

## 花期干旱对不同基因型大豆叶绿素荧光特性的影响

孙海锋<sup>1</sup>, 战勇<sup>2</sup>, 林海容<sup>1</sup>, 魏凌基<sup>1</sup>, 雷明<sup>1</sup>, 潘秀梅<sup>1</sup>, 何能<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>石河子大学农学院/新疆兵团绿洲生态农业实验室, 新疆石河子 832003; <sup>2</sup>新疆农垦科学院作物研究所, 新疆石河子 832003)

**摘要:**利用叶绿素荧光动力学测定技术,测定开花期干旱不同基因型大豆品种叶绿素荧光参数的变化。以3个不同基因型大豆品种为材料,应用OS52FL调制式叶绿素荧光仪研究在开花期干旱胁迫下,各荧光参数的变化及用方差分析进行综合评价。结果表明,大豆开花期受旱后,可变荧光与最大荧光比( $F_v/F_m$ )、可变荧光与初始荧光比( $F_v/F_0$ )、非光化学淬灭系数( $NPQ$ )均降低,而电子传递速率( $ETR$ )升高,说明光系统II( $PS II$ )受到了伤害,使得 $PS II$ 原初光能转换效率( $F_v/F_m$ )、 $PS II$ 潜在活性( $F_v/F_0$ )、起光保护作用的热耗散降低,光合电子传递速率升高。且荧光参数之间具有相关性。花期干旱胁迫后,各参数存在基因型差异,新大豆1号在花期干旱条件下,光合机构受破坏较轻,其吸收的光能能较多的用于光化学转化能力,抗旱能力强。因此,花期干旱胁迫下,叶绿素荧光参数的变化与大豆品种抗旱性有关,利用大豆叶绿素荧光特性对于干旱胁迫的反应差异鉴定品种抗旱性是可行的。

**关键词:**干旱胁迫;叶绿素荧光;大豆;基因型差异;抗旱性

## Response of Chlorophyll Fluorescence to Drought Stress at Flowering in Different Soybeans

SUN Hai-feng<sup>1</sup>, ZHAN Yong<sup>2</sup>, LIN Hai-rong<sup>1</sup>, WEI Lin-ji<sup>1</sup>, LEI Ming<sup>1</sup>, PAN Xiu-mei<sup>1</sup>, and HE Neng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agriculture, Shihezi University/Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi 832003, Xinjiang; <sup>2</sup>Xinjiang Agricultural Reclamation Academy of Science, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

**Abstract:** Known as the rapid non-destructive probe for studying plant photosynthesis, chlorophyll fluorescence analysis has been gradually put into use in studying the effects of stressful environments on plant photosynthesis. To investigate the effect of drought stress at flowering on chlorophyll fluorescence characters of soybean, three soybean genotypes were adopted, and the change of the chlorophyll fluorescence parameters were determined by using OS52FL chlorophyll fluorometer. Under the condition of drought at flowering, the ratio of the variable to maximum fluorescence ( $F_v/F_m$ ); the ratio of variable to minimal fluorescence ( $F_v/F_0$ ) and non-photochemical quenching coefficient ( $NPQ$ ) decreased, while the electron transport rate ( $ETR$ ) increased. The analysis indicated that photosystem II damaged, and primary light energy conversion of  $PS II$  ( $F_v/F_m$ ), potential activities of  $PS II$  ( $F_v/F_0$ ) and heat disseminate which possess photoprotective effect were decreased and photosynthetic electron transport increased, and the chlorophyll fluorescence parameters were closely correlated with each other. The change of chlorophyll fluorescence parameters under drought stress at flowering varied with genotypes, and the damage of photosynthetic apparatus of Xindadou 1 was lighter, so more light energy absorbed by Xindadou 1 was converted into chemical energy and the ability of drought tolerance was stronger. Therefore, it is possible to determine the drought resistance in soybean using chlorophyll fluorescence characters.

**Key words:** Chlorophyll fluorescence; Drought stress; Soybean; Genotypic difference; Drought-resistant

干旱是影响大豆产量的重要障碍(李贵全等, 2000; 张海燕等, 2005)。干旱可通过影响包括光合作用在内的多种生理生化代谢减缓或抑制大豆的生长发育, 导致减产。目前叶绿素荧光动力学技术逐

渐成为农业领域的一项热门技术(刘家尧等, 1997; Vander Mescht and de Ronde, 1999; 赵会杰等, 2000), 广泛应用于农业生产和科研, 尤其在鉴定评价作物的耐逆境能力如耐旱性、耐寒性、耐盐性等放

收稿日期(Received): 2007-08-30; 接受日期(Accepted): 2007-10-16

基金项目: 新疆兵团博士基金项目(04BSZJ-01)

作者简介: 孙海锋(1979-), 女, 硕士研究生, 研究方向为生物技术在遗传育种中的应用。E-mail: 3067196shf@163.com

通讯作者(Corresponding author): 魏凌基, 教授。E-mail: wlj\_agr@shzu.edu.cn

面的应用越来越多(冯建灿等,2002;陈建明等,2006),但有关叶绿素荧光技术作为抗逆性诊断的可行指标在大豆育种上应用的报道非常少。在大豆抗旱研究方面,已有不少学者研究了干旱胁迫对不同大豆品种的影响(梁成第,1990;Sloane et al.,1990;刘艮舟等,1989),由于大豆在开花期对水分最为敏感,这一时期大豆品种的荧光参数指标应该更能反应品种的抗旱性,试验选用3个不同基因型大豆品种,在开花期进行了叶绿素荧光参数的研究,以期加深对旱害发生机理的认识。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试大豆品种(系)为新大豆1号(创国内超高产记录的大豆品种,也是目前新疆主栽的中熟大豆品种),17-125-830和1048。

### 1.2 试验设计

试验于2006年在新疆石河子农垦科学院(44°19'N,86°01'E)试验地进行,土壤含有机质26 g kg<sup>-1</sup>,碱解氮42.8 mg kg<sup>-1</sup>,速效磷23.81 mg kg<sup>-1</sup>,速效钾275 mg kg<sup>-1</sup>。设对照(正常灌水)、花期干旱两个处理,两个处理之间挖60 cm深的防渗膜隔开,每个品种(系)在各处理种6行,行距0.35 m,行长3 m,3次重复,随机排列。试验田4月20日人工点播,9月27~28日收获。在大豆盛花期(6月23日)开始灌水,灌水后2 d测定灌水与干旱处理30 cm内的土壤重量含水量分别为19.7%~21%和12.2%

~13.8%。正常灌水用水表测定灌水量,灌水量为745.4 m<sup>3</sup> hm<sup>-2</sup>。干旱处理不予灌水,直至结荚期(7月3日)与对照同期灌水,以后灌水与对照相同。其它农艺措施按大田管理。

### 1.3 叶绿素荧光参数的测定

叶绿素荧光参数测定采用OS52FL调制式叶绿素荧光仪(美国Opti2science公司)。叶片暗适应30 min后,采用Kinetic模式测定大豆倒三叶。用弱测量光测定初始荧光( $F_0$ ),随后给一个强闪光(1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,脉冲时间0.8 s)测得最大荧光( $F_m$ ),计算可变荧光( $F_v = F_m - F_0$ ),光系统II(PS II)最大光化学效率( $F_v/F_m$ ),PSII潜在活性( $F_v/F_0$ ),并计算PS II电子传递速率( $ETR = (F_m - F_s)/F_m \times PFD \times 0.5 \times 0.84$ ,PFD为光子通量密度。在大豆开花期,选择晴天测定(10:00~12:00),每处理测定8~10片叶,取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 花期干旱对大豆叶片 $F_v/F_0$ 的影响

从表1可见,正常灌水条件下3个品种(系)的 $F_v/F_0$ 差异不显著。在干旱胁迫条件下,各品种的 $F_v/F_0$ 都下降,但下降幅度在不同基因型间差异较大,新大豆1号、17-125-830和1048的 $F_v/F_0$ 分别下降7.6%、41.6%和45.3%,新大豆1号下降幅度最小,17-125-830与新大豆1号、1048差异不显著,1048和新大豆1号达到显著水平。不同处理间,新大豆1号、17-125-830差异不显著,1048差异显著。

表1 开花期干旱对大豆叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 1 Effect of drought in flowering on chlorophyll fluorescence parameters in leaf of soybean

基因型 Genotype	$F_v/F_0$		$F_v/F_m$		$ETR$		$NPQ$	
	对照 CK	干旱 Drought	对照 CK	干旱 Drought	对照 CK	干旱 Drought	对照 CK	干旱 Drought
新大豆1号	3.81 ±	3.52 ±	0.81 ±	0.78 ±	38.60 ±	46.87 ±	0.73 ±	0.55 ±
Xindadou 1	0.41a(a)	0.20a(a)	0.02a(a)	0.01a(a)	2.26Bb(Bb)	1.87Aa(Aa)	0.08Aa(Aa)	0.06Bb(Aa)
17-125-830	3.44 ±	2.43 ±	0.78 ±	0.72 ±	39.68 ±	44.97 ±	0.68 ±	0.40 ±
	0.42a(a)	0.74a(ab)	0.03a(a)	0.06a(ab)	2.09Bb(Bb)	3.69Aa(Bb)	0.05Aa(Aa)	0.06Bb(Bb)
1048	3.31 ±	1.81 ±	0.77 ±	0.59 ±	44.42 ±	44.58 ±	0.53 ±	0.43 ±
	0.58 a(a)	0.74 b(b)	0.03a(a)	0.09 b(b)	2.50a(Aa)	1.74a(Bb)	0.04 Aa(Bb)	0.05Bb(Bb)

表中数据是8次数据的平均值及其标准差;同行括号外字母不同表示不同处理间差异显著;同列括号内字母不同表示基因型间差异显著。

The data are the mean value and standard deviation of five duplicates. Different letters in the same rows and different letters in bracket in the same columns indicate significant differences of treatments and genotypes respectively (Duncan test  $P < 0.05$ ).

### 2.2 花期干旱对大豆叶片 $F_v/F_m$ 的影响

从表1可以看出,正常灌水条件下3个品种(系) $F_v/F_m$ 的差异不显著。花期干旱胁迫后,新大

豆1号、17-125-830和1048的 $F_v/F_m$ 都有所降低,新大豆1号仅降低了3.7%,17-125-830降低了7.7%,1048降幅最大,达23.4%,新大豆1号和

1048 差异均达显著水平,而 17-125-830 与新大豆 1 号、1048 差异不显著。在不同处理间, $F_v/F_m$  与  $F_v/F_0$  的结果相同,也是新大豆 1 号、17-125-830 差异不显著,1048 差异显著。

### 2.3 花期干旱对大豆叶片 NPQ 的影响

从表 1 可看出,在正常灌水条件下,新大豆 1 号、17-125-830 与 1048 的 NPQ 差异达极显著水平,而新大豆 1 号与 17-125-830 的差异不显著;花期干旱处理后,新大豆 1 号、1048、17-125-830 的 NPQ 分别下降了 25%、20% 和 42%,新大豆 1 号与 1048、17-125-830 均达到极显著水平,而 17-125-830 与 1048 差异不显著。不同处理间,三个不同基因型品种(系)均达到了极显著水平。

### 2.4 花期干旱对大豆叶片 ETR 的影响

由表 1 可以看出,花期干旱处理后,三个不同基因型品种(系)的 ETR 都较正常灌水升高,新大豆 1 号升高幅度最大为 21%;17-125-830 为 13%;1048 的最小,仅 0.4%,新大豆 1 号与 1048、17-125-830 的差异分别达显著和极显著水平。说明在花期干旱处理后,新大豆 1 号加强了反映中心的电子捕获效率,从而维持较高的电子传递速率,增强光呼吸作用,较好地保护了光合机构。不同处理间,新大豆 1 号、17-125-830 达到了极显著水平,1048 差异不显著。

### 2.5 荧光诱导动力学参数的相关分析

对各荧光诱导动力学参数进行相关分析表明(表 2),荧光参数  $F_v/F_m$  与  $F_v/F_0$ 、ETR 存在线性正相关且达到显著和极显著水平;NPQ 与  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  存在线性负相关且达到显著水平,这表明各荧光参数相互影响和制约,在指示作物叶片光合特性方面有一致性。

表 2 各荧光动力学参数的相关分析

Table 2 Correlation analysis of chlorophyll

fluorescence parameters

	$F_v/F_0$	$F_v/F_m$	NPQ	ETR
$F_v/F_0$	1			
$F_v/F_m$	0.999 *	1		
NPQ	-1.000 *	-0.998 *	1	
ETR	-	0.999 **	-	1

样本数为 8; \* 表示  $P < 0.05$ , \*\* 表示  $P < 0.01$ , - 表示相关关系不显著。

Number of observations is eight; \* :  $P < 0.05$ ; \*\* :  $P < 0.01$

## 3 讨论

在荧光参数测定中,经过暗适应的叶片,可变荧光( $F_v$ )与固定荧光( $F_0$ )的比值( $F_v/F_0$ )可代表 PSII 的潜在活性,水分胁迫下  $F_v/F_0$  比值显著降低,说明 PS II 潜在活性中心受损,光合电子由 PS II 反应中心向 QA、QB 及 PQ 库传递过程受到影响(杨晓青等,2004)。抗旱性越弱的品种下降幅度越大,其叶绿素荧光受水分胁迫影响的程度也越大。因此,从  $F_v/F_0$  下降程度来看,新大豆 1 号抗旱性最强,17-125-830 抗旱性最弱。

$F_v/F_m$  是最大光化学量子产量,反映 PS II 反应中心内原初光能转换效率,在正常条件下该参数变化极小,不受物种和生长条件的影响,逆境下该参数明显下降(李霞等,2002),光合作用原初反应过程受抑制,它是表示光抑制程度的良好指标和探针(陈建明等,2006)。新大豆 1 号下降的最少,说明花期干旱后新大豆 1 号与 17-125-830、1048 相比光合作用对水分要求不敏感。

非光化学猝灭系数 NPQ 反映的是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分。当 PS II 反应中心天线色素吸收了过量的光能时,如不能及时地耗散,将对光合机构造成失活或破坏,所以非光化学猝灭是一种自我保护机制,对光合机构起一定的保护作用(Bader et al.,2000)。非光化学能量耗散的提高,有助于耗散过剩的激发能,缓解环境对光合作用的影响和过剩光能对 PS II 反应中心的损伤(巩擎柱,2006)。在干旱胁迫条件下,供试三个大豆品种(系)的 NPQ 均有不同程度的降低,说明 PS II 中心所接受的多余激发能不能以热形式耗散,对光合机构的保护能力下降。因此,干旱处理后,三个不同基因型品种(系)光合机构的保护机制受到了一定程度的损伤,17-125-830 受损伤的程度最大,新大豆 1 号和 1048 受损伤的程度小,新大豆 1 号和 1048 比 17-125-830 更能有效的避免过剩光对光合机构的损伤。

ETR 为表观光合电子传递速率。在花期干旱处理后,新大豆 1 号加强了反映中心的电子捕获效率,从而维持较高的电子传递速率,增强光呼吸作用,较好地保护了光合机构。

水分胁迫能引起  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$  下降,它们的变化程度可以用来鉴别植物抵抗或忍耐干旱的能力(张秋英,2005;王建程,2005)。由试验结果可以得出,花期干旱后,无论  $F_v/F_0$  下降的程度还是  $F_v/F_m$  下降的程度均是新大豆 1 号的抗旱性最好。有的研

究指出(杨晓青,2004;王建程,2005)抗旱性越强的品种参数  $NPQ$  随着干旱胁迫升高,但本试验三个不同基因型品种(系), $NPQ$  值都有不同程度的下降,与王可玢等(1997)的试验结果相同。新大豆 1 号下降的幅度最小,光合机构的受损程度小,表明新大豆 1 号的抗旱性强。另外,从花期干旱胁迫对  $ETR$  参数的影响来看,抗旱性越强的品种  $ETR$  升高幅度越大,即维持较高的电子传递速率,这也在一定程度上提高了抗旱的能力,其结果也表明新大豆 1 号的抗旱性优于 1048、17-125-830。

#### 4 结论

叶绿素 a 荧光诱导动力学检测技术是以植物体内叶绿素 a 为天然探针,包含丰富光合信息,是快速、灵敏、无损伤探测干旱等逆境胁迫对作物光合作用和生长代谢影响的理想方法(Bilger et al.,1995; Catalayud et al.,1997; 张守仁,1999)。本研究结果表明,不同基因型大豆叶片在花期干旱胁迫下荧光参数  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_0$ 、 $NPQ$  值的下降, $ETR$  值升高。干旱胁迫叶绿素荧光参数的变化与大豆品种(系)抗旱有关,可为研究大豆干旱逆境的生理机制提供有价值的参考。

#### References

- Bader M R, Ruuska S, and Nakano H. 2000. Electron flow to oxygen in higher plants and algae: rates and control of direct photoreduction (Mehler reaction) and rubisco oxygenase. *Biological Sciences*, 1402:1433-1445
- Bilger W, Schreiber U, and Bock M. 1995. Determination of the quantum efficiency of PS II and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 102:425-432
- Catalayud A, Deltoro V I, Barreno E, and del Valle-Tascon S. 1997. Changes in vivo chlorophyll fluorescence quenching in Lichen thalli as a function of water content and suggestion of zeaxanthin-associated photoprotection. *Physiology Plant*, 101:93-102
- Chen J M, Yu X P, and Cheng J A. 2006. The application of chlorophyll fluorescence kinetics in the study of physiological responses of plants to environmental stresses. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 18(1): 51-55 (陈建明, 俞晓平, 程家安. 2006. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用. *浙江农业学报*, 18(1): 51-55)
- Feng J C, Hu X L, and Mao X J. 2002. Application of chlorophyll fluorescence dynamics to plant physiology in adverse circumstance. *Economic forest researches*, 12(4): 14-20. (冯建灿, 胡秀丽, 毛训甲. 2002. 叶绿素荧光动力学在研究植物逆境生理中的应用. *经济林研究*, 12(4): 14-20)
- Gong Q Z, Lv J Y, Xu B C, Li F M, and Zhang H B. 2006. Effect of water

- stress on chlorophyll fluorescence parameters and WUE of wheat under different planting models. *Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 5:83-87 (巩攀柱, 吕金印, 徐炳成, 李凤民, 张海波. 2006. 水分胁迫和种植方式对小麦叶绿素荧光参数及水分利用效率的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 5:83-87)
- Liang C D. 1990. Identification method for drought resistance of soybean. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, (1): 34-37 (梁成第. 1990. 大豆抗旱性的鉴定方法. *中国油料作物学报*, (1): 34-37)
- Li G Q, Du W J, Kong Z S, Cheng S H, and Guo X R. 2000. Studies on physiological drought resistance of different soybean varieties. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 20(3): 197-200. (李贵全, 杜维俊, 孔照胜, 程舜华, 郭显荣. 2000. 不同大豆品种抗旱性生理生态的研究. *山西农业大学学报*, 20(3): 197-200)
- Li X, Jiao D M, Liu Y L, and Huang X Q. 2002. Chlorophyll fluorescence and membrane lipid peroxidation in the flag leaves of different high yield rice variety at late stage of development under national condition. *Acta Botanica Sinica*, 44(4): 413-421 (李霞, 焦德茂, 刘友良, 黄雪清. 2002. 自然条件下不同高产稻生育后期剑叶叶绿素荧光和膜脂过氧化的表现. *植物学报*, 44(4): 413-421)
- Liu J Y, Yi Y J, Zhang C D, and Yan Z P. 1997. The in vivo chlorophyll fluorescence induction kinetics and its application in study of salt resistance physiology. *Journal of Qufu Normal University*. 1997, 23(4): 80-83 (刘家尧, 衣艳君, 张承德, 闫志佩. 1997. 活体叶绿素荧光诱导动力学及其在植物抗盐生理研究中的应用. *曲阜师范大学学报*, 1997, 23(4): 80-83)
- Liu G Z, Gai J Y, and Ma Y H. 1989. Evaluation of drought-tolerance of soybean germplasm from lower Yangtze and huai valley. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 12(1): 15-21 (刘良舟, 盖钧镒, 马育华. 1989. 江淮下游大豆地方品种抗旱性鉴定的初步研究. *南京农业大学学报*, 12(1): 15-21)
- Sloane R J, Ptterson R P, and Carter T E Jr. 1990. Field drought tolerance of a soybean plant introduction. *Crop Science*. 30(1): 118-123
- Vander Mescht A, and de Ronde J A. 1999. Chlorophyll fluorescence and chlorophyll content as a measure of drought tolerance in potato. *South African Journal of Science*, 95:407-413
- Wang J C, Yan C R, and Bu Y S. 2005. Effects of vary soil moisture and fertility levels on chlorophyll fluorescence characteristics in maize. *Agricultural Meteorology*, 26(2): 95-98 (王建程, 严昌荣, 卜玉山. 2005. 不同水分与养分水平对玉米叶绿素荧光特性的影响. *中国农业气象*, 26(2): 95-98)
- Wang K F, Xu C H, Zhao F H, Tang C Q, and Dai Y L. 1997. The effects of water stress on some in vivo chlorophyll fluorescence parameters of wheat flag leaves. *Acta Biophysica Sinica*, 13(2): 273-278 (王可玢, 许春辉, 赵福洪, 唐崇钦, 戴云玲. 1997. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响. *生物物理学报*, 13(2): 273-278)
- Yang X Q, Zhang S Q, Liang Z S, and Shan Y. 2004. Effects of water stress on chlorophyll fluorescence parameters of different drought resistance winter wheat cultivars seedlings. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 24(5): 812-816 (杨晓青, 张岁岐, 梁宗锁, 山

- 颖. 2004. 水分胁迫对不同抗旱类型冬小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响. 西北植物学报, 24(5): 812-816)
- Zhao H J, Zou Q, and Yu Z W. 2000. Chlorophyll fluorescence analysis technique and its application to photosynthesis of plant. Journal of Henan Agricultural University, 34(3): 248-251 (赵会杰, 邹琦, 于振文. 2000. 叶绿素荧光分析技术及其在植物光合机理研究中的应用. 河南农业大学学报, 34(3): 248-251)
- Zhang H Y, Jiao B C, and Li G Q. 2005. Study on selecting targets in drought-resistant breeding of soybean. Soybean Science, 24(3): 183-188 (张海燕, 焦碧婵, 李贵全. 2005. 大豆抗旱性鉴定指标评价的研究. 大豆科学, 24(3): 183-188)
- Zhang Q Y, Li F D, Gao K C, Liu M Y, and Ou G Q. 2005. Effect of water stress on the photosynthetic capabilities and yield of winter wheat. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 25(6): 1184-1190 (张秋英, 李发东, 高克昌, 刘孟雨, 欧国强. 2005. 水分胁迫对冬小麦光合特性及产量的影响. 西北植物学报, 25(6): 1184-1190)
- Zhang S R. 1999. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. Chinese Bulletin of Botany, 16(4): 444-448 (张守仁. 1999. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. 植物学通报, 16(4): 444-448)
- 
- (上接 55 页)
- Yang G Y. 1997. Advance of study on usage of wild and semi-wild soybean in soybean breeding in the northeast of China. Soybean Science, 16(3): 259-263 (杨光宇. 1997. 东北地区野生、半野生大豆在大豆育种中利用研究进展. 大豆科学, 16(3): 259-263)
- Yang X F, Qi N, Lin H, Liu G Y, and Li B Y. 2005. Identification and screening of resistance to *Cercospora sojina* hara in wild soybean and inter-spaces hybridization generation. Heilongjiang Agricultural Sciences, (3): 17-19 (杨雪峰, 齐宁, 林红, 刘广阳, 李宝英. 2005. 野生大豆及种间杂交后代抗灰斑病鉴定筛选. 黑龙江农业科学, (3): 17-19)
- Zhang W, Song S Y, Jin Q M, Guo W G, Sha H L, Li H, and Kang L S. 2004. Identification of new soybean variety (line) resistant to SMV and selection of disease-resistant sources in Jilin province. Journal of Jilin Agricultural University, 26(4): 371-374, 377 (张伟, 宋淑云, 晋齐鸣, 郭文广, 沙洪林, 李红, 康岭生. 2004. 吉林省大豆新品种(系)抗大豆花叶病毒病鉴定及抗源筛选. 吉林农业大学学报, 26(4): 371-374, 377)
- Zheng C M, Chang R Z, and Qiu L J. 2000. Progress on the disease of soybean Mosaic Virus. Acta Phytopathologica Sinica, 30(2): 97-105 (郑翠明, 常汝镇, 邱丽娟. 2000. 大豆花叶病毒病研究进展. 植物病理学报, 30(2): 97-105)
- Zhi H J, Gai J Y, Chen Y Z, Liao Q, Guo D Q, Wang Y W, Li K, and Li H C. 2005. Evaluation of resistance to SMV of the entries in the national uniform soybean tests (2002-2004). Soybean Science, 24(3): 189-193 (智海剑, 盖钧镒, 陈应志, 廖琴, 郭东全, 王延伟, 李凯, 李海潮. 2005. 2002-2004 年国家大豆区试品种对大豆花叶病毒抗性的评价. 大豆科学, 24(3): 189-193)
- Zhi H J, and Gai J Y. 2004. Performances and germplasm evaluation of quantitative resistance to soybean mosaic virus in soybeans. Agricultural Science in China, 3(4): 247-257