期异黄酮含量变化的研究及其促进剂的影响[J]. 中国粮油学报,2012,21(6):75-77. (Shen H J, Wang H F, Yuan J, et al. Effect of accelerant on isoflavone content in soybean sprouts[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012,21(6):75-77. )

[17] 都启晶,王艺颖,丁君,等. 大豆发芽过程中维生素 C、异黄酮含量变化及其抗氧化性的研究[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(9):3608-3613. (Du Q J, Wang Y Y, Ding J, et al. Changes of vitamin C, isoflavone and antioxidant activity during the germination of soybean[J]. Food Safety and Quality Detection Technology, 2015,6(9):3608-3613. )

[18] 曾庆真,牛文慧,邵淑娟. 大豆发芽过程中异黄酮含量和抗氧化活性变化研究[J]. 粮食与油脂,2014,27(8):53-55. (Zeng Q Z, Niu W H, Shao S J. Study on change of isoflavone content and antioxidant activity during the germination of soybean[J]. Cereals & Oils, 2014,27(8):53-55. )

[19] 刘琴,牛文慧,张薇娜,等. 大豆与大豆芽中异黄酮的含量、组成及分布比较研究[J]. 食品工业科技,2013,21:60-64. (Liu Q, Niu W H, Zhang W N, et al. Comparison of the isoflavone content and isoflavone profile in soybean and germinated soybean [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 21:60-64. )

[20] Luz M P, Mark A B, José Marcos G M. Effect of time and temperature on bioactive compounds in germinated Brazilian soybean cultivar BRS 258 [J]. Journal of Food Research International,2010,43:1856-1865.

[21] Guajardo-Flores D, García-Patiño M, Serna-Guerrero D. Characterization and quantification of saponins and flavonoids in sprouts, seed coats and cotyledons of germinated black beans[J]. Journal of Food Chemistry,2012,134:1312-1319.

[22] 丁杰. 改性乳清蛋白制备脂肪替代品的研究[D]. 天津:天津科技大学,2011. (Ding J. Study on the preparation of fat substitutes by modified whey protein [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology,2011. )

[23] 康玉凡,刘腾飞,程须珍,等. 芽用绿豆品种种子粒性状及其豆芽生理特性研究[J]. 植物遗传资源学报, 2011,12(6):986-991. (Kang Y F, Liu T F, Chen X Z, et al. seed coat trait and physiological characteristics of sprout mung-bean[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011,12(6):986-991. )

[24] 尹成杰,王培,周玉丽,等. 8 个豆芽豆制品种籽粒性状及豆芽营养品质比较[J]. 安徽科技学院学报,2018,32(6):48-52. (Yi C J, Wang P, Zhou Y L, et al. Comparison of grain character and nutritional quality of bean sprout of eight soybean varieties[J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2018, 32(6):48-52. )

[25] Park N I, Xu H, Li X, et al. Overexpression of phenylalanine ammonia-lyase improves flavones production in transgenic hairy root cultures of *Scutellaria baicalensis* [J]. Process Biochemistry, 2012,47(12):2575-2580.

[26] 王慧芳,来吉祥,王东晖,等. 中黄 13 大豆发芽期间异黄酮类成分变化规律的研究[J]. 中国粮油学报,2015,30(9):13-17. (Wang H F, Lai J X, Wang D H, et al. Kinetic changes of isoflavone components during germination in Zhonghuang 13 [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(9):13-17. )