

文章编号:1000-8551(2011)05-0879-07

# 大豆突变体 *Gm-lpa-TW-1* 中低植酸性状与种子发芽率和糖份含量的相关性分析

袁凤杰 董德坤 李百权 傅旭军 朱丹华 朱申龙

(浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所,浙江 杭州 310021)

**摘要:**为明确低植酸突变体 *Gm-lpa-TW-1* 植酸性状突变与种子发芽率降低以及糖份含量变化的相关性,选用低植酸突变体 *Gm-lpa-TW-1* 与不同野生型亲本的杂交后代,低植酸纯合株系(LPA)和非低植酸纯合株系(HPA)为研究材料,分析不同株系在不同种植环境下收获种子的发芽率、总糖、蔗糖和低聚糖的含量。结果表明:无论是LPA株系还是HPA株系春播种子的发芽率均显著低于秋播种子;同一杂交组合中LPA株系春播种子的发芽率显著低于HPA株系春播种子;鲜食大豆杂交组合后代的LPA株系发芽率低于粒用大豆杂交组合的LPA株系;但在所有杂交组合后代株系中均可以筛选到发芽率显著高于突变亲本 *Gm-lpa-TW-1* 的LPA株系。糖份含量分析表明:LPA和HPA株系之间总糖含量无明显差异;LPA株系的蔗糖含量极显著地高于HPA株系的蔗糖含量,低聚糖含量则表现为极显著低于HPA株系,3种糖份含量在LPA和HPA株系之间的差异不受种植环境影响。LPA株系种子发芽率受到突变基因与环境互作的影响,高温环境对LPA株系种子的发芽率影响较大;通过遗传改良可以有效改善LPA突变基因对种子发芽率的不良影响。LPA株系中的低植酸性状与高蔗糖低寡聚糖性状表现为连锁遗传,有利于选育品质更为优良的大豆新品种。

**关键词:**大豆;低植酸;低聚糖;蔗糖;发芽率

## RELATIONSHIP OF LOW PHYTATE TRAIT WITH SEED GERMINATION AND CARBOHYDRATES CONTENT IN SOYBEAN MUTANT *Gm-lpa-TW-1*

YUAN Feng-jie DONG De-kun LI Bai-quan FU Xu-jun ZHU Dan-hua ZHU Shen-long

(Institute of Crop Science and Nuclear Technology Utilization, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021)

**Abstract:** The relationship between the low phytate mutation with seed germination and carbohydrate content homozygous  $F_5$  lines with/without *lpa* gene derived from mutant and different wild type parents were analyzed. The results showed that LPA(low phytic acid)/HPA(high phytic acid) lines developed in autumn had higher seed germination rate than that developed in spring. LPA lines had lower seed germination rate than HPA lines when they all developed in spring. However, in all crosses LPA lines with higher seed germination rate than mutant parent *Gm-lpa-TW-1* was observed. No significant difference was detected between LPA and HPA lines when they developed in autumn. Homozygous LPA lines derived from vegetable soybean had lower seed germination than those from non-vegetable soybean varieties. There was no significant difference in total carbohydrate content between LPA and HPA homozygous lines, but the sugar content of LPA homozygous lines was significant higher than HPA lines. On the contrary, oligosaccharides content with LPA lines were significant lower than those with HPA homozygous lines in all planting environment. It is concluded that seeds field

收稿日期:2010-12-02 接受日期:2011-04-22

基金项目:国家自然科学基金项目(30771356;30871542)

作者简介:袁凤杰(1971-),女,黑龙江省鹤岗市,博士,副研究员,主要从事大豆遗传育种与种质资源创新工作。Tel:0571-86404094; E-mail:

fjyuanhz@126.com

germination rate were affected by low phytate mutation gene and planting environment, and lower seed germination rate phenotype of LPA lines could be improved by genetic method. Mutant *Gm-lpa-TW-1* of LPA phenotype was genetic linkage with high sugar and low oligosaccharides phenotype, so it should be benefit to breed new soybean varieties with better quality.

**Key words:** soybean; low phytate; oligosaccharides; sugar; germination

植酸是大豆种子中磷元素的主要形式,约占大豆种子总磷的60%以上。由于人和单胃动物体内缺乏植酸酶,因此植酸磷不能被其消化吸收和利用;为满足动物对磷元素的需求,往往在饲料中添加无机磷或植酸酶,这无疑增加了饲养成本;而且饲料中的植酸磷被动物排泄到环境中,造成磷元素的浪费和污染<sup>[1]</sup>。因此,降低大豆等主要作物种子中的植酸含量是解决上述问题最为经济、有效和环保的方法,同时动物试验也表明,低植酸作物可以有效提高动物对磷元素和蛋白的利用率,对动物营养和生态环境具有积极的作用<sup>[2,3]</sup>。主要农作物中低植酸突变体研究均有报道,对低植酸突变体进行农艺和品质性状的评价分析是新品种选育的前提。在大麦、大豆和水稻的低植酸突变体农艺性状研究中,发现突变体种子发芽率普遍存在劣变的趋势<sup>[4-6]</sup>,在大豆中还有低植酸突变体品质性状劣变的报道<sup>[7]</sup>,这些已成为限制低植酸突变体在遗传育种中应用的主要因子。然而也有研究表明,通过遗传改良的方法可以有效提高突变系的发芽率,从而得到发芽率较好的低植酸突变系<sup>[8-10]</sup>。

*Gm-lpa-TW-1* 是通过辐射诱变获得的大豆低植酸突变体,其植酸含量与野生型亲本相比下降了60%以上,无机磷含量显著增加。初步的农艺和品质性状研究表明:突变体种子发芽率显著低于野生型亲本,存在劣变的趋势;而且糖类化合物(蔗糖和低聚糖)的含量也发生了显著变化<sup>[11]</sup>。为进一步研究植酸性状突变对发芽率以及糖份含量的影响,探讨遗传改良对于提高该突变体发芽性状的可行性,分析糖份含量与植酸含量可能存在的相关关系,本研究利用低植酸突变体和不同野生型亲本的杂交后代,纯合的低植酸(LPA)和非低植酸(HPA)株系,分析不同种植环境下收获种子的发芽率和糖份含量。研究结果可为 *Gm-lpa-TW-1* 突变体的遗传改良和育种提供基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料及其种植

亲本材料为低植酸突变体 *Gm-lpa-TW-1*、浙春3号、中豆27和浙鲜豆4号。株系材料为2008年春用

突变体和野生型亲本分别配制杂交组合 *Gm-lpa-TW-1* × 浙春3号、*Gm-lpa-TW-1* × 中豆27和 *Gm-lpa-TW-1* × 浙鲜豆4号。当年秋繁、南繁加代至 F<sub>2</sub> 代,单株收获 F<sub>2</sub> 种子后,检测高无机磷(低植酸)和低无机磷表型,在每个组合中,分别随机选取60份纯合的LPA和HPA单株,2009年春季、秋季和冬季,在海南和杭州的浙江省农科院试验基地,自交繁殖3个世代,至 F<sub>5</sub> 株系,每个种植世代均对株系进行高、低无机磷表型的检测。2009年冬季和2010年的春、秋两季,亲本材料和 F<sub>5</sub> 株系在海南陵水和杭州的浙江省农科院试验田种植,田间设计采用随机区组法,小区面积7m<sup>2</sup>,3行区,行长6m,行距0.4m,密度18万株/hm<sup>2</sup>,3次重复。植株成熟后,收获的种子自然风干,储存于-20℃冰箱中用于糖份含量和发芽率的分析。

### 1.2 方法

1.2.1 低植酸(LPA)表型分析 植酸含量采用无机磷比色法间接评价<sup>[12]</sup>,具体方法为:每个单株取8粒种子,每粒种子取1/2置于96孔深孔板中,按照1μl/mg的比例加入0.4mol/L HCl提取液,室温下浸提过夜,第2天吸取10μl的提取液置于96孔酶标板中,加入90μl ddH<sub>2</sub>O和100μl的比色液(3mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:2.5%钼酸铵:10%抗坏血酸:ddH<sub>2</sub>O=1:1:1:2),室温下放置30min观察颜色变化。颜色为深蓝色的是高无机磷(LPA突变型),不显色的为低无机磷(野生型)。对 F<sub>2</sub> 植株,所结种子都显蓝色的为LPA突变纯合体,全部种子为无色的是野生型纯合体,部分种子显蓝色、部分为无色的是杂合体。

1.2.2 大豆种子发芽率的测定 每个株系取发育良好、形态完整自然风干的种子50粒,种子均匀排列在垫有滤纸的培养皿中,加入适量的水,放置在25℃条件下,3次重复,种子萌发后记录种子的发芽粒数。

1.2.3 分析样品的制备 每个株系取100g成熟风干的大豆种子,去杂选净,置于真空干燥箱内,60℃真空干燥72h,旋风式粉碎机粉碎,过60目网筛;样品置于干燥器中,低温干燥保存。

1.2.4 糖份含量分析 每个样品取0.15g大豆粉至2ml离心管中,加入1.5ml去离子水,200r/min振荡2~3h,14000r/min离心10min,取上清液800μl转入新

的 2ml 离心管,加入 0.7ml 乙腈,充分混匀,室温放置 30min, 14000r/min 离心 10min, 取 500 $\mu$ l 上清液 0.2 $\mu$ m 的滤膜过滤至新的 1.5ml 离心管,取 24 $\mu$ l 滤液至 1.5ml HPLC 加样瓶,加入 576 $\mu$ l 去离子水,在高效液相色谱上进行糖份分析。HPLC 为 Agilent110 系列, 2424 示差检测器, C18 分离柱, 流动相为乙腈:水 = 7:3, 流速 1ml/min, 柱温 40 $^{\circ}$ C。糖标准样品包括:葡萄糖、蔗糖、棉籽糖和水苏糖,均购于 Sigma 公司。

### 1.3 统计方法

方差分析和多重比较数据用 SAS9.0 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 LPA/HPA 株系发芽率的比较分析

分析不同杂交组合后代株系的发芽率,结果表明:所有杂交组合,无论是 HPA 还是 LPA 株系,秋播种子发芽率均极显著高于春播种子,如 *Gm-lpa-TW-1*  $\times$  浙鲜豆 4 号组合,HPA 和 LPA 春播种子发芽率分别为 56.1% 和 41%,而秋播种子的发芽率则高达 88.8% 和 82.4%;种植环境对所有种子的发芽率影响显著(表 1)。进一步分析同一组合中相同种植季节 HPA 和 LPA 株系种子的发芽率,发现 3 个杂交组合后代中春播 HPA 株系种子的平均发芽率均显著高于 LPA 株系,秋播 HPA 株系种子的发芽率与 LPA 无显著差异,其发芽率均可达 85% 以上,高温环境对 LPA 种子的发

芽率影响更大(图 1)。尽管春播 LPA 株系种子的平均发芽率低于 HPA 种子,但从 3 个杂交组合 LPA 株系发芽率变异幅度可以看出,LPA 株系之间的发芽率表现出明显的差异(表 1),如 *Gm-lpa-TW-1*  $\times$  浙春 3 号组合,LPA 株系春播种子的最高发芽率达到了 76.5%,变异幅度为 48.1% ~ 76.5%,高于亲本 *Gm-lpa-TW-1* 春播种子的发芽率<sup>[11]</sup>,说明通过杂交选育可有效改良

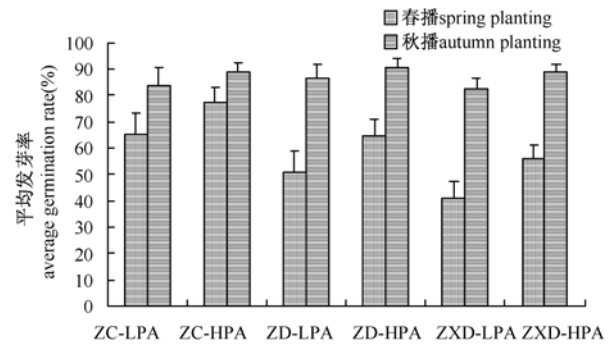


图 1 突变体 *Gm-lpa-TW-1* 与不同野生型亲本杂交  $F_5$  世代 HPA/LPA 纯合株系的平均发芽率

Fig. 1 The germination rates of homozygous  $F_5$  LPA/HPA lines in crosses of

*Gm-lpa-TW-1* and different wild type parents

ZC: 浙春 3 号; ZD: 中豆 27; ZXD: 浙鲜豆 4 号; LPA: 低植酸株系; HPA: 非低植酸株系。下图表同。

ZC: Zhechun 3; ZD: Zhongdou 27; ZXD: Zhexiandou 4; LPA: low phytic acid; HPA: high phytic acid.

The same as following tables and figures.

表 1 *Gm-lpa-TW-1* 与野生型亲本杂交  $F_5$  世代中 HPA/LPA 纯合株系在不同播种季节的发芽率分析

Table 1 Analysis of germination rates of homozygous  $F_5$  LPA/HPA lines in crosses of *Gm-lpa-TW-1* and different wild type parents (%)

品系 lines	平均 average		中值 middle		变异幅度 variable range	
	LPA	HPA	LPA	HPA	LPA	HPA
<i>Gm-lpa-TW-1</i> $\times$ 浙春 3 号 $F_5$ 株系 $F_5$ homozygous lines from cross <i>Gm-lpa-TW-1</i> and Zhechun 3						
杭州春季 Hangzhou spring	65.3 <sup>A*</sup> $\pm$ 8.06	77.5 <sup>a</sup> $\pm$ 5.65	67.6	78.5	48.1 ~ 76.5	66.3 ~ 86.7
杭州秋季 Hangzhou autumn	84.0 $\pm$ 6.6	88.7 $\pm$ 3.7	85.8	89.3	65.9 ~ 92.1	80.8 ~ 96.3
<i>Gm-lpa-TW-1</i> $\times$ 中豆 27 $F_5$ 株系 $F_5$ homozygous lines from cross <i>Gm-lpa-TW-1</i> and Zhongdou 27						
杭州春季 Hangzhou spring	50.5 <sup>A</sup> * $\pm$ 8.3	64.9 <sup>A</sup> $\pm$ 6.2	50.2	66.1	36.2 ~ 63.5	49.9 ~ 76.9
杭州秋季 Hangzhou autumn	86.3 $\pm$ 5.4	90.4 $\pm$ 3.5	88.7	90.2	70.9 ~ 91.5	80.4 ~ 97.2
<i>Gm-lpa-TW-1</i> $\times$ 浙鲜豆 4 号 $F_5$ 株系 $F_5$ homozygous lines from cross <i>Gm-lpa-TW-1</i> and Zhexiandou 4						
杭州春季 Hangzhou spring	41.0 <sup>A*</sup> $\pm$ 6.2	56.1 <sup>A</sup> $\pm$ 5.2	40.1	55.5	30.1 ~ 52.9	49.8 ~ 66.8
杭州秋季 Hangzhou autumn	82.4 $\pm$ 4.3	88.8 $\pm$ 3.2	81.8	88.6	70.9 ~ 89.9	78.9 ~ 95.2

注: <sup>A</sup> 和 <sup>a</sup> 分别表示杭州春播株系的平均发芽率在 0.05 和 0.01 水平上显著低于杭州秋播株系; \* 表示 LPA 株系的平均发芽率在 0.05 水平上显著低于同一播种季节的 HPA 株系。

Note: <sup>A</sup> and <sup>a</sup> mean significant different at the 0.05 and 0.01 probability level respectively; \* means significant different at the 0.05 probability level.

LPA 株系种子的发芽率。此外我们还发现在低植酸突变体与鲜食大豆浙鲜豆 4 号的杂交组合中, LPA 春播种子的平均发芽率较低, 仅为 41.03%, 变异范围为 30.1% ~ 52.9%, 低于 *Gm-lpa-TW-1* × 浙春 3 号(粒用大豆)杂交后代株系春播时的 65.3% (表 1)。说明通过遗传改良可有效提高低植酸株系种子的发芽率, 但不同杂交组合得到的改良效果不尽相同。

## 2.2 LPA/HPA 株系含糖量的比较分析

2.2.1 总糖 分析 *Gm-lpa-TW-1* × 浙春 3 号杂交  $F_5$  世代 LPA/HPA 纯合株系的总糖含量发现: 杭州秋播

的 LPA 株系总糖平均为 157.8mg/g, 高于 HPA 株系的平均含量(130.4mg/g), (海南)冬播种子的 LPA 与 HPA 株系的平均含糖量非常相近, 分别为 143.6 和 144.5mg/g(表 2), 可见总糖平均含量在 HPA 和 LPA 株系间差异不显著。进而分析 HPA 和 LPA 个体总糖含量, 发现所有 LPA 植株的总糖含量在杭州秋播的种子中均略高于 HPA 植株系, 而(海南)冬播种子中略低于 HPA 株系(图 2)。HPA 和 LPA 株系对环境的反应不一致。

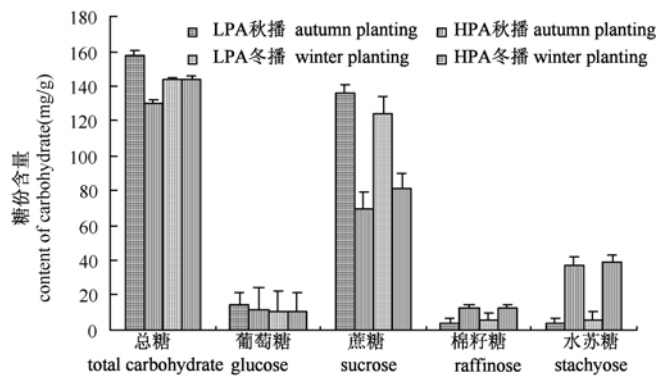


图 2 *Gm-lpa-TW-1* × 浙春 3 号杂交  $F_5$  世代在不同种植季的 LPA/HPA 株系的糖类化合物含量比较

Fig. 2 The carbohydrate content of homozygous  $F_5$  LPA/HPA lines developed in different planting season in cross of *Gm-lpa-TW-1* and Zhechun 3

2.2.2 葡萄糖 葡萄糖是易于消化吸收的大豆糖。对不同亲本和后代株系进行葡萄糖含量分析, 表明葡萄糖含量在突变体和野生型之间差异显著, 但在 LPA 株系和 HPA 株系之间未检测到差异显著性。低植酸性状与葡萄糖含量没有相关性。

2.2.3 蔗糖 蔗糖是影响大豆以及大豆制品风味的主要因子, 在对低植酸突变体 *Gm-lpa-TW-1* 进行品质分析时发现该突变体蔗糖含量极显著高于野生型亲本(表 2), 进而对该突变体的杂交后代进行蔗糖含量分析, 发现杂交后代秋播 LPA 株系中平均蔗糖含量为 136.15mg/g, 极显著高于 HPA 纯合株系 69.3mg/g 的平均含量, 在冬播种子中蔗糖含量也出现了相同的差异显著性(图 2)。分析株系蔗糖含量的变异幅度, 发现所有的 LPA 株系蔗糖含量, 在不同种植环境下均高于 HPA 株系, 如秋播 LPA 株系中最低的蔗糖含量为 126.4mg/g, 比 HPA 株系中最高含量 93.9mg/g 高 34.6% (表 2)。尽管受种植环境的影响, 在海南和杭州收获的同株系蔗糖含量有所不同, 但均表现为 LPA 株系蔗糖含量显著高于 HPA 株系(图 2)。说明 HPA 和 LPA 株系蔗糖含量的差异由主效基因控制, 受

环境的影响较小。

2.2.4 低聚糖 低聚糖主要包括棉籽糖和水苏糖, 是大豆抗营养因子之一, 降低水苏糖含量可以有效提高大豆的消化能, 减少大豆制品引起的胃肠胀气。分析突变体的品质性状时, 发现突变体 *Gm-lpa-TW-1* 的水苏糖含量降低到 5.81mg/g, 极显著低于野生型亲本 35.25mg/g 的平均含量, 棉籽糖含量也表现为明显减少, 但差异不显著(表 2)。分析突变体杂交后代株系中水苏糖含量发现: LPA 株系水苏糖平均含量秋播为 3.6mg/g, 冬播为 5.6mg/g, 均极显著低于 HPA 株系 37.5mg/g 和 39.2mg/g 的平均含量; 同样 LPA 株系的棉籽糖平均含量也显著低于 HPA 株系的平均含量(图 2), 尤其是在杭州秋播的种子中 LPA 棉籽糖含量仅为 HPA 株系的 27.2%, 差异达到极显著水平。进一步分析株系低聚糖含量的变异幅度, 发现 LPA 株系低聚糖含量变异幅度远远低于 HPA 株系(表 2)。与蔗糖含量的研究结果相似, 尽管秋播和冬播的同一株系在低聚糖含量上有所差别, 但 LPA 株系与 HPA 株系低聚糖含量的差异显著性不受环境条件的影响(图 2)。以上分析可以看出, 低植酸突变体高蔗糖含量和低寡聚

糖含量的性状与低植酸性状表现为连锁遗传,而总糖含量无论是 HPA 还是 LPA 均保持了较为稳定的水平。说明突变基因不仅降低了大豆种子中的植酸含量,而且对蔗糖和低聚糖含量具有显著的影响。

### 3 讨论

通过物理诱变法获得大豆低植酸隐性单基因突变体 *Gm-lpa-TW-1*,该隐性基因能使大豆种子中的植酸含量下降 60% 以上,无机磷含量增加 7~8 倍;对突变体进行品质性状分析发现,与野生型亲本相比突变体蔗糖含量增加,而低聚糖含量降低,总糖含量无显著差异。农艺性状分析发现突变体的田间发芽率显著低于野生型对照,尤其是杭州春季高温条件下收获的种子<sup>[11]</sup>。

#### 3.1 低植酸突变基因对种子发芽率的影响

植酸主要储存在发育成熟的种子中,在种子萌发时,释放出金属离子,供应萌发代谢活动和幼苗生长的需求,并维持种子中无机磷的平衡<sup>[13]</sup>;由此可见,植酸在作物种子的萌发过程中起到十分重要的作用。尽管降低植酸含量可以有效改善作物种子的营养品质,但因此造成的种子发芽率的降低在大豆、大麦、水稻和玉米低植酸突变体中均有报道<sup>[4~7]</sup>。目前低植酸突变体种子发芽率降低的生理生化机制尚未完全清楚。研究发现,不同突变基因对种子发芽率的影响不尽相同,如 Yuan 等对低植酸大豆突变体 *Gm-lpa-ZC-2* 的研究中,发现与亲本相比,低植酸突变体种子的发芽率没有显著下降<sup>[11]</sup>;另外通过育种途径也可以明显改善低植酸突变对种子发芽率的不良影响<sup>[9,14]</sup>;又如在低植酸品系 CX1834-1-6 的研究中,发现 36 个回交品系有 18 个低植酸株系的发芽率得到显著的提高<sup>[9]</sup>。同样在本研究中,利用不同的杂交组合对低植酸突变体的发芽性状进行遗传改良,结果表明在低植酸性状纯合的杂交后代中均可以选育出发芽率得到明显改善的株系,这与前人的研究报道较为一致,也进一步证明了低植酸突变对种子发芽率产生的不良影响可以通过育种的途径加以解决。

#### 3.2 环境对低植酸种子发芽率的影响

发芽率和成苗率是一个种子和环境综合作用的结果。种子人工老化处理研究表明:低植酸突变体对老化处理更敏感,程度随着老化时间的延长而加剧<sup>[5]</sup>,浙江春大豆成熟季节处于高温高湿的环境当中,大豆

种子发芽率较低。本研究利用春播和秋播的低植酸种子对比研究环境对低植酸种子的影响,结果发现:低植酸种子更容易受到高温环境的伤害,从而导致发芽率大幅度降低;秋季大豆成熟季节较为凉爽,低植酸种子发芽率得到明显的改善,基本能与非低植酸种子的发芽率持平,这与 Meis 等对大豆低植酸突变体 *mips* 的研究结果较为一致<sup>[5]</sup>。进一步验证了低植酸突变基因与环境的互作效应是影响低植酸突变体种子发芽率的主要原因。本研究中还发现鲜食大豆杂交组合中低植酸株系的发芽率明显低于粒用大豆的杂交组合的低植酸株系,这可能与鲜食大豆种子较大,更易受环境的影响而受到伤害有关,表明种子大小、低植酸突变基因与环境互作是降低大豆种子发芽率的主要原因。

#### 3.3 *Gm-lpa-TW-1* 中植酸性状突变与糖份含量的关系

本研究表明,低植酸突变体 *Gm-lpa-TW-1* 中蔗糖含量增加,低聚糖含量降低。分析植酸的合成代谢途径,发现植酸的前体肌醇参与糖类化合物的代谢过程,因此植酸与糖类代谢途径存在关联,均起始于葡萄糖的焦磷酸化<sup>[15]</sup>;导致植酸含量发生变化的基因突变,也可能导致糖份含量发生变化,尤其是代谢途径起始部分基因的突变,如大豆低植酸突变体 LR33 中低聚糖含量就表现为显著下降<sup>[16]</sup>。*Gm-lpa-TW-1* 突变机制研究表明,*MIPS1* 基因突变是导致植酸含量下降的主要原因<sup>[11]</sup>,由于该突变位于植酸合成的起始位置,因此它极有可能导致突变体中糖类成分发生改变。本研究证实了这一推论,且进一步验证了低植酸和低寡聚糖高蔗糖性状存在连锁关系,连锁的紧密程度需更大群体的进一步分析;此外,低寡聚糖高蔗糖性状是否由 *MIPS1* 基因突变导致的一因多效,或是与 *MIPS1* 基因存在连锁关系的其他基因的作用仍需试验的进一步论证。

大豆低聚糖主要包括棉籽糖和水苏糖,同植酸一样不能被动物所消化利用,降低了大豆的消化能,是一种抗营养因子<sup>[17]</sup>;在大豆制品中,它还能引起人们肠胃的不适,因此降低此类低聚糖含量也是提高大豆营养品质的另一重要方面。蔗糖是影响大豆和大豆制品风味的主要因子,而且易于被消化利用,是具有营养价值的糖类。降低植酸含量的同时,能够提高蔗糖含量,降低低聚糖含量,将进一步改善大豆的营养价值,这对于选育高品质的大豆品种具有积极的作用。

表 2 *Gm-lpa-TW-1* 与野生型亲本杂交  $F_5$  世代中 HPA/LPA 纯合株系在不同播种季节的糖份含量分析Table 2 Analysis of the carbohydrate content of homozygous  $F_5$  LPA/HPA lines in cross of *Gm-lpa-TW-1* and Zhechun 3 in different environment

株系 lines	杭州秋季 Hangzhou, autumn planting					海南冬季 Hainan, winter planting				
	葡萄糖 glucose	蔗糖 sucrose	棉籽糖 raffinose	水苏糖 stachyose	总含量 total	葡萄糖 glucose	蔗糖 sucrose	棉籽糖 raffinose	水苏糖 stachyose	总含量 total
<i>Gm-lpa-TW-1</i>	18.3 <sup>**</sup> ±0.9	128.9 <sup>**</sup> ±2.2	6.0±0.5	5.8 <sup>**</sup> ±1.4	162.3 <sup>*</sup> ±4.7	17.3 <sup>**</sup> ±0.3	120.3 <sup>**</sup> ±2.5	6.0±1.4	5.4 <sup>**</sup> ±0.7	148.9±3.6
浙春3号 Zhechun 3	9.8±0.4	78.3±2.3	7.1±2.0	35.3±1.7	130.4±5.1	8.9±1.5	81.2±0.7	9.7±2.0	40.2±2.5	140.0±4.2
平均 average	14.8±2.6	136.2 <sup>Δ</sup> ±5.1	3.4 <sup>Δ</sup> ±3.2	3.6 <sup>Δ</sup> ±3.5	157.8±7.0	10.9±1.1	124.3 <sup>Δ</sup> ±9.5	6.1 <sup>Δ</sup> ±3.5	5.6 <sup>Δ</sup> ±5.0	143.6±11.8
LPA	14.8	135.5	4.8	4.8	158.7	10.9	126.7	5.3	2.9	146.2
变幅 variable range	10.8~19.4	126.4~147.4	0~8.2	0~8.9	144.7~170.4	9.3~13.0	106.3~138.6	2.0~12.9	0~17.2	120.3~160.5
平均 average	11.2±1.5	69.3±10.4	12.5±2.3	37.5±4.9	130.4±12.9	11.1±1.2	81.7±8.3	12.8±1.9	39.2±4.2	144.5±10.8
HPA	11.2	68.7	12.4	36.4	129.0	11.19	80.4	13.1	38.5	146.1
变幅 variable range	8.3~14.1	51.6~93.9	8.5~16.3	30.0~47.9	113.9~163.6	8.9~13.2	68.7~95.4	10.1~17.4	32.7~49.3	124.2~164.1

注: \*\*表示 *Gm-lpa-TW-1* 的各种糖份与浙春3号在0.01水平上存在极显著的差异; <sup>Δ</sup>表示 LPA 纯合株系的各种糖份含量与 HPA 株系在0.01水平上存在极显著差异。Note: \*\* means *Gm-lpa-TW-1* carbohydrate content was significant different from Zhechun 3 at 0.01 probability level; <sup>Δ</sup> means carbohydrate content in homozygous LPA lines was significant different from HPA lines at 0.01 probability level.

参考文献:

[ 1 ] 任学良,舒庆尧.低植酸作物的研究进展及展望[J].核农学报,2004,18(06):438-442

[ 2 ] 袁名安,罗红兵,王忠华,陈进红,梅淑芳,舒小丽,吴殿星.玉米低植酸突变体的营养品质[J].核农学报,2008,22(01):55-59

[ 3 ] 王雪艳,王忠华,梅淑芳,洪隽,舒庆尧,吴殿星.高无机磷低植酸含量玉米突变体筛选初报[J].核农学报,2006,20(01):15-18

[ 4 ] Pilu R, Panzeri D, Gavazz G, Rasmussen S K, Consonni G, Nielsen E. Phenotypic, genetic and molecular characterization of a maize low phytic acid mutant (lpa241)[J]. Theor Appl Genet, 2004, 107:980-987

[ 5 ] Meis S J, Fehr W R, Schnebly S R. Seed source effect on field emergence of soybean lines with reduced phytate and raffinose saccharides [J]. Crop Sci, 2003, 43:1336-1339

[ 6 ] Zhao H J, Liu Q L, Fu H W, Xu X H, Wu D X, Shu Q Y. Effect of non-lethal low phytic acid mutations on grain yield and seed viability in rice [J]. Field Crops Res, 2008, 108:206-211

[ 7 ] Hulke B S, Fehr W R, Welke G A. Agronomic and seed characteristics of soybean with reduced phytate and palmitate [J]. Crop Sci, 2004, 44:2027-2031

[ 8 ] Oltmans S E, Fehr W R, Welke G A, Raboy V. Agronomic and seed traits of soybean lines with low-phytate phosphorus [J]. Crop Sci, 2005, 45:593-598

[ 9 ] Spear J D, Fehr W R. Genetic improvement of seedling emergence of soybean lines with low phytate [J]. Crop Sci, 2007, 47:1354-

1360

[ 10 ] Gao Y, Biyashev R M, Saghai Maroof M A, Glover N M, Tucker D M, Buss G R. Validation of low phytate QTLs and evaluation of seedling emergence of low phytate soybean [J]. Crop Sci, 2008, 48:1355-1364

[ 11 ] Yuan F J, Zhao H J, Ren X L, Zhu S L, Fu X J, Shu Q Y. Generation and characterization of two novel low phytate mutations in soybean (*Glycine max* L. Merr) [J]. Theor Appl Genet, 2007, 115:945-957

[ 12 ] 袁凤杰,任学良,刘庆龙,舒庆尧.大豆籽粒高无机磷突变体的选育和特性研究[J].中国农业科学,2005,38(11):2355-2359

[ 13 ] Strother S. Homeosasis in germinating seeds[J]. Ann Bot, 1980, 45:217-218

[ 14 ] Bregitzer P, Raboy V. Effects of four independent low-phytate mutations on barley agronomic performance [J]. Crop Sci, 2006, 46:1318-1322

[ 15 ] Chappell A S, Scaboo A M, Wu X, Nguyen H, Pantalone V R, Bilyeu K D. Characterization of the MIPS gene family in *Glycine max* [J]. Plant Breed, 2006, 125:493-500

[ 16 ] Hize W D, Carlson T J, Kerr P S, Sebastian S A. Biochemical and molecular characterization of a mutation that confers a decreased raffinose and phytic acid phenotype on soybean seeds [J]. Plant Physiol, 2002, 128:650-660

[ 17 ] Voragen A J G. Technological aspects of functional food-related carbohydrates [J]. Trends in Food Sci&Tech, 1998, 9:328-335

(责任编辑 王媛媛)



(上接第 843 页)

[ 11 ] 王华忠,吴则东,王晓武,方智远.利用SRAP与SSR标记分析不同类型甜菜的遗传多样性[J].作物学报,2008,34(1):37-46

[ 12 ] 赵伟,刘冠明,王晓明,王汉宁.应用SRAP标记分析甜玉米自交系的遗传差异.玉米科学,2007,15(s1):154-156,159

[ 13 ] 赵新亮,郭霭光.SRAP分子标记划分玉米自交系类群初探[J].西北农业学报,2007,16(3):77-81

[ 14 ] 刘录祥,郑企成.空间诱变与作物改良[M].中国核科技报告,

1997

[ 15 ] 何娟娟,刘富中,陈钰辉,杨文才,连勇.茄子航天诱变后代变异及其SSR标记多态性研究[J].核农学报,2010,24(3):460-465

[ 16 ] 覃鸿妮,蔡一林,杨春蓉,王国强.玉米诱变系的SSR遗传变异分析[J].核农学报,2008,22(6):750-755

[ 17 ] 王维婷,单成钢,倪大鹏,王志芬.卫星搭载处理丹参种子SP2代的SRAP分析[J].核农学报,2009,23(5):758-761

(责任编辑 王媛媛)