

Changes of Seed Shape Traits in Pre- and Post-Imbibition Soybean (*Glycine max* (L.) Merri.)^{*}

Dexiao Li[#], Hewu Zhou, Yiseng Liu

College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling
Email: [#]lidexiao@nwsuaf.edu.cn

Received: Aug. 6th, 2013; revised: Aug. 11th, 2013; accepted: Aug. 16th, 2013

Copyright © 2013 Dexiao Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Soybean (*Glycine max* (L.) Merri.) is one of main food and oil crops. The exploration of seed shape traits changes during seed imbibition process is meaningful to elucidate the characteristics of seed imbibition, determination of soil water content and utilization of soybean varieties. Forty-one soybean varieties (lines) were served as materials and data of seed weight, seed volume measured in displacement water volume; seed width and seed thickness were collected in pre- and post-imbibition treatment and conducted correlation, stepwise regression, and cluster analysis. The results showed that: 1) The significant differences of seed traits were detected before and after imbibition, with the highest coefficients of variance (CV) in seed volume, and lower CV in seed length and seed thickness, and CV increased evidently in seed width. 2) The Pearson correlation coefficients between all tested seed traits reached significant sense at 0.01 level. The partial correlation analysis indicated that only seed weight had positive correlation with other seed traits, listed as seed length, seed thickness and seed width in the descending order; seed volume had no relation with seed length, seed width and seed thickness; the relationship between seed thickness and seed width kept stable (lower negative correlation). The seed length showed different correlation pattern with seed width and seed thickness before and after imbibition. Before seed imbibition, seed length had significant correlation with seed width instead of seed thickness, however, after seed imbibition, seed length had significant correlation with seed thickness instead of seed width. The ratios of different seed traits in pre- and post-imbibition and their correlation coefficients exhibited the similar tendency. 3) After imbibition, there was 2.03 times increase in average for seed weight, 2.37 times for seed volume, 1.71 times for seed length, and 1.15 times for seed width and seed thickness. The ratio of seed length, width and thickness changed from 1.34:1.16:1 to 1.98:1.16:1. 4) Seed weight in pre- and post-imbibition could be stimulated by a linear function of seed volume. Seed weight and seed volume in pre-imbibition could also be stimulated by a linear function of seed width, and seed weight and seed volume in post-imbibition could also be stimulated by a linear function of seed length, and the stimulation efficiency in the former was better than in the latter. 5) Forty-one materials were clustered into nine groups based on the measured seed traits. To sum up, seed shape traits in pre- and post-imbibition had significant difference, and there was evident change in seed length, and less changes in seed width and thickness; high correlation between seed weight and seed volume was detected, and selection of seed shape traits was different in pre- and post-imbibition for seed weight and seed volume. These results can be referred in the subsequent study on seed traits.

Keywords: Soybean (*Glycine Max* (L.) Merri.); Seed Shape; Imbibition

大豆吸胀前后籽粒外形指标的变化^{*}

李得孝[#], 周和吾, 刘艺森

西北农林科技大学农学院, 杨凌
Email: [#]lidexiao@nwsuaf.edu.cn

^{*}基金项目: 西北农林科技大学唐仲英育种专项(A212020921)资助。

[#]通讯作者。

收稿日期: 2013年8月6日; 修回日期: 2013年8月11日; 录用日期: 2013年8月16日

摘要: 大豆是全球最重要的粮油作物之一, 探讨大豆籽粒吸胀前后的外形变化对于揭示不同品种的籽粒吸胀特性、播种墒情选择和品种利用具有重要意义。研究利用 41 个大豆品种(系)做试材, 测定种子吸胀前后籽粒重量、粒体积(按排水量计)、粒长、粒宽和粒厚变化, 进行相关分析、逐步回归分析和聚类分析。试验结果显示: 1) 吸胀前后试验材料间籽粒特性差异明显, 其中吸胀前后粒体积的变异系数最高, 粒长和粒厚变异系数较小, 而粒宽变异系数增加明显。2) 大豆籽粒吸胀前后所有籽粒性状(粒重、粒体积、粒长、粒宽和粒厚)间的简单相关系数都达到极显著水平。偏相关分析显示, 只有粒重与其他籽粒性状的偏相关系数都表现显著正相关, 偏相关系数大小顺序为粒长 > 粒厚 > 粒宽; 而粒体积与粒长、粒宽和粒厚的偏相关不显著; 粒厚与粒宽的偏相关系数基本保持稳定(低负相关)。粒长与粒宽和粒厚的偏相关性在籽粒吸胀前后存在差异: 吸胀前粒长与粒宽显著而与粒厚不显著, 籽粒吸胀后恰好相反。不同材料吸胀前后籽粒性状比及其相关系数也反映了同样的趋势。3) 大豆吸胀后粒重平均增加 2.03 倍, 粒体积增加 2.37 倍, 粒长增加 1.71 倍, 粒宽和粒厚 1.15 倍。籽粒长宽厚比值由吸胀前的 1.34:1.16:1 变为 1.98:1.16:1。4) 吸胀前后的粒重都可以用粒体积进行线性模拟。吸胀前的大豆粒重和粒体积也可用粒宽进行线性模拟, 而吸胀后大豆粒重和粒体积可用粒长进行线性模拟, 并且籽粒吸胀前的模拟效果要优于吸胀后的。5) 根据籽粒吸胀前后的粒形变化, 将 41 个大豆材料 Cluster 聚类为 9 个小类。综合来看, 大豆吸胀前后籽粒外形指标存在明显差异, 外形指标中粒长的变化尤其明显, 粒宽和粒厚的相对变化很小。粒重与粒体积相关性最大, 粒重和粒体积的模拟在籽粒吸胀前后所选的籽粒外形指标不同。研究得出的结论将为籽粒性状的后续研究提供一定参考依据。

关键词: 大豆; 籽粒形状; 吸胀吸水

1. 引言

大豆(*Glycine max* (L.) Merri.)是重要的粮食和油料作物, 并在世界各地广泛种植。作为以籽实为最终用途的作物, 大豆籽粒性状一直受到研究者的重视。对于大豆籽粒形状的度量不同研究者存在差异。Nelson (1989)认为大豆粒形可以用籽粒高长比和高厚比进行描述^[1]。Salas 等(2006)用粒长、粒宽和粒高的乘积度量粒体积, 需要注意的是, 此处粒高和粒厚(宽)对应与国内描述的粒厚和粒宽^[2]。Cober (1997)为了便于数码图像分析, 将籽粒形状(Seed shape)定义为籽粒直径两个方向的最小值与最大值之比, 籽粒大小(seed size)用相同方位的纵切面面积表示^[3]。国内研究者一般通过测定粒长、粒宽和粒厚, 进而计算粒长宽比、长厚比、宽厚比等指标进行描述^[4-10]。

大豆粒形性状同时受种子直接遗传效应, 母体效应和细胞质效应控制。其中, 粒宽和粒厚以母体遗传效应为主, 百粒重和粒长等以细胞质效应为主^[4]。对于鲜籽粒和干籽粒体积而言, 在大豆籽粒发育的大多数阶段, 大豆的细胞质效应和母体效应比种子效应更

重要^[5]。

控制大豆籽粒性状的 QTL 很多, 不同文献报道的出入较大。梁慧珍等(2008)检测到控制粒形性状的 33 个 QTL 在染色体上分布不均匀, 但具有集中分布的特点^[6]。Salas 等(2006)也发现控制粒形性状(粒长、粒宽、粒高和粒体积)的 QTL 集中分布在三个连锁群(LG u9, u11, 和 u14), 共检测到 19 个 QTL, 但表现稳定的 QTL 仅 1 个^[2]。利用深水中华中子黄豆和南农 493-1 组合的分离群体, Xu 等(2011)检测到 121 个 QTL, 其中有 5 个 QTL 遗传力较高^[7]; 闫宁等(2013)共检测到 89 个主效 QTL, 存在不同互作效应的 QTL 88 对^[8]; 牛远等(2013)选择 Satt331~Satt592 目标区间, 对粒形指标的 QTL 进行了精细定位, 并锁定了控制粒形性状发育的两个候选基因(*Glyma10g35240* 和 *Glyma10g34980*)^[9]。

大豆籽粒性状之间的相关性常用简单相关系数和偏相关进行表述。Salas 等(2006)计算简单相关系数后, 认为籽粒形状(粒长、粒宽、粒厚和粒体积)除粒长和粒宽(实际是粒厚)相关不显著外, 其他性状相关都显著^[2]。梁慧珍等(2008)也认为粒长与粒宽、粒宽与

粒厚之间呈极显著正相关^[4]。但牛远等(2012)采用偏相关分析后认为,栽培品种的百粒重与籽粒大小显著相关,而与粒形性状不相关^[10]。

在大豆籽粒干燥过程中,游离水快速散失,籽粒收缩归圆,呈现出品种特有的籽粒形状。而籽粒遇水即开始快速吸水膨大,粒形又恢复到未失水前的形态,种子进入萌芽阶段。Muthiah 等(1994)将大豆整个发芽过程分为 6 个阶段, S1 (种子浸泡到完全吸胀), SS (完全吸水到种皮破裂), G1 (种皮破裂到胚根 2 mm 长), G2 (胚根 2 mm 长到胚轴胚根长 10 mm), G3 (胚轴胚根长 10 mm 到根毛长出), G4 (根毛长出到次生根原基出现)^[11]。其中 S1 时期为物理性吸水阶段。研究表明,种子在浸泡 5 h 过程中的吸水量最多,占总吸收量的 82%以上,而种子完全吸胀通常需要 6~8 h。吸水速度在 0~0.5 h 内最快,而 0~0.5 h 内和 1~2 h 内的吸水速率对品种的发芽率、活力指数起关键作用;其中小粒种在 0~3 h 内的吸水速率明显快于大粒种,小粒种吸水系数较大,萌发早,活力强^[12]。大豆籽粒萌动期吸水量少、持续稳定吸水是品种抗旱性较强的显著特征^[13]。

中国栽培大豆百粒重变幅很大(1.8 g~46 g),其中以 10~20 g 的品种较多^[14]。记载的粒形有 5 种,包括圆形、椭圆形、扁椭圆形、长椭圆形和肾形^[15]。豆腐和豆豉等加工原料常用大粒型大豆,而纳豆则要求选用小粒豆。不同大小的籽粒吸水率和出苗阻力也有差异,进而影响到大豆的播种墒情选择和出苗率。因此,研究大豆吸胀前后的形态变化,了解籽粒不同形态性状之间的关系,对于揭示不同品种的籽粒吸胀特性和播种墒情选择,以及品种特殊用途具有重要意义。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

从国内育种单位征集到 41 份大豆品种,2012 年

在陕西省杨凌农业示范区大豆试验田种植扩繁,收获晒干备用。

2.2. 试验方法

试验采用完全随机设计,重复 5 次,每次重复测定 10 颗籽粒。具体程序如下:按品种精选大小基本一致的籽粒,利用数显卡尺测定各籽粒的粒长、粒宽和粒厚(mm),具体测定方法见图 1(经核实与国内研究文献的测定方法一致^[7-10]);然后用百分天平测量总粒重,再将籽粒放入装水的量筒,立即测定籽粒的排水量,即为籽粒总体积(mL);将大豆籽粒用水浸泡使其完全吸胀(约浸泡 8~10 h),取出籽粒,用卫生纸吸干籽粒表面水分,剔除没有完全吸胀的籽粒(即石豆),吸胀籽粒再次测定粒体积、粒重、粒长、粒宽和粒厚。所有指标按单粒求平均值。

2.3. 统计分析

利用 SAS8.01 软件包进行方差分析,相关和偏相关分析,多元回归分析和聚类分析。

3. 结果与分析

3.1. 大豆籽粒性状的差异性分析

所选大豆材料的百粒重变化范围为 9~34 g。方差分析表明(表 1),在吸胀前后,大豆籽粒性状在品种间都存在极显著差异($p < 0.01$)。大豆吸胀后籽粒性状各指标的误差均方都有增加趋势,其中粒宽的增加幅度最明显(0.016→0.411)。吸胀前后的粒体积的变异系数最高(6.65%和 8.21%),吸胀前后的粒长和粒厚变异系数较小,而粒宽在吸胀后变异系数出现明显升高(1.78%→7.74%),这主要是吸胀后粒宽误差明显增加所致,说明在同一品种内部籽粒吸胀后粒宽的变幅较大。

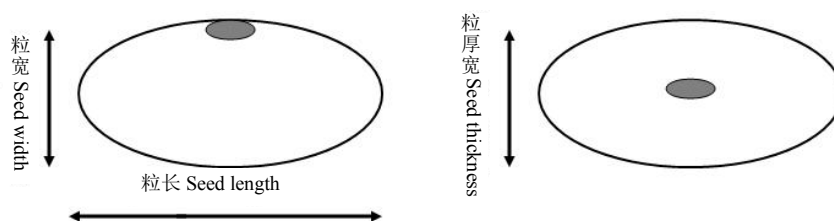


Figure 1. Measurement of length, width and thickness of soybean seed
图 1. 大豆粒长、粒宽与粒厚测定方法

Table 1. ANOVA of seed traits between materials in pre- and post-imbibition
表 1. 大豆吸胀前后籽粒性状的方差分析

项目 Item	吸胀前籽粒性状 Seed traits of pre-imbibition					吸胀后籽粒性状 Seed traits of post-imbibition				
	粒重 Seed weight	粒体积 Seed volume	粒长 Seed length	粒宽 Seed width	粒厚 Seed thickness	粒重 Seed weight	粒体积 Seed volume	粒长 Seed length	粒宽 Seed width	粒厚 Seed thickness
误差均方 MS of error	0.0001	0.002	0.026	0.016	0.011	0.005	0.002	0.059	0.411	0.021
均值 Mean	0.241	0.199	8.290	7.199	6.243	0.490	0.474	14.150	8.276	7.205
CV (%)	4.39	6.65	1.96	1.76	1.68	4.64	8.21	1.71	7.74	2.01
品种间 F 值 F-value of inter-materials	100.00	40.78	82.40	84.10	145.13	113.35	38.88	131.65	6.51	122.99

注：品种间 F 值都达到极显著水平(P < 0.01)。

3.2. 吸胀前后粒重与籽粒外形指标的相关性

表 2 和表 3 中简单相关系数(右上角数据)显示,大豆籽粒吸胀前后所有籽粒性状间的简单相关系数都达到极显著水平;但偏相关系数(左下角数据)显示,吸胀前后的粒重与其他籽粒性状显著正相关,偏相关系数大小顺序为粒长 > 粒厚 > 粒宽;吸胀前后的粒体积与粒长、粒宽和粒厚的偏相关不显著;籽粒吸胀前的粒宽与粒长和粒厚显著负相关(-0.2459 和 -0.1563),而籽粒吸胀后粒厚与粒长和粒宽偏相关系数显著(-0.6788 和 -0.1491),即:吸胀前后粒长与粒厚的偏相关系数由不显著变为显著(-0.0800 → -0.6788),而吸胀前后粒宽与粒长的偏相关系数由显著变为不显著(-0.2459 → -0.0825),粒厚与粒宽的偏相关性基本稳定(-0.1563 和 -0.1491)。可见,籽粒吸胀前后,粒长的变化是导致偏相关系数变化的关键因素。

不同材料吸胀前后籽粒性状比及其相关系数也反映了同样的趋势。简单相关系数显示(表 4 右上角),粒重比与粒厚比无关,而与其他籽粒性状比相关显著,相关系数大小顺序为粒长比 > 粒体积比 > 粒宽比。粒体积比只与粒长比显著正相关,粒长比与粒厚比显著负相关。偏相关系数显示(表 4 左下角),粒重比与粒长比、粒体积比、粒宽比和粒厚比的偏相关系数都达到显著水平,粒体积比与粒长比偏相关显著,而粒长比与粒厚比和粒宽比显著负相关。说明籽粒吸胀后粒重的变化与粒体积、粒长和粒宽的变化相一致,而粒体积增加主要是粒长相对增加明显,粒厚和粒宽变化相对减少。

大豆吸胀后粒重平均增加 2.03 倍,粒体积增加

2.37 倍,粒长增加 1.71 倍,粒宽和粒厚 1.15 倍。籽粒长宽厚比值由吸胀前的 1.34:1.16:1 变为 1.98:1.16:1。显然,大豆吸胀后粒长相对增加明显,籽粒变得扁长。

3.3. 大豆吸胀前后籽粒性状间的数量关系

利用逐步回归方法进行线性模拟,吸胀前后的粒重(y)都可以用粒体积(x_1)进行有效模拟(表 5)。由于粒体积(x_1)与粒长(x_2)、粒宽(x_3)和粒厚(x_4)有关,排除粒体积(x_1)后重新模拟,大豆吸胀前可用粒宽(x_3)进行模拟,而吸胀后可用粒长(x_2)进行模拟。粒体积的模拟(x_1)也有相同的趋势,即大豆吸胀前用粒宽(x_3)模拟,吸胀后用粒长(x_2)模拟。由决定系数可以看出,籽粒吸胀前的模拟效果要优于吸胀后的。

3.4. 不同大豆品种聚类分析与籽粒性状变化特征分析

将籽粒吸胀前后的资料采用类间最大距离法(M = complete)进行 Cluster 聚类分析(图 2)。结果显示,在聚类进行至第 8 步时, R^2 统计量减少较多(0.0179),说明上一步的聚类效果好。即组间最大距离在 0.6794~0.8726 时,可将材料分为 9 类(表 6)。

9 类的籽粒性状差异较大,吸胀前后的变化也有差异。其中第一类(中黄 42)表现为吸胀前粒重最高(百粒重 34 g),籽粒近圆形,吸胀后粒长相对变化较小(粒厚的 1.75 倍),相对于其他组而言,粒长宽厚都有较明显增加,致使粒重和粒体积增大明显,吸胀籽粒呈椭圆形。第二类包含两个品种(鲁 96150 和 PI248511),吸胀前粒重高(百粒重近 30 g),椭圆粒,吸胀后粒长增加明显(超过粒厚 2 倍多),宽度也增加较明显,粒

大豆吸胀前后籽粒外形指标的变化

Table 2. Coefficients of Pearson's and partial correlation between different traits of dry seeds
表 2. 大豆籽粒吸胀前籽粒性状间的简单相关与偏相关系数

性状 Trait	粒重 Seed weight	粒体积 Seed volume	粒长 Seed length	粒宽 Seed width	粒厚 Seed thickness
粒重 Seed weight	-	0.9674**	0.7740**	0.9491**	0.8418**
粒体积 Seed volume	0.5423**	-	0.7456**	0.9190**	0.8154**
粒长 Seed length	0.6998**	-0.0210	-	0.6940**	0.3796**
粒宽 Seed width	0.5611**	0.0040	-0.2459**	-	0.8108**
粒厚 Seed thickness	0.6708**	-0.0125	-0.0800	-0.1563*	-

注：右上角为吸水前籽粒性状的简单相关系数，左下角为偏相关系数。*和**表示相关性达到显著(P < 0.05)或极显著水平(P < 0.01)。

Table 3. Coefficients of Pearson's and partial correlation between different traits of imbibed seeds
表 3. 大豆籽粒吸胀后籽粒性状间的简单相关与偏相关系数

性状 Trait	粒重 Seed weight	粒体积 Seed volume	粒长 Seed length	粒宽 Seed width	粒厚 Seed thickness
粒重 Seed weight	-	0.9554**	0.9035**	0.7125**	0.7387**
粒体积 Seed volume	0.5686**	-	0.8106**	0.6751**	0.7368**
粒长 Seed length	0.7363**	0.0134	-	0.6522**	0.4710**
粒宽 Seed width	0.2812**	-0.0060	-0.0825	-	0.4649**
粒厚 Seed thickness	0.6016**	0.1219	-0.6788**	-0.1491*	-

注：右上角为吸水前籽粒性状的简单相关系数，左下角为偏相关系数。*和**表示相关性达到显著(P < 0.05)或极显著水平(P < 0.01)。

Table 4. Means and correlation coefficients of soybean kernel traits ratios of pre-/post-imbibition
表 4. 大豆吸胀前后籽粒性状比值的均值与相关系数

性状比 Trait ratio	粒重比 Seed weight ratio	粒体积比 Seed volume ratio	粒长比 Seed length ratio	粒宽比 Seed width ratio	粒厚比 Seed thickness ratio
粒重比(2.03) Seed weight ratio	-	0.5178**	0.6263**	0.1639*	0.0157
粒体积比(2.37) Seed volume ratio	0.3401**	-	0.4098**	0.0509	0.07821
粒长比(1.71) Seed length ratio	0.5550**	0.1531*	-	-0.0015	-0.2014*
粒宽比(1.15) Seed width ratio	0.2144**	-0.0131	-0.1494*	-	-0.0408
粒厚比(1.15) Seed thickness ratio	0.1450*	0.1207	-0.2929**	-0.0823	-

注：右上角为简单相关系数，左下角为偏相关系数。*和**表示相关性达到显著(P < 0.05)或极显著水平(P < 0.01)。

Table 5. Simulation of weight and volume of soybean seeds in pre- and post-imbibition
表 5. 大豆粒重和粒体积的量化模拟

依变量 Dependent variable	吸胀前 Pre-imbibition	吸胀后 Post-imbibition
粒重(y)Seed weight	$y = 0.00668 + 1.17697x_1 (R^2 = 0.9356)$ $y = -0.3804 + 0.08631x_2 (R^2 = 0.9009)$	$y = 0.05233 + 0.92475x_1 (R^2 = 0.9028)$ $y = -0.62605 + 0.07891x_2 (R^2 = 0.8163)$
粒体积(x ₁)Seed volume	$x_1 = -0.29549 + 0.06869x_3 (R^2 = 0.8446)$	$x_1 = -0.61280 + 0.07679x_3 (R^2 = 0.7243)$

注：y, x₁~x₃ 分别为粒重、粒体积、粒长和粒宽。

大豆吸胀前后籽粒外形指标的变化

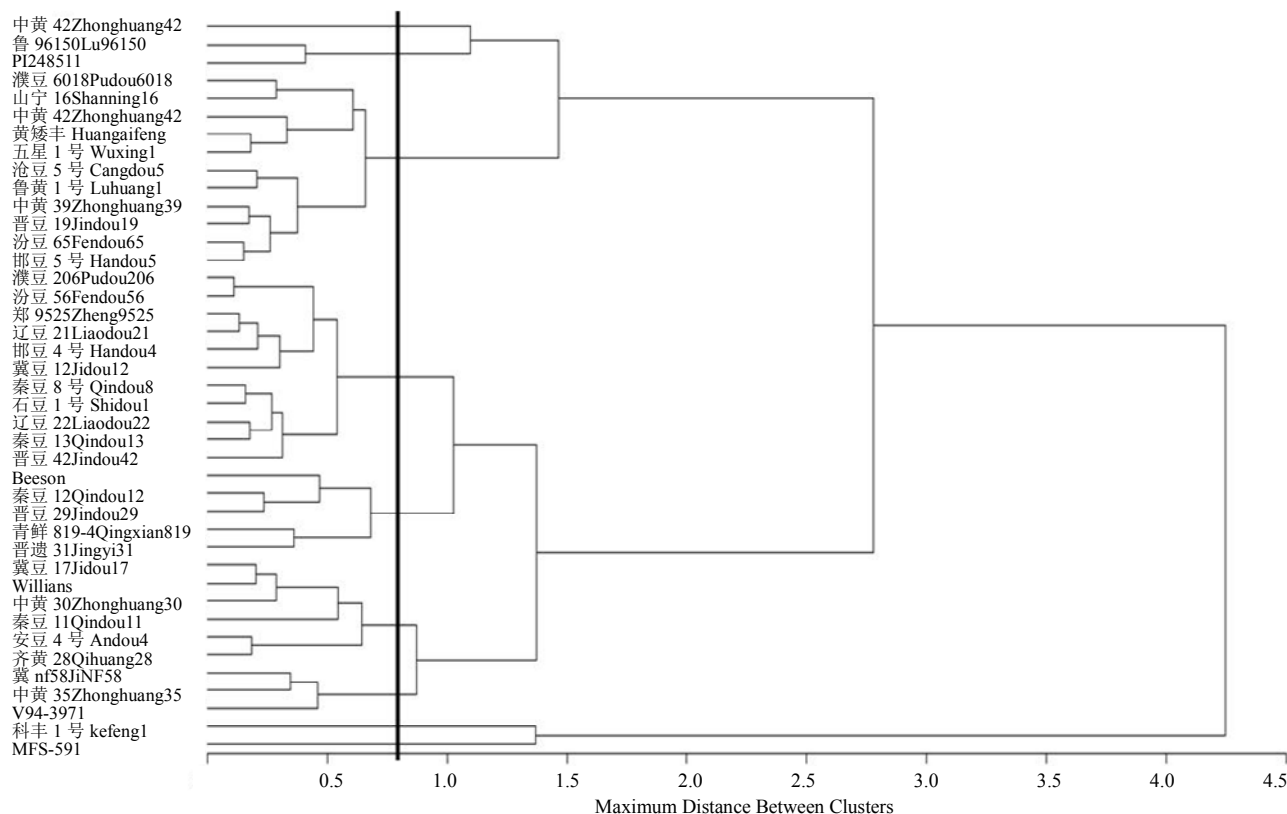


Figure 2. Cluster analysis of soybean varieties based on seed imbibition characteristics
图 2. 利用大豆籽粒吸胀特性进行品种聚类分析

Table 6. Relative changes of kernel traits between pre- and post-imbibition in different groups
表 6. 不同类群大豆吸胀前后籽粒性状指标的相对变化

类群 Clust	品种 Variety	粒重 Seed weight	籽粒指标比值(吸胀后: 吸胀前) Seed index ratio (Pre-imbibition: Post-imbibition)					籽粒长: 宽: 厚比例 Ratio of seed length, width and thickness	
			粒重 Weight	粒体积 Volume	粒长 Length	粒宽 Width	粒厚 Thickness	吸胀前 Pre-imbibition	吸胀后 Post-imbibition
Clust 1	中黄 42	0.34	2.09	2.53	1.78	1.33	1.21	1.19:1.09:1	1.75:1.19:1
Clust 2	鲁 96150, PI248511	0.30	2.31	2.62	1.76	1.22	1.14	1.46:1.26:1	2.25:1.34:1
Clust 3	濮豆 6018, 山宁 16, 中黄 13, 黄矮丰, 五星 1 号, 沧豆 5 号, 鲁黄 1 号, 中黄 39, 晋豆 19, 汾豆 65, 邯豆 5 号	0.28	2.04	2.43	1.72	1.14	1.15	1.34:1.16:1	2.00:1.14:1
Clust 4	濮豆 206, 汾豆 56, 郑 9525, 辽豆 21, 邯豆 4 号, 冀豆 12, 秦豆 8 号, 石豆 1 号, 辽豆 22, 秦豆 13, 晋豆 42	0.25	2.05	2.40	1.73	1.15	1.15	1.30:1.14:1	1.94:1.14:1
Clust 5	Beeson, 秦豆 12, 晋豆 29, 青鲜 819-4, 晋遗 31	0.23	1.93	2.22	1.67	1.10	1.19	1.22:1.10:1	1.72:1.02:1
Clust 6	冀豆 17, Williams, 中黄 30, 秦豆 11, 安豆 4 号, 齐黄 28	0.21	2.03	2.38	1.70	1.15	1.14	1.40:1.17:1	2.10:1.19:1
Clust 7	冀 nf58, 中黄 35, V94-3971	0.19	1.89	2.20	1.66	1.16	1.13	1.27:1.14:1	1.87:1.17:1
Clust 8	科丰 1 号	0.12	1.89	1.99	1.48	1.24	1.19	2.12:1.42:1	2.64:1.48:1
Clust 9	MFS-591	0.09	2.12	2.12	1.77	1.11	1.14	1.23:1.21:1	1.91:1.17:1
	总平均 Total mean	0.24	2.03	2.37	1.71	1.15	1.15	1.34:1.16:1	1.98:1.16:1

重和粒体积增大明显,吸胀籽粒呈长扁圆形。第三类包括 11 个品种,粒重较高(百粒重平均 28 g 左右),吸胀前籽粒呈卵圆形,吸胀后粒长增加为粒厚的 2 倍左右,籽粒呈长椭圆形,粒重和粒体积增加处于平均水平。第四类与第三类也包括 11 个品种,特性与第三类相似,但粒重低于第三类(百粒重平均 25 g 左右)。第五类包括 5 个品种,粒重居中(百粒重 23 g 左右),吸胀前后粒形变化与第一类相似。第六类包括 6 个品种,粒重更小(百粒重 21 g 左右),吸胀后粒形由椭圆形变为长椭圆形。第七类包括三个品种,平均百粒重 19 g 左右,籽粒吸胀后粒形有卵圆形变为椭圆形,粒重和粒厚变化比平均值低。第八类只有一个品种(科丰 1 号),粒重小(百粒重 12 g),籽粒扁圆,吸胀后粒宽和粒厚增加不明显,粒长增加较明显,籽粒变为扁椭圆形,该类籽粒形状最特殊。第九类也是一个材料(MFS-591),粒重最小(百粒重只有 9 g 左右),籽粒卵圆形,吸胀后变为椭圆形,粒宽与粒厚的比值基本没有变化,主要是粒长相对增加明显。

4. 小结与讨论

4.1. 关于大豆籽粒外形指标的讨论

研究中所用的粒体积是籽粒排开水的体积(真实体积),而 Salas 等(2006)所用的粒体积是粒长、粒宽和粒高的乘积^[2]。我们比较了籽粒体积和籽粒长宽厚乘积的关系,发现二者的可以用线性回归关系进行拟合,拟合函数的决定系数很高(吸胀前 $R^2 = 0.9656$,吸胀后 $R^2 = 0.9395$)。说明利用两种方法估计的粒体积有一致性。另外,为便于数码分析,Cober 等用籽粒最大和最小直径所在方位的纵切面面积衡量籽粒大小(seed size)^[2]。我们的数据显示,籽粒外形指标中大豆粒长是最大的,粒宽次之,粒厚最小。因此,从籽粒稳定性角度看,Cober 等进行数码图像的采集和分析所用的籽粒大小即为籽粒在粒长和粒宽维度的最大横切面面积。该定义已在大豆籽粒形状的图像分析中得到应用^[16]。

4.2. 大豆籽粒外形指标在吸胀前后的变异性

大豆吸胀后籽粒性状各指标的变异都有增加趋势,其中吸胀前后的粒体积的变异系数最高,吸胀前后的粒长和粒厚变异系数较小,而粒宽在吸胀后出现

明显升高,这主要是吸胀后粒宽误差明显增加所致,说明在同一品种内部籽粒吸胀后粒宽的变幅较大。因此,在大豆粒形研究中要特别注意干种子与湿种子粒宽误差的这种区别。

4.3. 大豆籽粒外形指标的相关性与回归

研究中大豆籽粒吸胀前后所有籽粒性状(粒重、粒体积、粒长、粒宽和粒厚)间的简单相关系数都达到极显著水平。但 Salas 等(2006)认为,除了粒长和粒厚(简单)相关系数不显著或很低外,其他籽粒形状,包括粒长、粒宽、粒厚和粒体积(长宽厚乘积),其相关性都达到了显著水平^[2]。而梁慧珍等(2008)也只强调了粒长与粒宽、粒宽与粒厚之间的显著正相关^[6]。因此,粒长和粒厚的相关性相对较弱,是否达到显著水平可能与材料的选择有关。

大豆籽粒性状的偏相关分析认为,只有粒重与其他籽粒性状的偏相关系数表现显著(正相关),偏相关系数大小顺序为粒长 > 粒厚 > 粒宽;而粒体积与粒长、粒宽和粒厚的偏相关不显著;粒厚与粒宽的偏相关系数基本保持稳定(负相关)。粒长与粒宽和粒厚的偏相关性在籽粒吸胀前存在差异:吸胀前粒长与粒宽显著而与粒厚不显著,籽粒吸胀后恰好相反。不同材料吸胀前后籽粒性状比及其相关系数也反映了同样的趋势。牛远等(2012)认为栽培品种的百粒重与粒形性状(粒长、粒宽和粒厚)不相关,这与本文得出的结论并不一致。

在分析籽粒性状时,不仅要分析性状间的简单相关系数,同时还应考察在固定其他因素的条件下,某两个性状之间的偏相关系数,这样才能更好地理解性状之间的关系。回归分析中要考虑自变量之间的共线性问题,这样才能较好地重要性状纳入到回归方程中。利用逐步回归方法进行线性模拟,吸胀前后的粒重都可以用粒体积进行线性模拟。由于粒体积与粒长、粒宽和粒厚存在共线性,在排除掉粒体积后,吸胀前后的大豆粒重和粒体积可用粒宽或粒长进行线性模拟,并且籽粒吸胀前的模拟效果要优于吸胀后的。

4.4. 大豆吸胀特性的变化

籽粒吸胀前后同一性状测定值都增大,大豆吸胀后粒重平均增加 2.03 倍,粒体积增加 2.37 倍,粒长

增加 1.71 倍, 粒宽和粒厚 1.15 倍。籽粒长宽厚比值由吸胀前的 1.34:1.16:1 变为 1.98:1.16:1。显然, 大豆吸胀后粒长相对增加明显, 籽粒变得扁长。这一变化特点与大豆成熟后期籽粒干燥归圆的趋势刚好相反。一般认为大豆种子萌发要吸收种子本身重量 120%~140% 的水分才能萌动^[14]。据此, 在大豆种子物理性吸胀过程中, 种子平均吸收 103% 的水分(吸胀前后粒重差异计), 但品种间差异较大, 吸胀吸水的变幅在 96%~184%(资料未列出)。刘学义等(1987)认为抗旱较强的材料初期吸水少、持续吸水时间长而稳定, 而不抗旱材料初期吸水较多^[13]。因此, 研究中吸胀吸水量较少的材料是否意味着抗旱性较强, 这有待于进一步进行抗旱性鉴定。

4.5. 按籽粒吸胀特性进行品种聚类

根据籽粒吸胀前后的粒形变化, 将材料 Cluster 聚类为 9 个小类。类型之间的差异主要表现在百粒重差异和吸胀前后粒长的变化。大豆种子萌发属于子叶出土型, 籽粒吸胀前后外形变化对大豆萌发有重要影响。由于大豆粒长伸长明显, 所以大豆种子出土时总是沿粒长方向伸出, 但粒宽和粒厚明显增大的材料出土时的阻力就比较大。由此推断, 具有高粒重、吸胀后粒体积和粒宽增大明显特性的大豆材料(中黄 42, 鲁 96150, PI248511)在萌发出土时所受的土壤阻力就很大, 在土壤湿粘的条件下, 其田间出苗率就不会很高。而科丰 1 号虽然粒宽和粒厚增加较明显, 但吸胀后的粒重和粒体积很小, 所受的土壤阻力必然也小, 据此推测其出苗率依然会较高。因此, 根据大豆粒形推测田间出苗的难易程度应首先考虑粒重和粒体积, 其次考虑粒厚和粒宽的吸胀特性。

大豆籽粒子叶细胞的亚显微结构特征在品种间存在差异。王程(2009)发现大粒品种子叶细胞具有数目多、体积大和重量高的特征^[17]。由于大豆籽粒在鼓粒过程中来自不同方向的阻力存在差异, 这必将导致

大豆子叶细胞形状在粒长、粒宽和粒厚方向可能存在差异, 因此有必要对不同籽粒特性的大豆开展吸胀前后的亚细胞结构观察, 探明粒长、粒宽和粒厚变化的亚显微细胞结构差异。

参考文献 (References)

- [1] R. L. Nelson, P. Wang. Variation and evaluation of seed shape in soybean. *Crop Science*, 1989, 29(1): 147-150.
- [2] P. Salas, J. C. Oyarzo-Llaipen, D. Wang, et al. Genetic mapping of seed shape in three populations of recombinant inbred lines of soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Theoretical and Applied Genetics*, 2006, 113(8): 1459-1466.
- [3] E. R. Cober, H. D. Voldeng and J. A. Fregeau-Reid. Heritability of seed shape and seed size in soybean. *Crop Science*, 1997, 37(6): 1767-1769.
- [4] 梁慧珍, 李卫东, 王辉等. 大豆粒形性状的遗传效应分析[J]. *遗传学报*, 2005, 32(11): 1199-1204.
- [5] W. X. Li, H. L. Ning, W. B. Li, et al. Developmental genetic analysis of seed size in soybean (*Glycine max*). *Acta Genetica Sinica*, 2006, 33(8): 746-756.
- [6] 梁慧珍, 王树峰, 余永亮等. 6 种大豆粒形性状的 QTL 定位[J]. *河南农业科学*, 2008, 45(9): 54-60.
- [7] Y. Xu, H. N. Li, G. J. Li, et al. Mapping quantitative trait loci for seed size traits in soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Theoretical and Applied Genetics*, 2011, 122(3): 581-594.
- [8] 闫宁, 谢尚潜, 耿青春等. 利用 Bayes 分层广义线性模型剖析大豆籽粒性状的遗传基础[J]. *作物学报*, 2013, 39(2): 258-268.
- [9] 牛远, 谢芳腾, 布素红等. 大豆粒形性状 QTL 的精细定位[J]. *作物学报*, 2013, 39(4): 609-616.
- [10] 牛远, 徐宇, 李广军等. 大豆籽粒大小和粒形的驯化研究[J]. *大豆科学*, 2012, 31(4): 522-528.
- [11] S. Muthiah, D. E. Longer and W. M. Harris. Staging soybean seedling growth from germination to emergence. *Crop Science*, 1994, 34(1): 289-291.
- [12] 黄建成, 林国强, 徐树传等. 春大豆优良种质籽粒吸胀特性与萌发关系初报[J]. *福建农业学报*, 1999, 14(2): 8-11.
- [13] 刘学义, 郭志强. 不同抗旱类型大豆籽粒萌动期吸水特性[J]. *中国油料*, 1987, 4: 30-33.
- [14] 王连铮, 郭庆元. 现代中国大豆[M]. 北京: 金盾出版社, 2007: 182.
- [15] 邱丽娟, 常汝镇等. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006, 4(14): 22.
- [16] M. A. Shahin, S. J. Symons and V. W. Poysa. Determining Soya Bean Seed Size Uniformity with Image Analysis[J]. *Biosystems Engineering*, 2006, 94(2): 191-198.
- [17] 王程. 影响大豆籽粒粒重的生理生态因素[D]. 东北农业大学, 2009.