

结荚鼓粒期土壤水分胁迫对不同大豆品种形态和生理特性的影响

任海祥¹, 童淑媛^{2§}, 杜维广¹, 邵广忠¹, 杜震宇², 宗春美¹, 岳岩磊¹, 王玉莲^{2*}

(1. 黑龙江省农业科学院牡丹江分院/国家大豆改良中心牡丹江试验站, 黑龙江 牡丹江 157041; 2. 黑龙江农业经济职业学院, 黑龙江 牡丹江 157041)

摘要:为探讨土壤水分胁迫对大豆品种形态性状和生理特性的影响,以 3 个抗旱性不同的大豆品种(合丰 25、黑农 44、晋豆 21)为试验材料,在盆栽条件下,于大豆始荚期至鼓粒期进行中度和严重土壤水分胁迫试验,对形态性状、叶绿素含量、光合速率、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性进行测定。结果表明,供试品种抗旱性依次是晋豆 21 > 黑农 44 > 合丰 25。干旱胁迫下,一级抗旱类型的晋豆 21 表现出较强的生长优势,同一水分供给条件下,其株高、单株荚数、单株粒数、单株产量、叶绿素含量、净光合速率(Pn)、POD 活性均高于较耐旱的黑农 44 和合丰 25;而气孔导度和蒸腾速率明显低于其它两个品种,且在严重水分胁迫下与对照相比,其降低幅度均显著高于其它两个品种,晋豆 21 在水分胁迫条件下表现出较高的水分利用效率。说明这些形态性状和生理指标可作为大豆抗旱性鉴定指标加以综合利用。

关键词:大豆;抗旱性;土壤水分胁迫;产量;形态和生理特性

中图分类号:S565. 101 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 - 9084(2011)04 - 0362 - 06

Effects of soil water stress during seed formation stage on morphological and physiological characteristics in various soybean varieties

REN Hai - xiang¹, TONG Shu - yuan^{2§}, DU Wei - guang¹, SHAO Guang - zhong¹,
DU Zhen - yu², ZONG Chun - mei¹, YUE Yan - lei¹, WANG Yu - lian^{2*}

(1. Mudanjiang Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/ Mudanjiang Experimental Station National Center for Soybean Improvement, Mudanjiang 157041, China;
2. Heilongjiang Agricultural Economy Vocational College, Mudanjiang 157041, China)

Abstract: In order to investigate the effects of soil water stress on morphology and physiological characteristics of soybean, three different drought - resistant soybean varieties (Hefeng25, Heinong44 and Jindou21) were selected for pot experiment. Moderate and severe soil water stress were applied from beginning of pod formation to seed filling stage. Morphological characteristics, chlorophyll content, photosynthetic rate, SOD activity, POD activity, CAT activity were examined. The results of drought resistance of tested cultivars were shown as: Jindou21 > Heinong44 > Hefeng25. Jindou21 of the most resistant rootstocks demonstrated the powerful growth advantage under soil water stress. Many indices of Jindou21 were higher than Heinong44 and Hefeng25, including plant height, pods number per plant, grain number per plant, grain weight per plant, chlorophyll content, Pn (photosynthetic rate) and POD activity. But GS (stomatal conductance) and Tr (transpiration rate) of Jindou21 were higher than Heinong44 and Hefeng25, their decrease were significantly higher than Heinong44 and Hefeng25 under severe soil water stress. Jindou21 had higher water use efficiency. These morphological characteristics and physiological index could be used to evaluate drought resistance of soybean.

Key words: Soybean; Drought tolerance; Soil water stress; Yield; Morphology and physiological characteristics

干旱是世界上频发的自然灾害,每年因旱灾造成的粮食减产位于各种灾害造成的损失之首。中国是淡水资源十分缺乏的国家,干旱已成为我国农业生产最大挑战。黑龙江省大豆播种面积近年在 388 万公顷左右,大部分分布在干旱、半干旱地区。干旱使产量受到严重影响,同时也降低了大豆的品质,选育和利用抗旱大豆品种具有重要意义。大豆抗旱性的遗传改良已成为大豆育种的重要组成部分。研究表明,大豆粒重的绝大部分来源于开花后的光合产物,后期的水分供应直接影响叶片的生长,大豆灌水有效时期为开花至鼓粒期,其中结荚至鼓粒期灌水增产效果最明显^[1],开花结荚期和鼓粒期干旱将使产量分别降低 44% 和 29%^[2]。抗旱性是可以遗传的^[3],因此,利用抗旱大豆自身的抗旱能力可以减轻干旱威胁^[4]。应用限制性片段长度多态性(RFLP)技术对作物抗旱基因(或控制与抗旱性密切相关的性状的基因)进行定位,从而建立 RFLP 遗传连锁图。如德克萨斯理工大学正在建立与抗旱性相关的“常绿”(staygreen)性状的 RFLP 标记探针,便可以容易地辨别出抗旱基因存在^[9]。干旱条件下大豆生长状况指标如生长速率、株高、分枝数、主茎节数、叶片数、叶面积、干物质积累等都可以用来评定品种间的抗旱差异。大豆抗旱性是一个复杂性状,任何抗旱性评价方法,都是对抗旱性的实际结果进行评估,目前国内外对抗旱性评价方法仍未取得突破性进展。大豆植株受到干旱胁迫新陈代谢发生变化,与抗旱性相关的生理生化指标如光合速率、呼吸强度、酶活力、叶绿素、气孔开度、水分利用效率、水势、抗脱水能力、脱落酸积累能力及其生命物质等将受到严重影响,可以通过生理生化指标综合分析,从而评价大豆的抗旱性。本试验选用 3 个抗旱性不同的大豆品种,对结荚鼓粒期受水分胁迫而产生的形态和生理性状变化进行了研究,以期为黑龙江省抗旱大豆品种资源的利用和揭示大豆抗旱机制及抗旱性综合评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用 3 个大豆品种为试验材料。合丰 25,亚有限结荚习性,披针叶,百粒重 20g,喜肥水类型;黑农 44,亚有限结荚习性,圆形叶,百粒重 20~22g,中耐旱类型;晋豆 21^[16],无限结荚习性,圆形叶,百粒重 13~15g。合丰 25(简记 HF)、黑农 44(简记 HN)是

适应黑龙江省大豆主产区种植的优良品种,在生产上有较大的种植区域和播种面积,是适应区域的主栽品种。晋豆 21(简记 JD)是高抗旱的大豆品种类型^[9],目前在黑龙江省没有种植,由刘学义研究员提供。

1.2 试验设计

盆栽试验在黑龙江省农业科学院牡丹江分院进行。用 35cm×35cm 的盆栽培,每盆装冲击草甸土 9kg,其有机质含量 27.80g/kg,全氮 2.57g/kg,全磷 0.72g/kg,全钾 21.83g/kg。选用饱满无病的大豆种子,于 5 月 8 日播种。

在始荚期(R3)至鼓粒期(R6)期进行土壤水分胁迫,其它时期在自然条件下正常生长发育。R3~R6 期设置 3 种水分供应处理:采用称重法控制土壤水分,同时设防雨棚。对照(CK)视情况正常灌水,每次 4 000mL;中度水分胁迫(M)占最大持水量的 40%~45%;严重胁迫(S)占最大持水量的 30%~35%;各处理栽种 5 盆,每盆留苗 3 株。参照山西农科院刘学义研究员成株期耐旱性分级标准:1 级,耐(抗旱系数平均值>0.650 0);2 级,较耐(0.500 0<抗旱系数平均值≤0.650 0);3 级,中耐(0.350 0<抗旱系数平均值≤0.500 0);4 级,较敏感(抗旱系数平均值≤0.350 0);5 级,敏感(植株枯死或不开花结荚)。虽然 3 个品种的生育期不同,但是水分胁迫是处在同一生育阶段进行的,每个品种达到 R3 期的日期不同,水分胁迫按生育进程处理。

1.3 测定项目

R6 期在各处理中选取 2 盆,测定各品种大豆功能叶片(从上往下数第 4 个节位的叶片)的光合特性,之后将叶片取下,带回实验室内测定叶绿素含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性。所测定指标均为 3 次重复。成熟后,将剩余 3 盆收获考种,同时测量各处理的形态性状,包括株高、节数、有效节数、分枝数、单株荚数、粒数、粒重。

1.3.1 光合特性的测定 测量时选择晴朗无风的天气,在上午 10:00 用美国拉哥公司(LI-COR)生产的 LI-6400 便携式光合作用测定系统对功能叶片进行净光合速率(P_n)测定,同时记录蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)。

1.3.2 叶绿素含量测定 采用丙酮乙醇混合液提取法。剪取大豆功能叶片 0.2g(不取中间叶脉部分),用乙醇、丙酮混合液(1:1)在黑暗处浸提叶绿

素约 12h,直至叶片变成白色。然后取出叶片,将剩余液体在 645nm 和 663nm 波长下测吸光度值,计算出叶绿素含量。

1.3.3 保护酶活性测定 SOD 活性用抑制 NBT 光化还原法测定^[5],POD 活性测定采用愈创木酚法^[6],CAT 活性测定采用紫外吸收法^[7]。

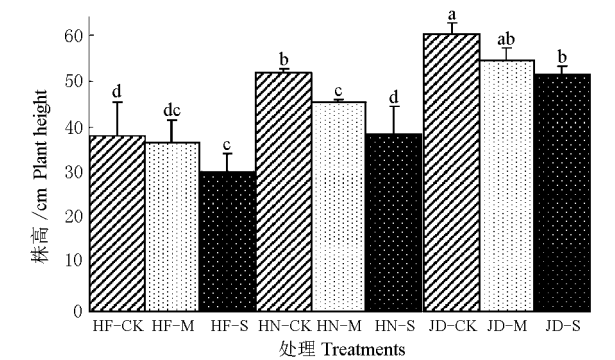
1.4 数据分析

数据使用 SPSS13.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对植株形态性状的影响

2.1.1 水分胁迫对株高的影响 水分胁迫下,植株的生理功能受到影响,最直接表现是形态的改变。从图 1 可见,同一品种在不同水分供给下株高差异不同,合丰 25 和晋豆 21 在高水分胁迫下株高明显降低,黑农 44 在中度水分胁迫和严重水分胁迫下株高均明显降低,在中度水分胁迫下晋豆 21 和合丰 25 株高与对照间无明显差异,严重胁迫下,晋豆 21 株高下降幅度最小为 14.6%,其次为合丰 25 (20.9%)和黑农 44(25.6%)。在水分胁迫条件下,三个大豆品种中,晋豆 21 株高较高,且株高受水分胁迫影响较小。表明在水分胁迫下,株高的变化与抗旱性呈极显著正相关^[8],可以作为衡量抗旱性的指标之一,也说明土壤水分胁迫对株高的影响程度因品种抗旱性而异。



注:HF、HN、JD 分别表示大豆品种合丰 25、黑农 44 和晋豆 21, M、S 和 CK 分别表示中度水分胁迫、严重水分胁迫和正常水分供给。不同小写字母表示处理间的差异显著($P < 0.05$),下同
Note:HF,HN and JD represent Hefeng 25, Heinong44 and Jindou21; M, S and CK represent moderate water stress, severe water stress and enough water supply respectively. The content means followed by different letter were significantly different at 5% level. The same as below

图 1 水分胁迫下不同大豆品种的株高
Fig.1 Plant height of different soybean varieties under water stress

2.1.2 水分胁迫对单株节数和分枝数的影响 从图 2 和图 3 可见,同一大豆品种在不同水分供给下,单株节数、单株有效节数、单株分枝数无明显差异。张海燕等^[8]认为大豆节数和分枝数与抗旱性无相

关关系,不宜作为抗旱性鉴定的指标,本试验中也表明品种的单株节数、单株有效节数、单株分枝数不受水分胁迫影响,只与品种特性有关。

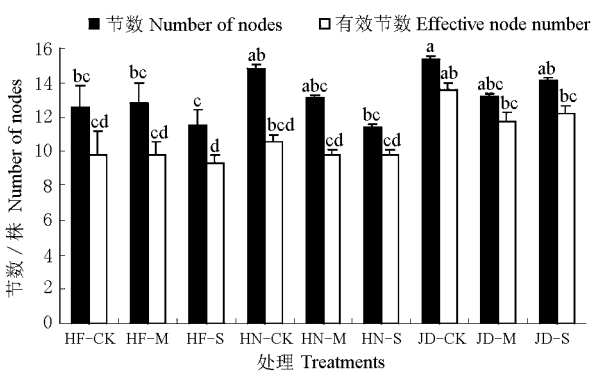


图 2 水分胁迫下不同大豆品种的节数与有效节数
Fig.2 Nodes of different soybean varieties under water stress

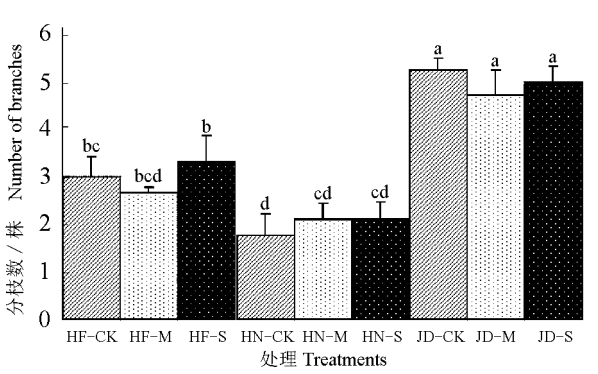


图 3 水分胁迫下不同大豆品种的分枝数
Fig.3 Branch number of different soybean varieties under water stress

2.2 水分胁迫对产量性状的影响

从表 1 可知,土壤干旱胁迫使抗旱性不同的大豆品种单株产量下降,且产量均呈对照 > 中度胁迫 > 严重胁迫。合丰 25 和黑农 44 的对照与水分胁迫处理间差异显著($P < 0.05$),中度和严重水分胁迫处理间无显著差异;晋豆 21 在 3 种处理间的差异均达显著水平($P < 0.05$)。在同一水分供给条件下,品种间的产量表现为晋豆 21 > 黑农 44 > 合丰 25,差异显著,说明抗旱性不同品种受同一水分胁迫下,其产量降低幅度不同,晋豆 21 表现在中度水分胁迫和严重胁迫下产量降低最小,其次为黑农 44,再次为合丰 25。依据土壤水分胁迫单株产量与非胁迫单株产量(CK)之比,计算出的抗旱系数,土壤中度水分胁迫下抗旱系数分别为晋豆 21 为 0.85,黑农 44 为 0.68,合丰 25 为 0.65;严重胁迫抗旱系数分别为晋豆 21 为 0.69,黑农 44 为 0.63,合丰 25 为 0.60。说明供试品种抗旱性为晋豆 21 > 黑农 44 > 合丰 25。按照刘学义提出的成株耐旱性级别标准^[9],严重水分胁迫下,晋豆 21 仍然属于 1 级,耐;黑农

44 和合丰 25 属于 2 级,较耐。但这只表现出始荚至鼓粒期土壤水分胁迫下的结果。从整个生育期来看,合丰 25 仍属于喜肥水类型,在生育前期遇到干旱胁迫,则影响营养生长,植株矮小,最终影响产量。这也表明大豆品种的抗旱能力不仅与品种有关,而且与水分的时空有效性关联密切。

表 1 水分胁迫下不同大豆品种的产量性状
Table 1 Yield traits of different soybean varieties under water stress

处理 Treatments	单株粒重 Grain weight per plant/(g/plant)	单株粒数 Grain number per plant	单株荚数 Pods number per plant
HF-CK	11.9ab	60.4b	30.0a
HF-M	7.79c	43.25cd	22.0ab
HF-S	7.15c	33.75d	20.8ab
HN-CK	12.1a	60.3b	27.5a
HN-M	8.29c	39.1d	19.3b
HN-S	7.67c	39.0d	18.4b
JD-CK	12.77a	82.2a	29.7a
JD-M	10.97b	68.5b	25.0a
JD-S	8.87c	53.3bc	23.5ab

注:同列数据后不同字母代表在 $\alpha=0.05$ 水平下的差异显著性。下表同
Note: Different letters following the figures in the same column represent significance at 0.05 level. The same as below

2.3 水分胁迫对大豆生理特性的影响

2.3.1 水分胁迫对叶绿素含量的影响 从图 4 可以看出,在水分胁迫条件下 3 个大豆品种的叶绿素含量均降低,其中合丰 25 和黑衣 44,处理间差异显著($P<0.05$),随胁迫程度增强,叶绿素含量降低幅度变大。晋豆 21 在中度水分胁迫和严重水分胁迫下的叶绿素含量差异不显著。在相同的水分条件下,品种间的叶绿素含量差异表现为晋豆 21 > 黑衣 44 > 合丰 25。从下降幅度看,随水分胁迫程度加重,品种间叶绿素含量下降幅度表现为合丰 25 > 黑衣 44 > 晋豆 21。表明叶绿素含量可以衡量大豆品种抗旱性的强弱,但干旱引起的叶绿素含量降低与叶绿体结构破坏有关,还是与叶绿素降解有关还有待于进一步研究。

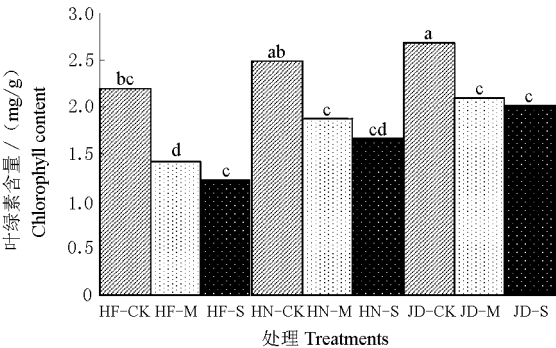


图 4 水分胁迫下不同大豆品种的叶绿素含量
Fig. 4 Chlorophyll content of different soybean varieties under water stress

2.3.2 水分胁迫对光合特性的影响 光合作用是大豆产量形成的基础。虽然目前大量研究表明干旱胁迫叶片光合速率降低,但其机制尚不十分清

表 2 水分胁迫下不同大豆品种的光合特性
Table 2 Photosynthetic characteristics of different soybean varieties under water stress

处理 Treatments	净光合速率 P_n /($\mu\text{molCO}_2/\text{m}^{-2} \cdot \text{s}$)	蒸腾速率 Tr /($\text{mmolH}_2\text{O}/\text{m}^{-2} \cdot \text{s}$)	气孔导度 GS /($\text{mol}/\text{m}^{-2} \cdot \text{s}$)
HF-CK	17.17c	8.90a	0.42a
HF-M	14.77d	8.03a	0.39a
HF-S	8.60e	7.50a	0.38a
HN-CK	18.17c	7.47a	0.39a
HN-M	12.17d	7.03a	0.36a
HN-S	7.60e	6.37a	0.32a
JD-CK	27.63a	1.63b	0.08b
JD-M	23.77b	1.37bc	0.06bc
JD-S	14.10d	0.93c	0.04c

楚^[10],有的认为与气孔因素有关,有的认为与叶绿体结构被破坏有关^[11~13]。从表 2 可见,在水分胁迫条件下,3 个大豆品种的光合速率明显降低($P<0.05$),且随着水分胁迫程度加重,降低幅度增大,晋豆 21 的下降幅度较小,说明在干旱条件下 3

个大豆品种的蒸腾速率受气孔因素的影响较大,而光合速率的主要影响因素为非气孔因素。郭屹立等^[14]的研究也表明,水分散失对气孔开度的依赖大于光合对气孔的依赖,在不显著影响光合速率的前提下,尽可能地降低蒸腾速率,是作物适应干旱的一

种重要机制。不同水分供给条件下,大豆的蒸腾速率与气孔导度的变化趋势相同,合丰 25 和 黑农 44 在 3 种水分供给条件下,因气孔导度无明显变化,蒸腾速率也无明显变化;晋豆 21 在严重水分胁迫条件下,气孔导度和蒸腾速率明显降低,说明其在干旱条件下可以通过气孔调节降低水分蒸发,对植株起到一定的保护作用。晋豆 21 在受到不同程度水分胁迫时,光合速率的下降程度最小,其原因之一可能与气孔的有效调节有关。

2.3.3 水分胁迫对保护酶活性系统的影响 干旱条件下,SOD、POD、CAT 等能够有效清除植物体内的活性氧和自由基,控制细胞质膜的过氧化作用,减少干旱对膜结构的伤害。有关干旱胁迫下大豆保护酶系统活性变化的研究结果较为复杂,董钻等^[15]认为,干旱胁迫会使 SOD 活性和 CAT 活性降低,与干旱时期无关,而苗期和开花期干旱会使 POD 活性增

强,鼓粒期干旱使 POD 活性减弱。也有人认为,干旱会使 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性都呈增强趋势^[5]。从表 3 可见,水分胁迫对不同大豆品种的 SOD 活性均无明显影响,但抗旱性不同品种间 SOD 活性存在差异,表现出晋豆 21 > 黑农 44 > 合丰 25 (JD - M 和 HN - M 除外)。说明晋豆 21 叶片组织具有较强的抑御活性氧伤害能力。合丰 25 和黑农 44 的 POD 活性虽然随着干旱胁迫均有增高,但其差异不显著,故受干旱胁迫的影响较小。而晋豆 21 在中度和严重水分胁迫下的 POD 活性明显增加 ($P < 0.05$);且三种水分胁迫下均显著高于其它两个品种。合丰 25 CAT 活性受干旱胁迫的影响不明显;黑农 44 在中度水分胁迫下 CAT 活性明显增加 ($P < 0.05$),重度胁迫条件下活性降低,SOD 活性和 CAT 活性无明显变化。

表 3 水分胁迫下不同大豆品种的 SOD、POD、CAT 活性
Table 3 SOD,POD and CAT activity of different soybean varieties under water stress

处理 Treatments	SOD 活性 SOD activity/(U/g _{FW})	POD 活性 POD activity(Δ ₄₇₀ /min · g _{FW})	CAT 活性 CAT activity/(Δ ₂₄₀ /min · g _{FW})
HF - CK	10.72 abc	31.39 c	7.36 b
HF - M	10.05 c	33.83 c	6.49 b
HF - S	10.36 bc	36.44 c	5.44 bc
HN - CK	10.72 abc	31.39 c	7.36 b
HN - M	11.37 a	39.83 c	10.36 a
HN - S	11.13 ab	41.22 c	4.36 cd
JD - CK	11.44 a	163.50 b	4.22 cd
JD - M	10.96 abc	185.11 a	2.07 e
JD - S	11.49 a	185.06 a	5.42 bc

3 结论与讨论

作物的抗旱性是一个综合性状。大豆品种的抗旱能力不仅与品种有关,而且与水分的时空有效性关联密切,作物生长发育时期水分供给不协调是作物不能实现其产量潜力的主要限制因素。因此,要获得较高的大豆产量,在生长发育及产量形成期,特别是水分敏感时期(开花至鼓粒期),能够避开干旱影响,以减少水分亏缺对作物生长与产量形成的胁迫作用。在大豆抗旱性机制与抗性育种的研究中,抗性指标确定及抗性生理基础的揭示始终是一个重要问题。但在抗性指标的筛选与确定方面,抗旱性生理基础研究方面,很多研究结果也不尽相同,这与选择的大豆品种、测定时间、胁迫强度的不同等因素有一定的关系。

通过对抗旱性不同大豆品种进行土壤水分胁迫试验表明,土壤水分胁迫对不同大豆品种的影响存在明显差异。本试验结果证明,供试品种抗旱性依

次是晋豆 21 > 黑农 44 > 合丰 25;同时明确黑农 44、合丰 25 为较抗旱品种,在大豆生产中有较高的稳定性,因而具有较广泛的适应性,成为生产上种植的主要栽培品种。选择抗旱性强的大豆品种进行生产,能够获得较高的产量。从晋豆 21、黑农 44、合丰 25 品种在土壤水分胁迫下的形态性状和生理指标上的差异分析,株高、单株荚数、单株粒数、单株粒重、叶绿素含量、光合速率及 POD 活性与品种的抗旱性相关,但用单一指标评价大豆的抗旱性都具有片面性,而用多个指标综合评价大豆的抗旱性才较为可靠^[8,17~19]。

本试验结果表明,同一水分供给胁迫下,SOD 和 POD 活性差异依次为晋豆 21 > 黑农 44 > 合丰 25,说明在干旱胁迫下 SOD 和 POD 活性变化可以调节大豆的抗旱能力,在某种程度上揭示抗旱性生理基础。本试验结果表明气孔调节也是抗旱性的生理基础。晋豆 21 在严重水分胁迫下,气孔导度和蒸腾速率明显降低,说明在土壤干旱胁迫条件下可以

通过气孔调节降低水分蒸发,对植株起到一定的保护作用。进一步证明晋豆 21 在水分胁迫下的生长发育表现出明显的优势,属于强抗旱类型品种,其农艺性状优良,可以作为大豆抗旱育种亲本加以利用。

参考文献:

- [1] 徐淑琴,宋 军,吴 砚,等. 大豆需水规律及喷微模式探讨[J]. 节水灌溉,2003,3:23 – 25.
- [2] 谢甫绋,董 钻. 不同生育期干旱对大豆生长和产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报,1994,25(1):13 – 16.
- [3] 霍仕平,晏庆九,宋光英,等. 玉米抗旱性的遗传和抗旱品种的性状选择[J]. 玉米科学,1995,3(2):18 – 20.
- [4] 孙彩霞. 作物抗旱性鉴定指标及数量分析方法的研究进展[J]. 中国农学通报,2002,18(1):49 – 51.
- [5] 王爱国,罗广华,邵从本,等. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. 植物学报,1983,9(1):77 – 84.
- [6] Jasdanwala R T, Singh Y D, Chiony J J. Auxin metabolism in developing cotton hairs[J]. J Exp Bot, 1997, 28: 111 – 116.
- [7] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiology, 1977, 59: 309 – 314.
- [8] 张海燕,焦碧蝉,李贵全. 大豆抗旱性鉴定指标评价的研究[J]. 大豆科学,2005,24(3):183 – 188.
- [9] 林汉明,常汝镇,邵桂花,等. 中国大豆耐逆研究[M]. 北京:中国农业出版社,2009:26 – 35.
- [10] 高中超,周宝库,张喜林. 大豆对于干旱胁迫生理生化的响应[J]. 大豆通报,2007(7):27 – 30.
- [11] Ebukanson G J. Retardation of chloroplast ATPase activity in maize seedling by drought stress[J]. Plant Physiology, 1987, 129: 187 – 189.
- [12] Gimenez C, Mitchell V G, Lawlor D W. Regulation of photosynthetic rate of two sunflower hybrids under water stress[J]. Plant Physiology, 1992, 98: 516 – 524.
- [13] 薛 崧,汪沛洪,许大全. 水分胁迫对冬小麦同化作用的影响[J]. 植物生理学报,1992,18:1 – 7.
- [14] 郭屹立,王 磊,丁圣彦. 干旱处理对大豆光合生理特性及生物量的影响[J]. 中山大学研究生学刊, 2009, 30(1): 25 – 34.
- [15] 董 钻,谢甫绋. 土壤水分胁迫对大豆体内酶活性和膜透性的影响[J]. 大豆科学,1995,14(4):290 – 297.
- [16] 中国农科院作物科学研究所,吉林省农科院大豆研究中心. 中国大豆品种志[M]. 北京:中国农业出版社,1993 – 2004.
- [17] Kpogonou B K, Sapra V T, Singh B P, et al. Evaluation of soybean germplasm for stress tolerance and biological efficiency[J]. Soybean Genet Newsletter, 1986, 13: 186 – 197.
- [18] Slafer G A, Araus J L. Improving wheat responses to abiotic stress[A]. Slinkard A E. Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium [C]. Saskatchewan: University Extension Press. 1998. 201 – 203.
- [19] Sloance R J, Peterson R P, Carter T E Jr. Field drought tolerance of a soybean plant introduction[J]. Crop Science, 1990, 30: 118 – 123.