

## <sup>60</sup>Co-γ 诱变大豆品质与农艺性状关联度分析

郭数进<sup>1</sup>, 杨凯敏<sup>1</sup>, 周永航<sup>1</sup>, 王燕平<sup>2</sup>, 李贵全<sup>1\*</sup>

(1. 山西农业大学 农学院, 山西 太谷 030801;

2. 黑龙江省农业科学院 牡丹江分院, 黑龙江 牡丹江 157041)

**摘要** 以经<sup>60</sup>Coγ 辐射的大豆品种晋大 78 M5 代为材料, 应用灰色关联度分析诱变后代蛋白质、脂肪含量与各农艺性状的关联度; 利用聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)技术, 研究后代各品系 7S、11S 及其亚基相对含量, 并分析其与蛋白质、脂肪含量的相关性。结果表明: 各性状中, 脂肪和蛋白质的变异系数最小, 主茎粗、株高、百粒重和主茎节数 4 个农艺性状的变异程度较低; 单株产量、主茎节数、百粒重和主茎粗 4 个农艺性状与蛋白质含量、脂肪含量均有较高的关联度; 7S 相对含量与 11S 相对含量呈极显著负相关, 7S、11S 各亚基与其相对含量均呈极显著正相关; 7S 相对含量与蛋白质、脂肪含量均呈正相关, 11S 相对含量与蛋白质含量呈正相关, 与脂肪含量呈负相关。品系 14、16 的 α'、α 亚基相对含量较低, 可用于特殊加工, 也可为选育 7S 球蛋白缺失品种提供种质资源。

**关键词** 大豆; <sup>60</sup>Co-γ 诱变; 品质; 农艺性状; 关联度

中图分类号 S 565.1

文章编号 1007-4333(2016)06-0019-09

文献标志码 A

## Correlation analysis between quality and agronomic traits of mutation soybean irradiated by <sup>60</sup>Co-γ

GUO Shu-jin<sup>1</sup>, YANG Kai-min<sup>1</sup>, ZHOU Yong-hang<sup>1</sup>, WANG Yan-ping<sup>2</sup>, LI Gui-quan<sup>1\*</sup>

(1. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural sciences, Mudanjiang 157041, China)

**Abstract** Taking soybean cultivar Jinda78 and its mutation progeny M5 irradiated by <sup>60</sup>Coγ as materials, coefficient of variation was utilized for genetic analysis of quality and 11 agronomic traits in mutation progeny. Grey relational analysis was conducted for correlation between quality and 11 agronomic traits in mutation progeny. SDS-PAGE was used for analysis of relative contents of β-conglycinin soy protein (7S), glycinin soy protein (11S), and their subunits. Furthermore, the correlation between protein and oil contents and the relative contents in mutation progeny were researched. The results showed that: Among the traits, oil and protein displayed the lowest coefficients of variation; Mainstem thickness, plant height, 100-seed weight and mainstem node number showed lower variation degree; Yield per plant, mainstem node number, 100-seed weight and mainstem thickness had higher relational degree with the contents of both protein and oil; The relative content of 7S showed significant and strong negative correlation with the relative content of 11S. All relative contents of the subunits of 7S and 11S showed significant and strong positive correlation with their relative contents; The relative content of 7S had positive correlation with both protein and oil contents. The relative content of 11S had positive correlation with protein content, and negative correlation with oil content. In conclusion, line 14 and 16 of Jinda78 M5 had lower relative contents of the subunits of α' and α. Therefore, these two lines can be used in special processing and plant breeding for cultivars without β-conglycinin soy protein.

**Keywords** soybean; <sup>60</sup>Co-γ irradiation; quality; agronomic traits; correlation degree

大豆 [*Glycine max* (L.) Merri.] 是世界上栽培最广的豆科作物, 在粮食生产和食品加工领域发

挥着重要作用<sup>[1]</sup>。尽管大豆的种质资源比较丰富, 但仍存在遗传基础狭窄的问题, 不利于持续开发品

收稿日期: 2015-11-04

基金项目: 山西省农业科技成果转化资金项目; 山西农业大学科技创新基金项目 (2006057)

第一作者: 郭数进, 讲师, 博士, 主要从事大豆遗传育种与品质改良专业研究, E-mail: williamletter@163.com

通讯作者: 李贵全, 教授, 主要从事大豆遗传育种与品质改良专业研究, E-mail: li-gui-quan@126.com

种的品质潜力<sup>[2]</sup>。诱变育种可以增加品种变异几率,改善特定性状,因此作为常规育种的重要补充,可扩大变异谱,优化后代品质<sup>[3]</sup>。大豆富含优质的植物性蛋白和油脂,且不含胆固醇<sup>[4-5]</sup>,大豆最主要的品质性状是蛋白质和脂肪含量<sup>[6]</sup>。在大豆蛋白质中,7S组分占30%~35%,11S组分占25%~35%,是大豆蛋白质的主要组成部分<sup>[7]</sup>。7S和11S组分具有重要的营养特性<sup>[8]</sup>,两者在亚基构成、功能特性上均有较大差异<sup>[9]</sup>,这两种组分及其亚基的相对含量对大豆蛋白质和脂肪含量、加工品质均具有重要影响<sup>[10,11]</sup>。

随着诱变育种技术的发展,<sup>60</sup>Co $\gamma$ 辐射诱变以其高效能、无污染、低成本、速度快的优点,成为了应用最广泛的一种核育种技术<sup>[12-13]</sup>。目前,对应用<sup>60</sup>Co $\gamma$ 辐射诱变作物品种的研究已有一定的报道:Tshilenge-Lukanda等<sup>[14]</sup>研究表明,经<sup>60</sup>Co $\gamma$ 射线照射后的品种,可以产生较高的变异率,诱变后代的品质有显著提高;Mudibu等<sup>[15]</sup>用<sup>60</sup>Co $\gamma$ 对3个不同大豆品种进行诱变,发现诱变后代群体的籽粒产量和产量构成因子均有显著增加;李慧峰等<sup>[16]</sup>对大豆品种晋豆24<sup>60</sup>Co $\gamma$ 诱变后代蛋白亚基所做的聚类分析表明,后代群体中7S、11S组分的含量变化明显,7S/11S比值分布范围较大。这些研究侧重于辐射诱变后,大豆品质、7S和11S的组分含量及亚基组成的变化,少有报道涉及诱变后代品质与农艺性状的关联分析,以及7S、11S组分及其各亚基与蛋白质、脂肪含量的相关性。

本研究旨在通过变异系数研究大豆品种晋大78经<sup>60</sup>Co $\gamma$ 辐射处理后,其诱变后代(M5代)群体中品质与农艺性状的变异,用灰色关联度鉴别出与蛋白质、脂肪关系最为密切的农艺性状,并结合聚丙烯酰胺(SDS-PAGE)凝胶电泳图谱技术和变异分析,研究诱变后代7S、11S及其各亚基相对含量及变异程度;进一步分析蛋白质、脂肪含量与7S、11S及其各亚基相对含量的相关性,从遗传、表型、亚基等综合水平,甄别出特定农艺性状、亚基和品系,为应用<sup>60</sup>Co $\gamma$ 辐射诱变技术选育高品质大豆品种提供优良种质和理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

选用山西农业大学大豆育种室育成的大豆品种晋大78(晋审豆2007001),对晋大78种子进行

<sup>60</sup>Co $\gamma$ 辐射处理(剂量率为1.6 Gy/min),选择其诱变后代M5代的28个品系为材料。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 品质和农艺性状测定

2013、2014年连续2年在山西农业大学大豆实验田育种圃种植供试品系材料。试验地块按照随机区组设计规划,设置3次重复,每小区:行长5.0 m,行距0.5 m,株距0.2 m。每个品系种植50株左右,栽培与田间管理按正常方法实施。收获时每个品系随机取样10株,测定株重、株高、结荚高度、有效分枝数、主茎节数、主茎荚数、主茎粗、单株荚数、单株粒数、单株产量、百粒重11个农艺性状;品质性状包括蛋白质和脂肪含量,用Infratec TM 1241 Grain Analyzer V5.00改进型近红外分析仪测定。

#### 1.2.2 SDS-PAGE 凝胶电泳

种子脱脂:将种子脱壳,在无菌双层滤纸间碾成粉末,称取0.1 g,置于2 mL离心管中,每管加入1.9 mL无水乙醚脱脂过夜,脱脂后,倾去脱脂液,用滤纸吸干脱脂液,风干,得到脱脂大豆干粉。

贮藏蛋白的提取:干粉中加入20 mL 0.05 mol/L的Tris-HCl(pH=8.0,含0.01 mol/L  $\beta$ -巯基乙醇)提取液,室温下提取1 h;于4 $^{\circ}$ C 10 000 r/min离心20 min,取上清,用1 mol/L HCl调pH至4.5;于4 $^{\circ}$ C 2 500 r/min离心15 min,弃上清,得到沉淀,用双纯水清洗2次,用滤纸吸干水分,室温风干,加入500  $\mu$ L上样缓冲液(1% SDS, 0.1 mol/L Tris-HCl, 0.01 mol/L  $\beta$ -巯基乙醇, 0.1 g/L 溴酚蓝, 150 g/L 蔗糖, pH 8.0),于4 $^{\circ}$ C冰箱中过夜,点样前沸水中煮5 min,混匀。

电泳:不连续垂直板状凝胶电泳<sup>[17]</sup>。凝胶厚0.75 mm,浓缩胶浓度5%,分离胶浓度10%~13%。取5  $\mu$ L贮藏蛋白提取液点样,接通电源,在120 V稳压下电泳。电泳后,立即将凝胶置于染色液(考马斯亮蓝R-250 200 mg,甲醇100 mL,冰醋酸20 mL,蒸馏水80 mL)中,30 min后,倒去染色液,加入脱色液(甲醇30 mL,冰醋酸10 mL,蒸馏水60 mL),直至谱带清晰,用250 mL 7%冰乙酸固定,凝胶成像系统拍照。

### 1.3 数据转换

根据灰色系统理论,分析11个农艺性状对蛋白质含量和脂肪含量的影响,按下列公式求得关联系数和关联度,关联度越大,则性状对蛋白质或脂肪含

量的影响越大。关联系数公式为:

$$\text{关联系数} \quad \epsilon_{0i}(K) = \frac{\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(K) + \rho\Delta_{\max}}$$

$$\text{关联度} \quad \gamma_{0i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \epsilon_{0i}(k)$$

式中:  $\Delta_{\min}$ 、 $\Delta_{\max}$  分别为各个时刻绝对差中的最小值和最大值;  $\Delta_{0i}$  取值为 0;  $\rho$  为分辨率, 取值为 0.1,  $\Delta_{0i}$  为被测性状数列与参考数列对应值之间的绝对值差。

#### 1.4 数据分析

蛋白谱带的识读依据 Liu 等<sup>[18]</sup> 和 Mujoo 等<sup>[19]</sup> 的方法, 亚基相对含量为该亚基光密度占所在泳道

总光密度的百分率(包括条带间区域), 采用 Bio-Rad 公司的 Quantity one 4.52 软件分析。试验数据用 Microsoft Office Excel 2003 及 DPS 6.5 软件进行分析, 运用 Paired-Samples T test 进行配对样本 T 检验, 比较亲本与诱变后代间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 亲本及诱变后代群体品质、农艺性状变异分析

结合变异系数, 并利用 Paired-Samples T test 方法对材料的 11 个农艺性状和 2 个品质性状进行分析可以看出(表 1), 诱变后代群体中农艺性状遗传变异系数由大到小为: 有效分枝数、结荚高度、单

表 1 品质和农艺性状变异系数及变异范围

Table 1 Coefficient of variation and range between quality and agronomic traits

性状 Traits	亲本 Parents	诱变后代 Mutation progeny			显著性 Significance	
	平均值 Mean±SD	平均值 Mean±SD	变异系数/% Coefficient of variation	变异范围 Range	<i>t</i>	<i>P</i>
有效分枝数 Number of valid branch	3.3±0.17	4.38±0.68	31.78	1.20~8.20	-3.723	0.065
结荚高度/cm Height of 1st pod	13.2±3.95	7.11±0.25	31.75	4.30~15.14	2.631	0.119
单株粒数 Seeds per plant	125.1±14.50	195.54±2.91	27.49	55.66~300.20	-10.442	0.009
单株产量/g Yield per plant	22.16±4.15	39.85±1.41	24.95	12.50~59.72	-10.907	0.008
株重/g Weight per plant	52.74±17.93	92.80±2.87	23.69	36.74~134.36	-4.277	0.051
单株荚数 Pods per plant	56.6±13.31	83.28±4.29	23.14	28.00~120.60	-3.514	0.072
主茎荚数 Number of stem pod	33.6±6.16	40.52±3.17	23.09	21.80~58.00	-1.289	0.326
主茎粗/cm Mainstem thickness	0.86±0.04	1.11±0.15	14.13	0.55~1.45	-2.234	0.155
株高/cm Plant height	86.35±5.63	96.99±1.40	12.53	75.98~121.06	-2.628	0.119
百粒重/g 100-seed weight	22.09±1.42	22.58±1.82	8.53	19.00~27.15	-0.277	0.808
主茎节数 Number of stem nodes	22.5±1.77	24.15±2.33	6.65	21.25~27.20	-0.698	0.557
脂肪含量/% Content of fat	20.28±0.08	20.20±0.93	3.44	19.17~22.03	0.151	0.894
蛋白质含量/% Content of protein	44.82±1.07	43.04±0.74	3.25	40.77~45.63	4.162	0.053

注: *t* 为负值表示前面一组样本的均值低于后面一组的均值;  $P < 0.05$  差异显著。

Notes: Negative value of *t* means the average value of the former group was lower than that of the latter group;  $P < 0.05$  represents significant difference.

株粒数、单株产量、株重、单株荚数、主茎荚数、主茎粗、株高、百粒重、主茎节数、脂肪含量、蛋白质含量。脂肪含量和蛋白质含量变异系数最小,且均小于10%,属弱变异<sup>[20]</sup>。农艺性状中,主茎粗、株高、百粒重、主茎节数的变异系数均不到20%,其中百粒重和主茎节数的变异系数也均小于10%<sup>[20]</sup>。除结荚高度、脂肪含量和蛋白质含量外,诱变后代在其他性状上,均高于亲本,尤其由差异性分析可看出,诱变后代在单株粒数和单株产量上显著高于亲本。

## 2.2 亲本及诱变后代群体品质与农艺性状关联度分析

通过分析蛋白质、脂肪含量与11个农艺性状的关联度值可知(表2、表3):各农艺性状与蛋白质含量的关联度由大到小为:主茎荚数、单株产量、主茎

表2 农艺性状与蛋白质含量的关联度

Table 2 Correlation degree between protein content and agronomic traits

性状 Trait	与蛋白质含量 的关联度 Correlation degree with protein content	位次 Rank
主茎荚数 Number of mainstem pod	0.88	1
单株产量 Yield per plant	0.68	2
主茎节数 Number of mainstem node	0.65	3
百粒重 100-seed weight	0.62	4
主茎粗 Mainstem thickness	0.52	5
结荚高度 Height of 1 <sup>st</sup> pod	0.49	6
有效分枝数 Number of valid branch	0.48	7
株高 Plant height	0.46	8
单株荚数 Pods per plant	0.42	9
株重 Weight per plant	0.36	10
单株粒数 Seeds per plant	0.27	11

表3 农艺性状与脂肪含量的关联度

Table 3 Correlation degree between oil content and agronomic traits

性状 Trait	与脂肪含量 的关联度 Correlation degree with oil content	位次 Rank
百粒重 100-seed weight	0.96	1
主茎节数 Number of mainstem node	0.94	2
单株产量 Yield per plant	0.86	3
主茎粗 Mainstem thickness	0.77	4
结荚高度 Height of 1 <sup>st</sup> pod	0.71	5
有效分枝数 Number of valid branch	0.70	6
主茎荚数 Number of mainstem pod	0.63	7
株高 Plant height	0.37	8
单株荚数 Pods per plant	0.35	9
株重 Weight per plant	0.30	10
单株粒数 Seeds per plant	0.24	11

节数、脂肪、百粒重、主茎粗、结荚高度、有效分枝数、株高、单株荚数、株重、单株粒数。其中,主茎荚数、单株产量、主茎节数、百粒重、主茎粗5个性状的关联度分别是0.88、0.68、0.65、0.62、0.52。各农艺性状与脂肪含量的关联度由大到小为:百粒重、主茎节数、单株产量、主茎粗、结荚高度、有效分枝数、主茎荚数、株高、单株荚数、株重、单株粒数。其中,百粒重、主茎节数、单株产量、主茎粗、结荚高度5个性状的关联度分别为0.96、0.94、0.86、0.77、0.71。由此可见,单株产量、主茎节数、百粒重、主茎粗4个农艺性状与蛋白质和脂肪含量的关系均较为密切。大豆蛋白和脂肪的形成,是干物质积累并定向运输

的结果,而这些性状也与物质的积累和运输有密切关系<sup>[21]</sup>,因而可以作为高油或高蛋白品系鉴定的表型指标。

### 2.3 诱变后代 7S、11S 及其各亚基 SDS-PAGE 谱带分析

对<sup>60</sup>Co $\gamma$  诱变后代各品系进行 SDS-PAGE 凝胶电泳试验后发现(图 1),各品系 7S、11S 球蛋白 SDS-PAGE 图谱由一系列亚基组成,不同品系间谱带由上至下都含有  $\alpha'$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、A3、Acid、Basic 6 种带,不同品系各亚基含量不同,尤其是 14、16 两个品系的  $\alpha'$ 、 $\alpha$  亚基的含量已明显低于其他品系,表明对大豆进行<sup>60</sup>Co $\gamma$  诱变处理后,诱变后代 M5 代中出现了 7S 球蛋白含量较低,11S/7S 比值较高的品系,有效地拓展了大豆品种遗传变异的范围。品系 16、23 和 25 在  $\alpha'$  亚基上有新带,表明有新的亚基出现<sup>[22]</sup>,这可能是由于<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射的高能电离作用对特定蛋白产生了影响,从而改变了蛋白结构<sup>[14]</sup>。

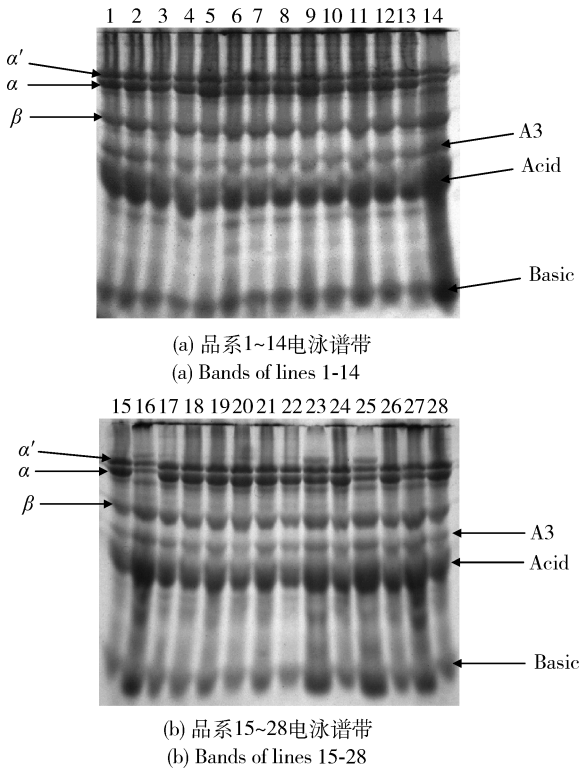
### 2.4 诱变后代蛋白 11S、7S 组分及其各亚基变异分析

利用方差和变异系数对诱变后代不同蛋白亚基相对含量分析后可以看出(表 4),各蛋白亚基相对含量变异较大,7S 球蛋白中的  $\alpha'$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  和总 7S 平均质量分数分别为 6.22%、6.07%、7.79% 和 20.08%;11S 球蛋白中的 A3、Acid、Basic 和总 11S 平均质量分数分别为 8.92%、9.70%、7.85% 和 27.47%。从各亚基平均含量可知,诱变后代中 11S 球蛋白含量高于 7S 球蛋白含量。7S 球蛋白中  $\beta$  亚基含量最高,其次是  $\alpha'$  亚基, $\alpha$  亚基含量最低,11S 球蛋白中 Acid 亚基含量最高,其次为 A3 亚基, Basic 亚基含量最低。

变异系数从大到小排列分别为:Basic(68.15%)、Acid(67.01%)、 $\alpha$ (56.51%)、 $\beta$ (55.46%)、A3(54.74%)、7S(41.83%)、11S(38.26%)、 $\alpha'$ (37.62%)。11S/7S 均值为 1.05,变异系数为 50.48%,各亚基和总 7S、11S 含量的变异系数均超过 10%,变异幅度较大,说明<sup>60</sup>Co $\gamma$  诱变处理,增加了大豆 M5 代蛋白组分与亚基含量的变异程度,丰富了变异后代在营养成分和加工品质方面的遗传背景,因此,<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射诱变可以在多用途大豆原料开发、利用方面发挥作用。

### 2.5 诱变后代蛋白质、脂肪含量与 7S、11S 组分相关性分析

对诱变后代蛋白质、脂肪含量与 7S、11S 组分的相关性分析表明(表 5),7S、11S 含量与蛋白质含量呈正相关。同时,7S 含量与脂肪含量呈正相关,11S 含量与脂肪含量呈负相关,而 7S 含量与 11S 含量呈极显著负相关,因此在 7S 含量低的大豆制品系中,11S 含量会相应提高,而脂肪含量也会相应降低。从 2.3 中的 SDS-PAGE 图谱分析可知,14、16 两个品系 7S 球蛋白含量明显低于其他品系,因而其 11S/7S 比值较高。而诱变后代蛋白质、脂肪含量分别与 7S、11S 各亚基相对含量的相关性分析则表明(表 6、7), $\alpha'$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  与 7S 组分的含量均呈极显著正相关,其相关系数由大到小为  $\beta$ (0.77)、 $\alpha$ (0.62)、 $\alpha'$ (0.42);A3、Acid、Basic 与 11S 也呈极显著正相关,其相关系数由大到小为 Acid(0.83)、Basic(0.62)、A3(0.33)。因此,可以通过<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射诱变处理,改变大豆诱变后代中 7S、11S 组分特定亚基含量,继而改变 11S/7S 比值,获取优质、专用的大豆原料。



箭头分别指示 7S 组分的  $\alpha'$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  亚基和 11S 组分的 A3、Acid、Basic 亚基

The arrowheads indicate the subunits  $\alpha'$ ,  $\alpha$  and  $\beta$  of 7S, and the subunits A3, acid and basic of 11S, respectively

图 1 诱变后代各品系 7S 和 11S 电泳谱带

Fig. 1 Electrophoresis bands of 7S and 11S in lines of mutation progeny

表4 诱变后代7S、11S及其亚基相对含量的变异

Table 4 Variation of relative contents of 7S, 11S and their subunits in mutation pr1

球蛋白 Globulin	亚基 Subunit	最大值/% Max	最小值/% Min	平均值(% ) Mean	方差 Variance	标准差 Standard deviation	变异系数(% ) Coefficient of variation
7S	$\alpha'$	13.37	1.17	6.22	5.51	2.34	37.62
	$\alpha$	20.06	2.70	6.07	12.23	3.43	56.51
	$\beta$	20.42	1.34	7.79	18.66	4.32	55.46
	总和 Total	53.85	5.21	20.08	4.77	8.40	41.83
11S	A3	21.12	1.84	8.92	7.45	5.31	54.74
	Acid	27.45	1.35	9.70	26.90	6.50	67.01
	Basic	18.19	1.44	7.85	28.02	5.35	68.15
	总和 Total	54.16	8.00	27.47	54.38	10.51	38.26
	11S/7S	2.23	0.12	1.05	0.29	0.53	50.48

表5 诱变后代蛋白质、脂肪含量与7S、11S含量的相关性分析

Table 5 Correlation between relative contents of 7S, 11S and contents of protein and oil in mutation progeny

项目 Item	相关系数 Correlation coefficient			
	7S含量 7S content	11S含量 11S content	蛋白质含量 Protein content	脂肪含量 Oil content
	7S含量 7S content			
11S含量 11S content	-0.98**			
蛋白质含量 Protein content	0.11	0.14		
脂肪含量 Oil content	0.48	-0.32	-0.43**	

注: \*\*表示  $P < 0.01$  为极显著, 下同。Note: \*\* means extremely significant at  $P < 0.01$ . The same below.

表6 诱变后代蛋白质、脂肪含量与7S各亚基相对含量的相关性分析

Table 6 Correlation between relative contents of subunits of 7S and contents of protein and oil in mutation progeny

项目 Item	相关系数 Correlation coefficient					
	$\alpha'$ 亚基 $\alpha'$ subunit	$\alpha$ 亚基 $\alpha$ subunit	$\beta$ 亚基 $\beta$ subunit	7S含量 7S content	蛋白含量 Protein content	脂肪含量 Oil content
	$\alpha'$ 亚基 $\alpha'$ subunit					
$\alpha$ 亚基 $\alpha$ subunit	0.23					
$\beta$ 亚基 $\beta$ subunit	0.08	0.13				
7S含量 7S content	0.42**	0.62**	0.77**			
蛋白含量 Protein content	-0.07	-0.09	-0.09	0.11		
脂肪含量 Oil content	0.12	0.11	0.17	0.48	-0.43**	

表7 诱变后代蛋白质、脂肪含量与11S各亚基相对含量的相关分析

Table 7 Correlation between relative contents of subunits of 11S and contents of protein and oil in mutation progeny

项目 Item	相关系数 Correlation coefficient					
	A3 亚基 A3 subunit	Acid 亚基 Acid subunit	Basic 亚基 Basic subunit	11S 含量 11S content	蛋白含量 Protein content	脂肪含量 Oil content
A3 亚基 A3 subunit						
Acid 亚基 Acid subunit	-0.02					
Basic 亚基 Basic subunit	-0.31**	0.44**				
11S 含量 11S content	0.33**	0.83**	0.62**			
蛋白含量 Protein content	0.03	-0.06	0.04	0.14		
脂肪含量 Oil content	-0.06	0.01	-0.08	-0.32	-0.43**	

### 3 讨论

大豆蛋白质和脂肪含量是典型的数量性状,由多基因控制,并且涉及多种基因间及基因与环境间的互作效应<sup>[23]</sup>,因此在育种过程中较难把握,而农艺性状直观、准确、易于测定<sup>[24]</sup>,可以作为品质育种的选择指标<sup>[25]</sup>。本研究通过变异分析,从<sup>60</sup>Co $\gamma$  诱变后代的11个农艺性状中筛选出了主茎粗、株高、百粒重、主茎节数4个变异系数较低的性状;通过品质与农艺性状的关联度分析,进一步得出主茎节数、百粒重和主茎粗3个变异程度小、对蛋白质和脂肪含量均有极大影响的农艺性状。在<sup>60</sup>Co $\gamma$  诱变育种工作中,这些特殊性状可以作为筛选高品质材料的表型指标,也为寻求高品质大豆品种的理想株型提供了理论依据<sup>[26]</sup>。

改善大豆品质是<sup>60</sup>Co $\gamma$  诱变育种的重要目的<sup>[27]</sup>。本研究表明:在<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射处理的大豆诱变后代中,7S、11S球蛋白分别由 $\alpha'$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 和A3、Acid、Basic 6种亚基组成,7S和11S组分各亚基与其相对含量均呈极显著正相关,因此,可以通过亚基组成和含量来调控两种组分的含量,这与Quiroga等的研究结果一致<sup>[28]</sup>;诱变后代7S、11S组分的相对含量与蛋白质和脂肪含量有密切关系;在诱变后代的28个品系中,14、16两个品系的7S球蛋白亚基含

量较低,11S/7S比值较高。因此,对大豆进行<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射诱变,可以获得低7S含量、高11S/7S比值的诱变后代,改善了大豆加工品质<sup>[29]</sup>,丰富了变异后代的加工类型<sup>[30]</sup>,从而满足优质低脂豆奶<sup>[31]</sup>等食品产业对大豆的特殊需求。

<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射诱变育种技术,能够提高品种突变率,扩大突变谱,缩短育种年限,且有利于性状的稳定,已经成为获取优良种质、改善品种品质的一种重要育种手段<sup>[32-33]</sup>。在应用<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射诱变进行大豆育种时,对目标性状的选择应该有多种方式,本研究依据灰色关联度方法,将与蛋白质、脂肪含量关系最密切的农艺性状作为选择指标,同时把7S、11S组分及其各亚基的相对含量作为品质选择的依据。随着分子生物学技术的发展,许多与大豆品质有关的数量性状基因座(QTLs)已经被定位<sup>[34]</sup>;也可以通过分子标记辅助选择手段来提高大豆蛋白特定亚基的含量<sup>[8]</sup>。因此,在<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射诱变育种实践中,应将表型鉴定、细胞学分析与分子生物学技术有机结合,增加分子标记检测指标,丰富诱变大豆的性状选择和品系鉴定体系。

### 4 结论

本研究对大豆品种晋大78及其<sup>60</sup>Co $\gamma$  辐射诱变后代(M5代)群体的品质与农艺性状进行了关联

度分析,并分析了诱变后代 7S、11S 及其各亚基相对含量,各相对含量与蛋白质和脂肪的相关性,筛选出了主茎节数、百粒重和主茎粗 3 个变异系数低、且与蛋白质含量和脂肪含量均有较高关联度的农艺性状。诱变后代 28 个品系中,14、16 两个品系的  $\alpha'$ 、 $\alpha$  亚基相对含量较低,因而其 7S 球蛋白含量较低,11S/7S 比值较高,可以用作特殊加工,也可以为选育 7S 球蛋白亚基缺失品种提供种质资源。

### 参 考 文 献

- [1] Ainsworth E, Yendrek C, Skoneczka J, Long S. Accelerating yield potential in soybean: Potential targets for biotechnological improvement[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2012, 35(1): 38-52
- [2] Mulato B, Moller-Zucchi M, Quecini V, Pinheiro J. Genetic diversity in soybean germplasm identified by SSR and EST-SSR markers[J]. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2010, 45(3): 276-283
- [3] Goldenberg L, Yaniv Y, Porat R, Carmi N. Effects of gamma-irradiation mutagenesis for induction of seedlessness, on the quality of mandarin fruit[J]. *Food and Nutrition Sciences*, 2014, 5(10): 943-952
- [4] Goli M, Pande M, Bellaloui N. Effects of chelating agents on protein, oil, fatty acids, and minerals in soybean seed[J]. *Agricultural Sciences*, 2012, 3(4): 517-523
- [5] Dunford N. *Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing* [M]. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2012
- [6] Arumingtyas E, Savitri E, Purwoningrahayu R. Protein profiles and dehydrin accumulation in some soybean varieties (*Glycine max* L Merr) in drought stress conditions[J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2013, 4(1): 134-141
- [7] 罗立君,唐传核.大豆 7S 和 11S 凝胶样乳液流变特性及微观结构的研究[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(2): 242-246
- [8] Luo L J, Tang C H. Rheological properties and microstructure of cold, gel-like emulsions prepared with  $\beta$ -conglycinin and glycinin soy proteins [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(2): 242-246 (in Chinese)
- [9] Oltmans-Deardorff S, Fehr W, Shoemaker R. Marker-assisted selection for elevated concentrations of the  $\alpha'$  subunit of  $\beta$ -conglycinin and its influence on agronomic and seed traits of soybean[J]. *Crop Science*, 2013, 53(1): 1-8
- [10] Tan-Wilson A, Wilson K. Mobilization of seed protein reserves [J]. *Physiologia Plantarum*, 2012, 145(1): 140-153
- [11] Yang A, James A. Effects of soybean protein composition and processing conditions on silken tofu properties[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(12): 3065-3071
- [12] Deng K, Huang Y, Hua Y. Isolation of glycinin (11S) from lipid-reduced soybean flour; effect of processing conditions on yields and purity[J]. *Molecules*, 2012, 17(3): 2968-2979
- [13] Verma A, Singh R, Singh S. Mutation breeding in *Catharanthus roseus* (L) G Don: An overview[J]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2013, 2(1): 334-337
- [14] 陈海游,张忠和,秦志虹,张海涛.  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  射线辐射对胭脂虫 *Dactylopius coccus* Costa 生物学特征的影响[J]. *核农学报*, 2014, 28(6): 1030-1039
- [15] Chen H Y, Zhang Z H, Qin Z H, Zhang H T. The research on biological characteristics of cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) radiated by  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  ray [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(6): 1030-1039 (in Chinese)
- [16] Tshilenge-Lukanda L, Kalonji-Mbuyi A, Nkongolo K, Kizungu R. Effect of gamma irradiation on morpho-agronomic characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea* L) [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2013, 4(11): 2186-2192
- [17] Mudibu J, Nkongolo K, Kalonji-Mbuyi A, Kizungu R. Effect of gamma irradiation on morpho-agronomic characteristics of soybeans (*Glycine max* L) [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2012, 3(3): 331-337
- [18] 李慧峰,李贵全,李玲. 晋豆  $^{24}\text{Co}$  射线诱变后代种子贮藏蛋白的研究[J]. *核农学报*, 2008, 22(3): 260-264
- [19] Li H F, Li G Q, Li L. Study on seed storage protein of offspring  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  rays induced mutants of soybean Jindou24[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22(3): 260-264 (in Chinese)
- [20] 王燕平,李贵全,郭数进,王鹏. 山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异[J]. *生态学报*, 2011, 31(1): 0203-0211
- [21] Wang Y P, Li G Q, Guo S J, Wang P. Variation of protein subunits of soybean germplasms of different ecotypes in Shanxi [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 0203-0211 (in Chinese)
- [22] Liu C, Wang H, Cui Z, He X, Wang X, Zeng X, Ma H. Optimization of extraction and isolation for 11S and 7S globulins of soybean seed storage protein[J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(4): 1310-1316
- [23] Mujoo R, Trinh D, Ng P. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture[J]. *Food Chemistry*, 2003, 82(2): 265-273
- [24] 王淑英,于同泉,王建立,杨柳,杨凯,路莘. 北京市平谷区土壤有效微量元素含量的空间变异特性初步研究[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(1): 129-137
- [25] Wang S Y, Yu T Q, Wang J L, Yang L, Yang K, Lu P. Preliminary study on spatial variability and distribution of soil available microelements in Pinggu District of Beijing [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(1): 129-137 (in Chinese)
- [26] Board J E, Maricherla D. Explanations for decreased harvest index with increased yield in soybean[J]. *Crop Science*, 2008, 48(5): 1995-2002
- [27] 周瑞宝,周兵. 大豆 7S 和 11S 球蛋白的结构和功能性质[J]. *中国粮油学报*, 1998, 13(6): 39-42



- Zhou R B, Zhou B. The structure and function properties of soybean 7S and 11S globulin proteins [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 1998, 13(6): 39-42 (in Chinese)
- [23] Akond M, Liu S, Boney M, Kantartzi S, Meksem K, Bellaloui N, Lightfoot D, Kassem M. Identification of quantitative trait loci (QTL) underlying protein, oil, and five major fatty acids' contents in soybean [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2014, 5(1): 158-167
- [24] Kang M, Priyadarshan P. *Breeding Major Food Staples* [M]. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2007
- [25] Janick J. *Plant Breeding Reviews* [M]. Westport: AVI Publishing Company, Inc, 1983
- [26] Jeng T, Shih Y, Wu M, Wang C, Sung J. Evaluations and selections for high isoflavone black soybean mutants induced by  $\text{NaN}_3$  treatment [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2013, 4(8A): 35-40
- [27] Mudibu J, Nkongolo K, Mehes-Smith M, Kalonji-Mbuyi A. Genetic analysis of a soybean genetic pool using ISSR marker: effect of gamma radiation on genetic variability [J]. *International Journal of Plant Breeding*, 2011, 5(3): 235-245
- [28] Quiroga A, Aphalo P, Ventureira J. Physicochemical, functional and angiotensin converting enzyme inhibitory properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) 7S globulin [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92(2): 397-403
- [29] Zilic M, Barac M, Pesic M, Drinic S. Characterization of proteins from kernel of different soybean varieties [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(1): 60-67
- [30] Chen J, Chen X, Zhu Q, Chen F, Zhao X, Ao Q. Determination of the domain structure of the 7S and 11S globulins from soy proteins by XRD and FTIR [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(7): 1687 - 1691
- [31] Liu Z, Chang S. Chemical characteristics of low-fat soymilk prepared by low-speed centrifugal fractionation of the raw soymilk [J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(5): 420-427
- [32] 张天真. 作物育种学总论 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003  
Zhang T Z. *General Crop Breeding* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)
- [33] 刘朋虎, 江枝和, 雷锦桂, 王义祥, 翁伯琦. <sup>60</sup>Co 与紫外复合诱变选育姬松茸新品种—福姬 77 [J]. *核农学报*, 2014, 28(3): 0365-0370  
Liu P H, Jiang Z H, Lei J G, Wang Y X, Weng B Q. Breeding of a new variety of *Agaricus blazei* 'Fuji 77' by <sup>60</sup>Co combining with UV mutagenesis [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(3): 0365-0370 (in Chinese)
- [34] Akond M, Ragin B, Bazzelle R, Kantartzi S, Meksem K, Kassem M. Quantitative trait loci associated with moisture, protein, and oil content in soybean [*Glycine max* (L) Merr] [J]. *Journal of Agricultural Science*, 2012, 4(11): 16-25

责任编辑: 杨爱东