

利用荚果厚度与粒重估计大豆鼓粒速率的研究

李得孝¹, 梁福琴², 汪 勇¹, 王中华¹, 樊 晨²

(1. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 延安农业科学研究所, 陕西 延安 716099)

摘要:大豆鼓粒阶段是决定大豆产量的重要阶段,鼓粒速率可以利用粒重和荚果厚度与花后天数的关系进行模拟估计。田间分别种植3个粒重差异较大的大豆材料(中黄37, 秦豆10号和JTN-5503),通过花期标记,利用不同取样方式(定位和随机),连续测定大豆粒重和荚果厚度,拟合其与花后天数的动态变化。结果显示:(1)线性函数和二次多项式函数可以有效模拟大豆鲜(干)重和荚果厚度与花后天数之间的关系;(2)与籽粒鲜重表示的鼓粒速率比较,籽粒干重增速估值偏高,而基于荚果厚度的估值偏低;(3)不同材料间的荚果平均增厚速率存在差异,但不同材料的初始速率估值差异不大;(4)荚果厚度定位测定的试验误差最小。因此,荚果厚度定位连续测定法可用于大豆鼓粒速率的度量,其结果与籽粒重表示的鼓粒速率有较好的一致性。

关键词:大豆;荚果厚度;鼓粒速率;粒重;鼓粒期

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.02.0244

Estimates of Seed Filling Rate Based on Dynamics of Pod Thickness and Seed Weight in Soybean

LI De-xiao¹, LIANG Fu-qin², WANG Yong¹, WANG Zhong-hua¹, FAN Chen²

(1. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Yan'an Agriculture Science, Yan'an 716099, China)

Abstract: Seed filling process is important for soybean yielding, and seed filling rate can be estimated through simulation of seed weight and pod thickness against days after flowering (DAF). Three soybean lines, Zhonghuang 37, Qindou 10 and JTN-5503, were served as materials and planted in field. Pod thickness and seed dry/fresh weight were measured continuously by means of random sampling and fixed positioning. The results showed that, (i) Soybean seed dry/fresh weight and pod thickness were modulated by a linear or quadratic polynomial functions of DAF. (ii) Compared with seed filling rate estimated by seed fresh weight, the average seed filling rate was overestimated by seed dry weight and underestimated by pod thickness. (iii) The average rate of pod thickness was genotype-dependent, but the initial rates of pod thickness were similar among different soybeans. (iv) The measurement of fixed pod thickness had the lowest level of experimental error. In conclusion, pod thickness is a potential non-destructive indicator to measure soybean seed-filling rate, which shares the similar result with seed weight.

Keywords: Soybean; Pod thickness; Seed filling rate; Seed weight; Seed filling period

大豆结荚鼓粒期是大豆产量形成的关键期,而具体时期的划分主要依据荚果长度和籽粒大小的变化(R3~R8)^[1]。大豆籽粒发育过程有两个部分重叠的阶段:结荚(建库)阶段和鼓粒(籽粒充实)阶段。荚长和荚宽的增加主要集中在结荚阶段,荚果长度和宽度达到最大值时大豆干重只有最终干重的4%^[2]。荚果厚度增加略晚于荚长和荚宽,而与大豆鼓粒期相一致^[3]。因此,荚果厚度可以作为一个很好的外形指标来度量大豆鼓粒进程。基于静态测量的早期文献显示,利用荚果厚度对大豆粒重进行间接选择的效果不及荚果长度和宽度^[2,4-6],之后便鲜有对荚果厚度利用的报道。苏黎等^[3]观察了不同结荚习性大豆的荚果外形的变化并绘制了散点图,但作者更关注粒重的变化,而对荚果厚度的利用没有过多的关注。对于荚果厚度动态变化的重新认识始于 Ohashi 等^[7]对于大豆干旱响应的研究。最近的研究表明,荚果厚度与花后天数的关系可用二次函数进行拟合^[8-10]。大豆荚果厚度有望成为反映大豆鼓粒进程的一个非破坏性指标。

长期以来,大豆鼓粒进程研究主要以粒重为指标。籽粒干重和鲜重的主要区别在于含水量的差异。籽粒含水量的变化与大豆生育时期有关,而与大豆的遗传差异无关^[2]。研究表明,籽粒绝对含水量在籽粒发育初期快速增加,在籽粒生理成熟期达到顶点,而籽粒相对含水量则从80%降为60%^[2,11]。种子干物质积累量则呈“S”型变化,最大积累速率在R6(鼓粒期)至R7(成熟初期)^[3,11-12]。

收稿日期:2016-11-17
基金项目:国家大豆产业技术体系(CARS_04);西北农林科技大学唐仲英育种专项。
第一作者简介:李得孝(1973-),男,博士,副教授,主要从事大豆遗传育种。E-mail: lidexiao@nwsuaf.edu.cn。
通讯作者:梁福琴(1974-),女,高级农艺师,主要从事大豆新品种选育与示范推广研究。E-mail: yankslfq@126.com。

大豆鼓粒速率和鼓粒持续期决定大豆最终产量的形成。其中鼓粒持续期一般为 R5 ~ R7 期^[13]。大豆鼓粒速率受品种基因型和环境因素影响。但同一品种不同时间所结荚果的鼓粒速率则相对稳定^[14]。但国内研究表明,同一植株前、中、后期和上、中、下段所形成的籽粒,其增重有快慢之别,一般前期和下段所形成的籽粒增重较慢^[12]。基于荚果厚度的研究显示,晚开花的荚果鼓粒速率略大于早开花的荚果^[8];鼓粒速率在多粒荚(3 粒荚和 4 粒荚)中存在明显的粒位效应(荚果中部 > 远端 > 近荚柄端)^[10]。鼓粒期长短主要受日长、气温、干旱、种植密度和摘叶处理等因素的影响^[14-17]。最新的进展是大豆干物质积累速率的 QTL 分析^[18]。

迄今,大豆鼓粒速率可以用粒重和荚果厚度的变化来度量,而后者具有无损伤测定的优势,可以实现连续定位测定。为了推进大豆荚果厚度的利用并与前人研究文献有所参照,探讨大豆粒重和荚

果厚度的动态变化关系具有重要意义。研究将用粒重和荚果厚度两个指标分别估计大豆鼓粒速率,并考察定位取样和随机取样对不同鼓粒速率估计的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2014 年在陕西杨凌西北农林科技大学试验田进行。供试材料选择差异较大的 3 个大豆品种(表 1),6 月 17 日播种,每个材料种 12 行,行长 6 m,行距 0.40 m,株距 0.13 m,管理措施同普通大田。6 月 23 日出苗,7 月下旬进入开花期。每个材料在盛花期选择长势一致的植株 100 株左右,选留同日开花的花朵,剔除同节位其余花蕾并挂牌标记。标记日期为 7 月 25 日(秦豆 10 号)和 8 月 2 日(中黄 37 和 JTN-5503)。

表 1 大豆试验材料基本信息

Table 1 Basic information of soybean materials

材料 Material	来源 Origin	主要特性 Characteristics
中黄 37 Zhonghuang 37	中国农业科学院作物科学研究所	有限结荚习性,生育期 110 d,百粒重约 28 g,大粒品种
秦豆 10 号 Qindou 10	陕西省杂交油菜研究中心	亚有限结荚习性,生育期 110 d,百粒重约 19 g,中粒品种
JTN-5503	美国引进	有限结荚习性,生育期 90 d,百粒重约 5 g,小粒品种

1.2 测定项目与方法

鼓粒期确定参照传统方法^[1,13]。标记荚果生长进入鼓粒期,随机选 10 株作为定位组,其余作为取样组。定位组植株上标记的荚果籽粒按顺序编号,隔日测定荚果厚度(精度 0.01 mm),测定工作从 R5 期开始,荚果变色时(R7)结束;取样组每次同时测定荚果厚度和单粒鲜重(精度 0.01 g),然后将取样籽粒混合自然阴干,称取干重(0.01 g),最终折算为单粒干重,相关的取样测定工作也在 R7 期终止。

1.3 数据分析

定位组测定的荚果厚度原始数据按时间序列绘制散点图,剔除发育异常籽粒的相关数据。抽样组在测定过程中注意剔除受病虫害侵害的籽粒。计算各期指标均值(\bar{x})和标准差(SD),计算变异系数($CV(\%) = SD/\bar{x} \times 100$)。

将鼓粒开始至荚果厚度(粒重)最大值出现期作为鼓粒期,选取该时段相关数据进行统计模拟。荚果厚度或籽粒鲜重(y)与花后天数(x)的关系用二阶多项式 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1x + \hat{\beta}_2x^2$ 或线性函数 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1x$ 进行模拟,其中二阶多项式中一次项系数为初始鼓粒速率,线性函数的一次项系数为平均鼓粒速率。为了消除材料间荚果厚度和籽粒鲜重的固有

差异,按正态变换($y = (y_i - y_{\max})/SE$)进行标准化处理,其中 y_{\max} 为指标最大值,SE 为标准误差。标准化处理后的数据也进行相关模拟。

所有数据用 SAS 8.01 统计软件和 Excel 2007 程序完成。

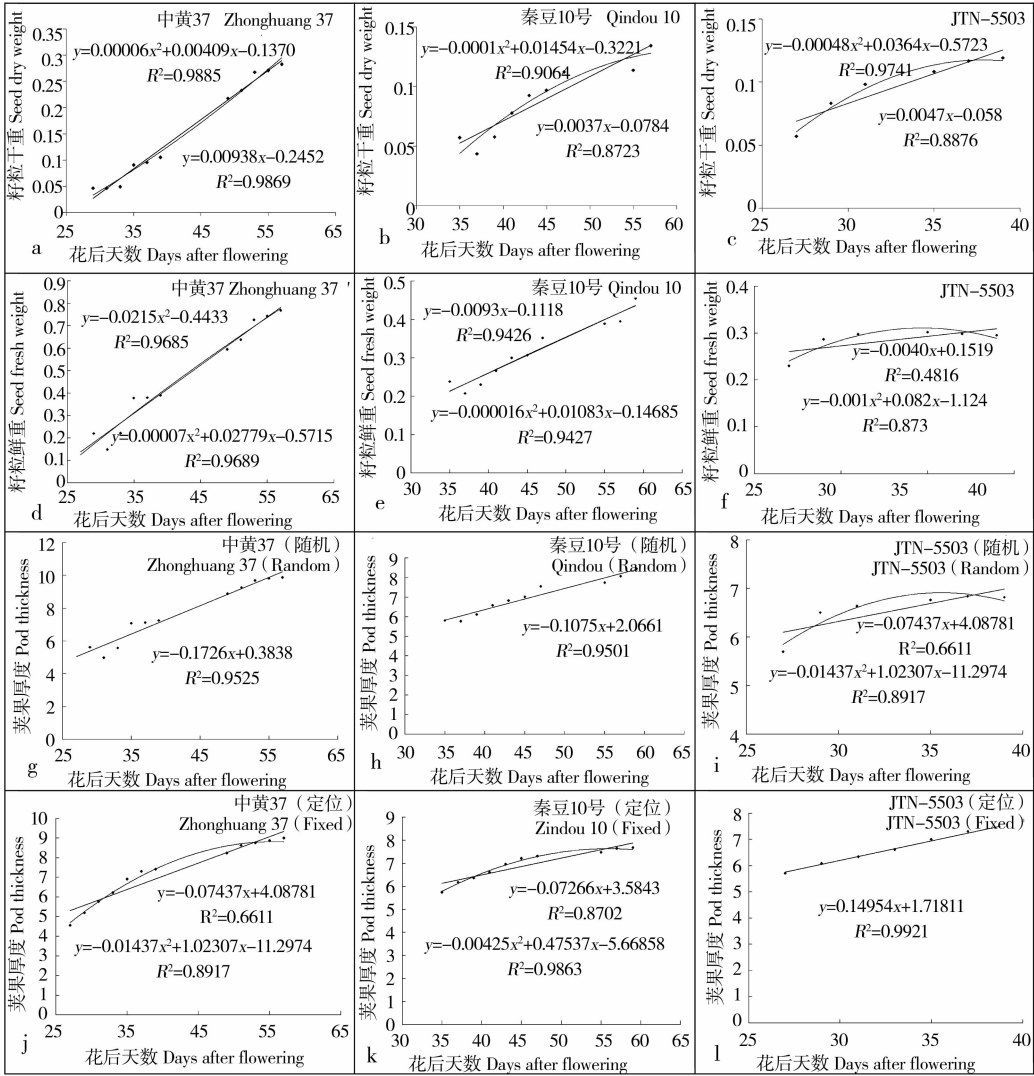
2 结果与分析

2.1 基于粒重和荚果厚度估计大豆鼓粒速率

在随机取样情况下,大豆粒重(干重和鲜重)和荚果厚度都可以用花后天数(DAF)的直线或二次多项式函数进行模拟(图 1a ~ i)。而且,在中黄 37 和秦豆 10 号中,线性函数就可以很好地模拟 3 个指标与 DAF 的关系,其中,直线函数的斜率就是平均鼓粒速率的估计值。中黄 37 和秦豆 10 号生育期相当,但二者基于籽粒干重估计的平均鼓粒速率相差 2.53 倍(图 1a 和 b),基于籽粒鲜重估计的平均鼓粒速率相差 2.31 倍(图 1d 和 e),基于荚果厚度估计的平均鼓粒速率相差 1.60 倍(图 1g 和 h)。考虑到大豆鼓粒过程中干物质和水分同时都在增加,由鲜重估计的鼓粒速率应该是一个合适的比较标准。据此可以判断,用籽粒干重估计的鼓粒速率偏高,而依据荚果厚度估计的值偏低。

从定位测定的荚果厚度估计的中黄 37 的平均鼓粒速率是秦豆 10 号的 1.85 倍,分别为 0.134 8 和 0.072 6 mm·d⁻¹(图 1j 和 k)。与上述随机取样的荚果厚度估计值相比,每个品种的定位取样的估计值虽然有偏小的趋势,但品种间的相对差异却增加了,这是取样方法不同所致。

JTN-5503 是早熟的小粒豆(纳豆)品种,其生育期和籽粒大小与中黄 37 和秦豆 10 号差异明显(表 1)。在随机取样方式下,其籽粒干/鲜重和荚果厚度与 DAF 的关系可以用二次多项式进行模拟(图 1c,f,i),但荚果厚度用直线关系拟合更好(图 1l)。这种表现与中黄 37 和秦豆 10 号明显不同。



a ~ i 的数据源于随机取样;j ~ l 数据来自定位取样。a ~ c 的籽粒干重由每次取样 3 株的标记籽粒混合测定而来。

Data in plate a-i is from the random samples, and data in plate j-l from the fixed samples. Seed dry weight in plate a-c is calculated from the air-dried bulk seeds of three soybeans in each time.

图 1 大豆籽重与荚果厚度的动态模拟
Fig. 1 Simulations of soybean seed dry/fresh weight and pod thickness(y)
against days after flowering(x)

2.2 基于荚果厚度和粒重的平均鼓粒速率比较

大豆鼓粒速率可以通过籽粒干/鲜重或者荚果厚度进行估计。由于测量单位和误差大小不同,难以对 3 个估计值直接进行比较。因此,将随机取样获得的籽粒鲜重和荚果厚度通过正态变换进行标准化处理,据此估计的平均鼓粒速率就可以进行直接比较(表 2)。基于鲜重和荚果厚度原始数据估算

的不同品种鼓粒速率差异较大(相差 2.25 和 1.57 倍),但两个指标的趋势都一致。经标准化处理消除量纲后,同一材料利用鲜重和荚果厚度表示的鼓粒速率差异不显著,说明数据通过标准化处理后,基于大豆荚果厚度的鼓粒速率与基于粒重的结果是一致的。

表 2 随机抽样情况下大豆平均鼓粒速率比较

Table 2 Comparison of soybean average seed-filling rate under random sampling

材料名称 Material	基于原始数据 Based on original data		基于标准化数据 Based on standardized data	
	籽粒鲜重 Fresh weight	荚果厚度 Pod thickness	籽粒鲜重 Fresh weight	荚果厚度 Pod thickness
中黄 37 Zhonghuang 37	0.021 5 ± 0.002 0	0.172 6 ± 0.015 5	0.304 3 ± 0.028 2	0.319 9 ± 0.028 8
秦豆 10 号 Qindou 10	0.009 3 ± 0.000 8	0.107 5 ± 0.008 7	0.151 5 ± 0.013 2	0.180 4 ± 0.014 6

平均鼓粒速率为线性方程斜率 ± 标准误,单位分别为 $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ (鲜重)和 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ (荚果厚度)。标准化鼓粒速率的 t 测验表明,指标内部的不同材料间差异显著,而同一品种内不同指标间差异不显著。

The average seed-filling rate is slope of linear equation ± standard error measured in $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ for seed fresh weight $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ for pod thickness. The t -test was conducted with the standardized seed filling rate, and significant difference was detected between different genotypes within index, however, no difference was detected between seed fresh weight and pod thickness.

2.3 抽样方式对荚果厚度估测的大豆鼓粒速率的影响

由随机取样和定位测定获得的荚果厚度分别估测大豆鼓粒速率(表 3),探讨抽样方式对鼓粒速率估计的影响。由原始数据直接估计鼓粒速率,随机取样的估测值大于定位取样的估测值。例如,在随机取样情况下,中黄 37 的平均鼓粒速率是定位取样估测值的 1.28 倍(随机取样 $0.172\ 6\ \text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ > 定位取样 $0.134\ 8\ \text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。数据经标准化处理后,定位取样的估测值偏大(随机取样 $0.319\ 9$ > 定位取样 $0.365\ 6$),但二者差异不显著,这主要是定位测定的误差较小所致。在秦豆 10 号中也是同样

的结果,JTN-5503 因为拟合不佳难以比较。

基于定位测定的荚果厚度和花后天数的资料,可以用 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ 和 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \beta_2 x^2$ 拟合数据,来估计平均鼓粒速率(直线函数的斜率 $\hat{\beta}_1$)和初始鼓粒速率(二次函数一次项系数 $\hat{\beta}_1$)。表 3 显示,由原始数据估计的平均鼓粒速率和初始鼓粒速率在材料间差异显著,但经过标准化处理后,只有平均鼓粒速率存在基因型差异,而初始鼓粒速率差异不显著。可见,如果没有进行标准化处理,将会做出错误的结论。

表 3 不同取样方法对大豆鼓粒速率(β_1)的影响

Table 3 Effect of sampling methods on average seed filling rates (β_1) in soybean

材料名称 Material	基于原始数据的 β_1 $\hat{\beta}_1$ based on original data		基于标准化数据的 β_1 $\hat{\beta}_1$ based on standardized data	
	随机取样 Random	定位取样 Fixed	随机取样 Random	定位取样 Fixed
中黄 37 Zhonghuang 37	0.172 6 ± 0.015 5	0.134 8 ± 0.011 1 (0.504 2 ± 0.076 4)	0.319 9 ± 0.028 8	0.365 6 ± 0.030 2 (1.368 0 ± 0.207 2)
秦豆 10 号 Qindou 10	0.107 5 ± 0.008 7	0.072 7 ± 0.009 9 (0.475 4 ± 0.052 4)	0.180 4 ± 0.014 6	0.212 9 ± 0.029 1 (1.393 2 ± 0.153 4)
JTN-5503	— (1.023 1 ± 0.375 9)	0.149 5 ± 0.006 0 (0.272 6 ± 0.111 3)	— (2.491 0 ± 0.915 2)	0.661 1 ± 0.026 4 (1.205 1 ± 0.491 9)

数据用鼓粒速率 $\hat{\beta}_1 \pm$ 标准误表示(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$),其中,括号外的平均鼓粒速率 $\hat{\beta}_1$ 为线性函数 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ 的斜率,括号内的初始鼓粒速率 $\hat{\beta}_1$ 为二次函数 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \beta_2 x$ 的一次项系数;“—”表示拟合效果差,数据未显示。

The data is shown as $\hat{\beta}_1 \pm$ Standard error measured in $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$. $\hat{\beta}_1$ in the function of $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x$ (outside brackets) is the estimate of average seed filling rate, $\hat{\beta}_1$ in $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \beta_2 x$ (in brackets) is the estimate of initial seed filling rate. “—” means absence of estimates because of inadequate fitting.

2.4 大豆籽粒鲜重和荚果厚度的测定误差比较

不同大豆材料和取样方法的合并标准差存在差异(表 4)。大粒材料中黄 37 的标准差较大。例如,按荚果厚度的标准差按材料排序,中黄 37 ($0.368\ 6$) > 秦豆 10 号 ($0.341\ 2$) > JTN-5503 ($0.226\ 2$)。测定荚果厚度时,随机取样的标准差大

于定位取样的标准差。

不同指标和取样方法间的比较可以用变异系数较好地反映。对荚果厚度而言,定位取样的变异系数都小于随机取样的变异系数;在随机取样方式下,粒重的变异系数大于荚果厚度的变异系数。因此,在定位测定荚果厚度时,试验误差最小。

表4 不同材料不同指标的平均标准差和变异系数比较

Table 4 Pooled standard deviation(*SD*) and coefficient of variation(*CV*) among different soybeans and indexes

材料名称 Material	随机取样 Random sampling				定位取样 Fixed sampling	
	籽粒鲜重 Seed fresh weight		荚果厚度 Pod thickness		荚果厚度 Pod thickness	
	<i>SD</i>	<i>CV</i>	<i>SD</i>	<i>CV</i>	<i>SD</i>	<i>CV</i>
中黄 37 Zhonghuang 37	0.070 7	12.59	0.539 5	6.25	0.368 6	4.81
秦豆 10 号 Qindou 10	0.061 4	17.81	0.595 8	8.07	0.341 2	6.26
JTN-5503	0.042 3	11.21	0.410 7	4.70	0.226 2	6.39

3 结论与讨论

3.1 大豆荚果厚度和粒重标准化后估计的鼓粒速率相当

粒重和荚果厚度都可以用于评价不同大豆材料的鼓粒速率,但应当考虑大豆品种生育期和籽粒大小,因此,对原始数据进行标准化处理是必要的。早熟小粒材料在鼓粒前期增速非常快,之后出现一个稳定期,所以不能用线性关系模拟其进程。而熟期相当的中大粒材料间则表现为线性稳增趋势。这种基于标准化处理数据估计的鼓粒速率才能反映不同大豆材料鼓粒速率的真实差异。

3.2 材料间荚果增厚平均速率差异显著,而初始速率差异不显著

显然,平均增厚速率与鼓粒持续期有关,而初始荚果增厚速率是瞬时速率,与鼓粒持续期无关。或许在大豆鼓粒进程的精细研究中将瞬时速率和平均速率加以区分是必要的。研究还得出,定位测定估计的荚果平均增厚速率要大于随机取样的结果。在大样本情况下,定位测定和随机测定的结果会趋于接近,但在试验采用的小样本情况下,这种趋势是客观存在的。因此,对于不同时空进行的类似试验,鼓粒速率的绝对值难以直接进行比较。而通过设置共同对照,采用相对值可以实现这类结果的相互比较。

3.3 基于荚果厚度估计大豆鼓粒速率的优势

研究表明,定位测定荚果厚度试验误差最小,随机测定的荚果厚度变异系数小于籽粒鲜重的变异系数。综合分析试验变异数结果,籽粒鲜重试验误差较大的原因可能有3个:(1)籽粒鲜重指标本身比荚果厚度的变异系数要大;(2)随机取样比定位测定的误差要大;(3)试验误差有随着鼓粒进程增大的趋势。传统鼓粒特性研究中使用的粒重指标需要通过随机抽样的方式获取不同时段的数据,抽样误差较大,也难以对样本量有限的群体进行鼓粒特性研究。大豆荚果厚度指标可以实现定位连续测定,通过动态观察有效剔除发育异常籽粒的数据,同时取样量小也为小样本群体和不稳定群体开

展鼓粒特性评价开辟了新的思路。同时,在大豆营养成分等指标(其含量计算基于大豆粒重数据)的发育动态研究中,也可以考虑使用荚果厚度作为辅助指标,用于剔除异常发育的籽粒,提高测定数据的可靠性。

因此,尽管利用粒重和荚果厚度都可以对大豆鼓粒速率进行度量,但荚果厚度具有无损伤测定、误差易于控制等优势,在相关研究实践中应用的价值非常大。

参考文献

[1] Fehr W R, Caviness C E. Stages of soybean development[R]. Special Report 80, Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 1977.

[2] Fraser J, Egli D B, Leggett J E. Pod and seed development in soybean cultivars with differences in seed size[J]. Agronomy Journal, 1982, 74(1): 81-85.

[3] 苏黎, 张仁双, 宋书宏. 不同结荚习性大豆开花结荚鼓粒进程的比较研究[J]. 大豆科学, 1997, 16(3): 237-244. (Su L, Zhang R S, Song S H. Comparative studies on flowering pod setting and seed filling of soybeans with different podding habits[J]. Soybean Science, 1997, 16(3): 237-244.)

[4] Bravo J A, Fehr W R, Cianzio S R D. Use of pod width for indirect selection of seed weight in soybeans[J]. Crop Science, 1980, 20: 507-510.

[5] Frank S J, Fehr W R. Associations among pod dimensions and seed weight in soybeans[J]. Crop Science, 1981, 21(4): 547-550.

[6] Cianzio S R D, Frank S J, Fehr W R. Seed width to pod width ratio for identification of green soybean pods that have attained maximum length and width[J]. Crop Science, 1982, 22: 463-466.

[7] Ohashi Y, Nakayama N, Saneoka H, et al. Difference in the responses of stem diameter and pod thickness to drought stress during the grain filling stage in soybean plants[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2009, 31: 271-277.

[8] 李得孝, 王晶, 刘修杰, 等. 利用荚果厚度模拟大豆鼓粒进程的研究[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(1): 29-36. (Li D X, Wang J, Liu X J, et al. Seed-bulging simulation with pod thickness in soybean (*Glycine max* (L.) Merri.)[J]. Journal of China Agricultural University, 2014, 19(1): 29-36.)

[9] 李得孝, 陈见生, 刘修杰. 基于大豆荚果厚度拟合评价黄淮夏大豆的鼓粒特性[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(1): 8-

14. (Li D X, Chen J S, Liu X J. Evaluation of see-bulging characteristics of summer soybean lines in Huang-Huai area based on pod thickness simulation[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2015, 38(1): 8-14.)

[10] 李得孝, 刘修杰, 胡超, 等. 大豆节位和粒位对荚果厚度的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(6):841-847. (Li D X, Liu X J, Hu C, et al. Effect of node and seed position on pod thickness related indexes in soybean[J]. Soybean Science, 2014, 33(6): 841-847.)

[11] 孙广玉, 王滔. 大豆鼓粒特点研究[J]. 中国油料, 1989, 3: 30-33. (Sun G Y, Wang T. Studies on characteristics of soybean seed filling[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1989, 3: 30-33.)

[12] 王晓光, 董钻, 谢甫锦. 不同结荚习性大豆荚粒形成的比较研究[J]. 辽宁农业科学, 1998(1): 20-23. (Wang X G, Dong Z, Xie F T. Comparison of soybean seed filing with different stem growth habit[J]. Liaoning Agricultural Science, 1998(1): 20-23.)

[13] Pfeiffer T W, Suryati D. Comparisons of methods of estimating the

seed filling period in soybeans[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 1990, 164(4): 242-248.

[14] Egli D B, Legget J E, Wood J M. Influence of soybean seed size and position on the rate and duration of filling[J]. Agronomy Journal, 1978, 70: 127-130.

[15] El-Zeadani H, Puteh A B, Mondal M M A, et al. Seed Growth Rate, Seed filling period and yield responses of soybean (*Glycine max*) to plant densities at specific reproductive growth stages[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2014, 16(5): 923-928.

[16] Board J E, Wier A T, Boethel D J. Soybean yield reductions caused by defoliation during mid to late seed filling[J]. Agronomy Journal, 1994, 86: 1074-1079.

[17] Westgate M E, Grant D T. Effect of water deficits on seed development in soybean: I. Tissue water status[J]. Plant Physiology, 1989, 91(3): 975-979.

[18] Jiang Z, Ding J, Han Y, et al. Identification of QTL underlying mass filling rate at different developmental stages of soybean seed [J]. Euphytica, 2013, 189(2): 249-260.

大豆生态适应性遗传机制方面取得重要进展

大豆是世界上重要的经济粮食作物,起源于我国黄淮海地区,是典型的短日照作物。通常,当高纬度地区大豆品种引种到低纬度区域时,由于其对光周期极其敏感,成熟期大大提前,导致大豆植株生物量和产量降低,这极大程度限制了低纬度地区的大豆种植。大豆长童期(Long Juvenile, LJ)性状在上世纪70年代被发现,并成功应用于低纬度地区大豆育种。LJ性状的导入,突破了大豆在低纬度地区产量极低的限制,使大豆在低纬度(尤其是南美地区)得以快速扩张和推广。上世纪90年代,研究发现*J*是控制大豆LJ性状的关键位点,然而其编码基因和分子调控机制一直未明确。

中国科学院遗传与发育生物学研究所田志喜研究组与中科院东北地理所孔凡江研究组和刘宝辉研究组以及中科院华南植物园侯兴亮研究组合作,通过正向遗传学的方法图位克隆了*J*基因。发现*J*基因是拟南芥*EARLY FLOWERING 3(ELF3)*的同源基因,通过功能互补实验和近等基因系等方法验证了该基因的功能,且在低纬度条件下(短日照条件),突变型*j*与野生型*J*相比能提高大豆产量达30-50%。进一步研究表明,在短日照条件下,*J*蛋白能够与大豆光周期开花的核心调控因子*E1*启动子的LUX结合元件直接结合,进而抑制*E1*基因的表达,从而解除了*E1*对*FT*的抑制,促进*FT*基因的表达上调。同时,研究还发现*J*基因的表达受到光敏色素蛋白E3和E4的抑制,揭示了大豆特异的光周期调控开花的PHYA(E3E4)-*J*-*E1*-*FT*遗传网络(图1)。群体遗传学分析发现,*J*基因在适应低纬度大豆品种中至少存在着8种功能缺失型等位变异。*J*基因多种变异的产生是大豆适应低纬度地区和产量增加的重要进化机制,低纬度地区的环境压力是*J*基因产生变异的主要驱动力。这些等位变异对大豆在低纬度地区的推广和大豆生产必将起到重要的作用。

相关研究成果以Article形式于2017年3月20日在*Nature Genetics*杂志上在线发表(DOI:10.1038/ng.3819)。该文通讯作者是中科院东北地理所刘宝辉研究员、孔凡江研究员、中科院遗传发育所田志喜研究员以及华南植物园侯兴亮研究员。东北地理所芦思佳博士、赵晓晖博士、华南植物园博士研究生胡一龙、遗传发育所博士研究生刘书林和东北地理所南海洋博士为论文共同第一作者。该项研究得到了国家自然科学基金委、科技部和中国科学院先导专项的资助。

转自中国科学院遗传与发育研究所网站