

## 大豆抗旱性研究进展

梁建秋, 张明荣, 吴海英

(国家大豆产业技术体系南充综合试验站, 南充市农业科学研究所, 四川 南充 637000)

**摘 要:**大豆是人类优质蛋白质和食用油脂的重要来源。大豆生长期需水量多, 是对缺水最敏感的豆类作物。干旱严重影响大豆产量和品质。抗旱大豆品种在干旱和半干旱地区的大豆生产中起着重要的作用。从干旱对大豆的影响机理、大豆抗旱机制、常用的抗旱性研究方法以及大豆抗旱性评价方法 4 个方面概述了大豆抗旱性的研究进展。

**关键词:**大豆; 抗旱性; 研究进展

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2010)02-0341-06

## Advances in Drought Tolerance of Soybean

LIANG Jian-qi, ZHANG Ming-rong, WU Hai-ying

(National Soybean Industry Technology System Nanchong Comprehensive Experimental Station, Nanchong Institute of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, Sichuan, China)

**Abstract:** Soybean, the main source of protein and edible oil, is the most sensitive bean crop to water supply. Drought severely affected soybean yield and quality. Soybean germplasms with drought tolerance plays an important role for soybean production in arid and semi-arid areas. The paper summarized the research advances of drought tolerance of soybean from the aspects of the mechanism of drought effect on soybean, soybean drought-tolerance mechanism, common research methods and the evaluation methods.

**Key words:** Soybean; Drought tolerance; Advances

大豆是世界五大经济作物之一, 是人类优质蛋白质和食用油脂的重要来源。大豆能降低胆固醇, 预防心脏病、乳腺癌等<sup>[1]</sup>。同时, 大豆还含有人体必需的 8 种氨基酸<sup>[2]</sup>以及多种矿质营养元素和生理活性物质。此外, 在生产上大豆属于耕地用养结合性作物, 具有生产投入少、比较效益高等优点, 所以一直是世界各国主要作物之一, 在农业生产中占有重要的地位。

大豆需水量多, 根系不发达, 在豆类作物中对缺水最为敏感<sup>[3]</sup>, 水分亏缺是大豆产量提高和品质提升的瓶颈。然而, 干旱是世界性问题, 全世界干旱和半干旱地区的总面积占陆地总面积的 34.9%, 遍及 50 多个国家和地区, 我国是世界上干旱和半干旱土地面积很大的国家<sup>[4]</sup>, 3 个大豆产区在大豆生长期, 均会遭遇不同程度的干旱。北方春豆常遇春旱, 黄淮海地区常遇伏旱, 南方地区常遇伏旱和秋旱<sup>[5]</sup>。我国每年因为干旱对大豆产量和品质造成的损失不可估量。

多年来, 大豆育种学家和植物生理学家们从不同方面对大豆的抗旱性进行了研究, 国际上, 大豆的抗旱性研究始于 20 世纪 70 年代末。Cortes 等在自然干旱条件下, 鉴定出 Wilkn、SRF150 等具有较

强抗旱能力的种质, 在严重干旱条件下, 仍能获得较高的产量<sup>[6]</sup>。Carter 等<sup>[7]</sup>经过 2 a 的研究, 鉴定了 300 份大豆种质的抗旱性, 其中来自日本的 PI416937 在受到干旱胁迫时, 萎蔫程度远低于其它品种, 随后的研究证明, PI416937 能够保持较高的叶片含水量, 并能有效地利用土壤中的水分。刘学义等 1987 ~ 1989 年对黄淮海地区 11 省(市)的 5 071 份大豆资源进行了田间抗旱性鉴定, 以产量、单株粒数、单株荚数、分枝数和株高为指标, 用抗旱系数法进行分级, 鉴定出 1 级高抗类型 393 份, 2 级中高抗类型 614 份, 3 级中抗类型 805 份, 4 级弱抗类型 995 份, 5 级不抗类型 2 254 份<sup>[6]</sup>。

### 1 干旱对大豆的影响机理

干旱主要分为大气干旱和土壤干旱, 大气干旱是由于高温与干热风造成大气相对湿度急剧下降, 空气过度干燥而引起的干旱。土壤干旱是指由于久旱无雨减少了土壤有效水分而形成的干旱<sup>[8]</sup>。在水分适宜条件下, 大豆根系吸水与叶片蒸腾维持在动态平衡, 植株正常生长, 但在干旱条件下, 植株蒸腾大于吸水, 体内水份平衡遭到破坏, 引起细胞水势降低, 膨压减小, 从而出现暂时萎蔫甚至永久

萎焉。二者的根本区别在于前者只是叶肉细胞临时水分失调,而后者原生质发生了脱水。原生质脱水是旱害的核心,由此可带来一系列生理生化变化,并危及植株的生命。

### 1.1 破坏正常的代谢过程

细胞脱水对代谢破坏的特点是抑制合成代谢而加强了分解代谢。水分亏缺造成气孔关闭,CO<sub>2</sub>扩散阻力增加,叶绿素合成受阻,光合作用急剧下降;核酸合成减弱,分解加强,代谢过程遭到破坏;蛋白质合成减弱分离作用增强,游离氨基酸(尤其是脯氨酸)增多;内源激素中促进生长的激素(如细胞分离素)减少,延缓或抑制生长的激素(如脱落酸)增多,加速了叶子的衰老和死亡。此外,干旱还明显影响到根瘤共生固氮作用,使根瘤向地上部输送的脉态氮受阻。

### 1.2 改变细胞膜的结构及透性

正常条件下,细胞原生质膜的磷脂双分子层靠磷脂极性同水分子相互连接整齐排列,具有选择透性。干旱条件下,细胞脱水,破坏了原生质膜脂类双分子层的排列,膜脂分子结构发生紊乱,收缩出现空隙和龟裂,从而使原生质膜的透性增加,大量的无机离子和氨基酸,可溶性糖等小分子向外渗漏。

### 1.3 机械损伤

细胞干旱脱水时,液泡收缩,对原生质产生向内的拉力,使原生质与期相连的细胞壁同时内向收缩,在细胞壁上形成很多折叠,损伤原生质的结构。如果此时细胞骤然吸水复原,可引起细胞质、壁不协调膨胀把粘在细胞壁上的原生质撕破,导致细胞死亡。

总之,干旱对大豆的影响是多方面的,从其产生的过程及其危害速度,可分为直接和间接两类,所谓直接的就是由细胞脱水破坏了细胞结构,而引起细胞受害甚至死亡。而间接的是由于细胞脱水而引起代谢失调,营养缺乏,逐步影响生长发育,加速衰老,降低产量<sup>[4]</sup>。

## 2 大豆抗旱机制

在逆境胁迫下,植物均有通过自身的生理活动或生化变化来逃避或防御胁迫的能力。所以大豆在干旱胁迫下,会通过改变形态特征、生理活动等途径来减弱干旱带来的损伤,尽可能的适应干旱环境。

### 2.1 形态调节

由于大豆生长过程中所需水分由根系吸收与叶面蒸腾维持平衡,所以在水分胁迫下,大豆形态方面的调节主要分为根系调节和气孔调节。

**2.1.1 根系调节** 干旱条件下大豆根系有较地上部分优先发展的倾向。任冬莲等研究表明,干旱胁迫条件下大豆主根发育早、生长快、长度显著长于湿润条件,但抗旱性愈强的品种表现的愈突出,且抗旱性较强品种的侧根数量、侧根总长度以及最常侧根长度方面显著高于抗旱性较弱的品种<sup>[9]</sup>。根系吸水的器官是根毛,如果根毛的水势低于土壤溶液的水势就可吸水入体内。水分胁迫条件下,土壤水势下降,根毛细胞的水势与土壤溶液之间的水势差随之下降,因此根系从土壤中吸水能力下降。但大豆在水分胁迫时,可以通过调整自己的根毛系统,如根毛的密度增加,根毛的长度延伸,根系扩展等方式提高植株的抗旱性。刘学义等研究表明,在干旱胁迫条件下,所有大豆品种都会增加根毛长度,而抗旱性品种根毛长度增加的更长<sup>[10]</sup>。

**2.1.2 气孔调节** 气孔是控制叶片内水蒸气和CO<sub>2</sub>扩散的门户,气孔数目和大小影响着蒸腾作用和光合作用的全过程。气孔的调节机能主要表现在当水分供应充足并有利于进行快速CO<sub>2</sub>同化时,气孔导度趋于增加;而在体内缺水,不利光合作用时,气孔导度则趋于减小<sup>[11-13]</sup>。所以大豆在水分胁迫下,可以通过调节气孔大小、气孔密度、以及提高角质层厚度等途径提高植株的抗旱性。刘学义等发现叶片气孔的数量、开张度和气孔阻力都与抗旱性有关<sup>[14]</sup>。路贵和等研究发现,抗旱类型大豆品种叶片单位面积气孔密度高,气孔较小<sup>[15]</sup>。

### 2.2 渗透调节

渗透调节是植物低水势状态抗旱的重要方式,是指植物在逆境(如干旱或盐害)条件下,通过代谢活动增加细胞内溶质浓度增加其渗透势(从而降低水势),从外界水势降低的介质种吸水,保持一定的膨压,维持正常的代谢活动以适应胁迫的环境。渗透调节物的种类很多,有多种无机离子,有机溶剂。其中游离脯氨酸、甜菜碱、可溶性糖、可溶性蛋白是重要的调节物。所以在逆境胁迫下,往往通过测定植物体内上述几种中调节物的含量来评价期抗逆性。郑丕尧等发现,大豆抗旱品种根系内可溶性糖和游离氨基酸的含量较高,并在开花结荚期出现高峰<sup>[16]</sup>。

### 2.3 细胞膜稳定性作用

细胞膜的稳定能力与抗逆性有密切关系。植物细胞通过多种途径产生O<sub>2</sub><sup>-</sup>、OH<sup>-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>等活性氧自由基,体内也有多种途径可以消除这些自由基,在正常情况下细胞内活性氧产生和清除处于动态平衡,活性氧水平很低,不会伤害细胞。而当植物受到胁迫时,平衡就被打破,活性氧积累,过多的活

性氧导致膜脂脱脂化、过氧化,并产生较多的过氧化产物(如丙二醛),从而膜结构遭到破坏,引起一系列的生理生化紊乱。植物对膜脂过氧化有酶促和非酶促两类防御系统,过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)和抗坏血酸过氧化物酶(ASAPOD)等是酶促防御系统的重要保护酶,可以清除过氧化物和自由基。从而对膜有起到一定保护作用<sup>[4,8]</sup>。孙会兰等采用 PEG 模拟干旱条件研究抗旱品种和不抗旱品种的差异发现:在一定胁迫范围内,随 PEG 浓度上升,大豆品种 SOD 和 POD 活性均上升,但抗旱性品种活性始终高于抗旱性弱的品种<sup>[17]</sup>。许长城等研究了干旱条件下大豆叶片  $H_2O_2$  代谢变化与抗旱性的关系,认为抗旱性强的大豆品种能维持较强的  $H_2O_2$  清除能力, $H_2O_2$  积累较少<sup>[18]</sup>。

### 3 常用的抗旱性研究方法

抗旱性是一个抽象的概念,抗旱性是由诸多与抗旱性有关的性状构成的一个错综复杂的复合性性状,当前还无法对其进行直接研究,所有的有关研究都是在间接的基础上进行的,主要是围绕与抗旱性有关的诸多性状入手。

#### 3.1 外部形态特征

主要是研究大豆的结荚习性、叶片特征、籽粒特征、根系特征等方面与抗旱性的关系。前人研究已经充分肯定无限结荚习性大豆对于干旱有较强的适应能力。蔓生型和半蔓生型一般表现为分枝及主茎细而长且分枝较多,有助于干旱条件下吸收土壤水分,因而抗旱性较强。但 Blanchet、Nemeskeri 等报道,大豆品种在受到干旱胁迫时,有限结荚习性和亚有限结荚习性的品种比无限结荚习性的品种具有较强的抗旱能力,籽粒的饱满度较好<sup>[19-20]</sup>。

叶片特征如叶形、叶片茸毛、蜡质层厚度以及栅栏组织细胞排列等与抗旱性有一定的关系。抗旱性强的品种多以圆叶、中小叶型,深绿色为主<sup>[4]</sup>。叶片茸毛越多、蜡质层越厚、栅栏组织细胞排列越紧密的品种在干旱条件下叶片的保水能力越强,所以其抗旱性往往越强。

籽粒特征主要包括籽粒大小、形状、硬实情况及种皮色等。吕世霖等研究结果表明,大豆小粒品种比大粒品种耐干旱<sup>[21-22]</sup>。刘学义等也指出,在选择抗旱性品种时要注意小粒种的利用<sup>[23]</sup>,并发现在土壤含水量稳定在 13.5% 左右时,小粒种有明显的出苗优势<sup>[24]</sup>。许东河等研究表明,小粒种在干旱条件下吸水量少,相对吸水率、发芽率和出苗率均较高,表现出较强的抗旱性<sup>[25]</sup>。刘学义对籽粒硬实

现象与抗旱性的关系研究发现,抗旱性较强类型不仅具有较高的硬实粒率,而且具有 48 h 的较高发芽率<sup>[26]</sup>。一般来说,深黑色的大豆对恶劣环境的适应能力略高于黄色大豆,吕世霖研究发现在土壤含水量为 8.26% 的干旱条件下,黑豆的出苗率较黄豆高 9.24%,黑豆发芽吸水量较黄豆少 5.79%。

强大的根系是大豆抗旱的重要特征之一。根系发育愈好,受水分胁迫危害的程度就愈小。王法宏等<sup>[27]</sup>研究发现抗旱性大豆品种根系的主要特征是根系发达、幼苗发根早、发根力强、根生长速率快、主根长、侧根数量多、侧根总长度大、深层根量多,并且抗旱品种根毛区中柱较粗、皮层细胞直径较大、导管数目较多且导管总面积较大,根的输导组织发达。富健等<sup>[28]</sup>研究获得与上述相似的研究结果。根毛特征与抗旱性的关系也非常密切。刘学义等在对水分胁迫下不同抗旱性品种幼苗根系的研究发现,品种间根毛长度与密度差异显著,抗旱性愈强的品种,根毛的长度愈长;水分胁迫下大豆的根毛长度与密度均增加,但抗旱品种增幅要大些<sup>[10]</sup>。

#### 3.2 生理生化特性

植物的生长发育经常会受到干旱胁迫的影响<sup>[29]</sup>,有关植物抗性生理的研究表明,细胞中可溶性糖、游离脯氨酸、丙二醛(MDA)含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性以及细胞膜透性等生理生化方面的变化与植物的耐旱性有关,且植物对逆境胁迫的敏感性因植物类型、品种、生育期不同而有很大差异<sup>[30-32]</sup>。近年来,许多学者对大豆抗性生理化机制进行了广泛深入的研究,并提出了许多与抗旱性有关的生理生化指标,如在干旱条件下,叶片持水力,渗透调节物(可溶性糖,可溶性蛋白,游离脯氨酸)含量,过氧化物含量,自由基含量,膜保护酶(如 SOD、POD、CAT)活性以及细胞膜的伤害程度等。叶片持水力的大小反映出大豆品种保持体内水分的能力,通过测定叶片失水速率,可以鉴定大豆品种的抗旱性<sup>[33-35]</sup>,抗旱性强的品种失水速率低,保持水分能力强。王启明等研究了干旱胁迫下抗旱性不同的大豆品种开花期生理生化特性的变化与抗旱性的关系。结果表明,随着干旱胁迫的加重,叶片的细胞膜透性、可溶性糖、游离脯氨酸、丙二醛含量都有明显增加,超氧化物歧化酶(SOD)活性则表现为胁迫前期略有上升后期下降。细胞膜透性、可溶性糖和游离脯氨酸含量的变化与大豆抗旱性密切相关,抗旱性强的品种可溶性糖和游离脯氨酸积累强度大于抗旱性弱的品种,细胞膜透性的增加则是抗旱性强的品种小于抗旱性弱的品种<sup>[36]</sup>。

杨鹏辉等以抗旱性不同的 12 个大豆品种(系)为材料,对其电导率进行了测定。结果表明,不同大豆品种受到干旱胁迫时的相对电导率存在极显著差异,即抗旱性强的品种的相对电导率低,抗旱性弱的品种相对电导率高<sup>[3,37]</sup>;韩永华发现,随着水分胁迫程度的加重,大豆幼苗叶片细胞质膜透性和丙二醛含量均逐渐增加,并且质膜透性和 MDA 含量的高低与大豆抗旱能力呈负相关<sup>[38]</sup>。董钻等认为,大豆受旱后体内氧自由基大为增加,体内保护酶活性下降,结果导致膜脂质过氧化,丙二醛积累,膜透性增强<sup>[39]</sup>。干旱胁迫时,大豆苗中游离脯氨酸的含量与其耐旱性存在有一定的正相关性,可以作为筛选抗旱性品种的生理指标之一<sup>[40]</sup>。

然而,在育种生产中,利用形态指标以及间接的生理生化指标进行选择的育种方法,在早代选择是比较困难的,只能在  $F_4 \sim F_5$  代以后进行选择,往往周期太长,效率不高。随着生物技术的发展,生物工程在农作物品种改良方面的应用,正初步显示其独特的作用。借助先进的分子标记手段,在早代对表现优良的基因型进行鉴定,从而提高选择效率,加速育种的进程<sup>[41-43]</sup>。

## 4 大豆抗旱性评价方法

在干旱胁迫下,大豆许多形态、农艺与生理生化性状都将受到影响,因此在评价大豆的抗旱性时,选用什么指标,选用形态指标还是生理生化指标,选用单一指标还是综合指标是大豆抗旱研究工作者关注的重点问题。从多年的研究看来主要有以下几种评价方法。

### 4.1 产量直接评价法

产量表现是抗旱性鉴定首先要考虑的问题,根据产量表现判定大豆的抗旱性是抗旱鉴定的方法,主要有抗旱系数法和抗旱指数法,在使用产量指标时,通常用抗旱系数进行分级<sup>[24,44]</sup>。

抗旱系数公式:  $I = YD/YP$ , 其中,  $I$  为抗旱系数;  $YD$  为干旱胁迫产量;  $YP$  为非胁迫产量。抗旱系数在 0~1 之间,抗旱系数越大,抗旱性越强。这种方法把抗旱性放在相对统一的尺度上,可以处理大量的材料,在选用亲本时非常有用。但缺点是往往把抗旱性较弱但产量高的品种漏选,而且这种方法在不同环境下难于比较。兰巨生等提出了抗旱指数法( $DI$ )<sup>[45]</sup>。抗旱指数公式:  $DI = I \times nYD / \sum YD$ , 抗旱指数( $DI$ )为品种抗旱系数  $\times$  该品种旱地产量/所有鉴定品种旱地产量平均值。这种方法克服了抗旱系数法的弊端,便于推广应用。

### 4.2 芽期抗旱性评价法

主要有相对发芽率和萌发指数 2 种评价方法:种子在高渗溶液或在有不同渗透势的土壤中萌发,根据相对发芽率和萌发胁迫指数来评价抗旱性<sup>[44,46-47]</sup>。

相对发芽率公式:  $PI = X/CK \times 100$ , 式中:  $PI$  为相对发芽率;  $X$  为干旱处理发芽率;  $CK$  为对照种子发芽率。相对发芽率越高,抗旱性越强。萌发胁迫指数公式:  $CTSI = PIS/PIC$ , 式中:  $CTSI$  为萌发胁迫指数;  $PIS$  为干旱胁迫下种子萌发指数;  $PIC$  为对照种子萌发指数。而种子萌发指数  $PI = (1.00)nd2 + (0.75)nd4 + (0.50)nd6 + (0.25)nd8$ ; 式中  $nd2$ 、 $nd4$ 、 $nd6$ 、 $nd8$ 、分别为第 2、4、6、8 天的种子萌发率。这一方法是大豆芽期抗旱性鉴定的主要方法。

### 4.3 综合指标评价法

由于大豆的抗旱性是受多基因控制的数量性状,每个与抗旱性有关的性状对大豆的抗旱性都起作用,但这种作用是微效的,因此利用单一性状指标鉴定大豆的抗旱性局限性很大,为了全面客观地评价某个品种的抗旱能力,需要根据多个性状综合评价大豆品种的抗旱性<sup>[48]</sup>,将形态指标和生理生化指标相结合对抗旱性进行综合评价更具有实际意义<sup>[1]</sup>。常用的综合评价方法有隶属函数法和抗旱系数法。

4.3.1 隶属函数法 是依据模糊数学中的数据标准化处理原则,把大豆的不同性状表现值,放在统一尺度之下进行综合比较。首先求出每个品种各特征性状的具体隶属函数值<sup>[6]</sup>,然后把每个品种各性状具体抗旱隶属值进行累加,并求平均值,平均值越大,抗旱性越强<sup>[26,49]</sup>。岳爱琴等对 10 个不同生态类型大豆品种抗旱性研究发现,大豆开花结荚期的叶片相对含水量、相对电导率、净光合速率、脯氨酸含量、过氧化物酶活性 5 类生理指标的隶属函数加权平均值与抗旱系数呈极显著相关<sup>[50]</sup>。

4.3.2 抗旱系数法 邱丽娟等<sup>[51]</sup>建立了我国大豆抗旱性的标准方法。这一标准方法包含了芽期耐旱性和成株期耐旱性。其中成株期的耐旱性采用抗旱系数进行评价,即先计算每个考查性状的抗旱系数(旱地性状值与正常水分地性状值之比),然后将各性状的抗旱系数累加再平均得到平均抗旱系数。平均抗旱系数越大,抗旱性越强。

大豆抗旱性评价除了上述的方法外,还有根系指标、气孔指标、光合指标等多种评价法。但抗旱性是受多基因控制的数量性状,品种间存在明显的差异。单一的抗旱性不能表现出最终的抗旱性。某个抗旱品种不一定也不必要具有全部的抗旱特

性,而表现不抗的品种也不一定不具备某些抗旱性状。只有当一个品种的抗旱因素在其中占有主导地位时,才能表现出抗旱性。所以在选育抗旱性品种时,不可能也没有必要面面俱到,关键是使抗旱因素占主导地位,综合评价抗旱性。

## 参考文献

- [1] 张海燕,李贵全.大豆抗旱性与生理生态指标关系的研究[J].中国农学通报,2005,21(8):140-142. (Zhang H Y, Li G Q. research of the relationship between soybean drought resistance and the traits of physiology and ecology[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(8): 140-142. )
- [2] 张忠臣,战秀玲,陈庆山,等.大豆油份和蛋白性状的基因定位[J].大豆科学,2004,23(2):81-85. (Zhang Z C, Zhan X L, Chen Q S, et al. Location for oil and protein gene in soybean[J]. Soybean Science, 2004, 23(2): 81-85. )
- [3] 杨鹏辉,李贵全,郭丽等.干旱胁迫对不同抗旱大豆品种花荚期质膜透性的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):127-129. (Yang P H, Li G Q, Guo L, et al. Effect of drought stress on plasma membrane permeability of soybean varieties during flowering-podding stage[J]. Agricultural Research In The Arid Areas, 2003, 21(3): 127-129. )
- [4] 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,2009:2-3,8-9,14-15,27. (Lin H M, Chang R Z, Shao G H, et al. Research on tolerance to stresses in Chinese soybean[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2009: 2-3, 8-9, 14-15, 27. )
- [5] 顾和平,朱成松,陈新,等.抗旱性和抗氧化特性相互关系的研究[J].中国油料作物学报,1998,20(3):51-55. (Gu H P, Zhu C S, Chen X, et al. The relationship between tolerance-drought and tolerance-photooxidation[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 1998, 20(3): 51-55. )
- [6] 孙祖东,陈怀珠,杨守臻,等.大豆抗旱性研究进展[J].大豆科学,2001,20(3):221-226. (Sun Z D, Chen H Z, Yang S Z, et al. Advances in drought tolerance of soybean[J]. Soybean Science, 2001, 20(3): 221-226. )
- [7] Carter T E Jr, Rufty T W, Kuo C G. Soybean Plant introductions exhibiting drought and aluminum tolerance[C]. Adaptation of food Crops to Temperature and Water Strees; Proceedings of on an International Symposium, Taiwan, 13-18, August 1992, 1993, 335-346.
- [8] 王忠.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2000(2):451-452;438-439. (Wang Z. Plant physiology[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000(2): 451-452, 38-439. )
- [9] 任冬莲,路贵和,刘学义.大豆成苗期抗旱性与根系生长的关系[J].中国油料,1993(1):37-39 (Ren D L, Lu G H, Liu X Y, et al. the relationship between drought resistance and root growth in soybean seedlings[J]. Oil Crops of China, 1993(1): 37-39. )
- [10] 刘学义,任冬莲,李晋明,等.大豆成苗期根毛与抗旱性关系研究[J].山西农业科学,1996(12):18-19 (Liu X Y, Ren D L, Li J M, et al. the relationship between drought resistance and root hair in soybean seedlings[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 1996(12): 18-19. )
- [11] 孙广玉,邹璋,程炳嵩,等.大豆光合速率和气孔导度对水分胁迫的响应[J].植物学报,1991 33(1):43-49. (Sun G Y, Zhou Z, Cheng B S, et al. Response of soybean photosynthetic rate and stomatal conductance to water stress[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1991 33(1): 43-49. )
- [12] Djekoun A, PLanchon C. Tomatal conductance, photosynthesis and acetylene reduction rate in soybean genmypes[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1992, 72(2): 383-390.
- [13] 苗以农,刘学军,许守民,等.大豆不同品种的叶片蒸腾速率和气孔阻力[J].中国油料,1989(2):10-18. (Miao Y N, Liu X J, Xu S M, et al. leave transpiration rate and stomatal drag of different soybean varieties[J]. Oil Crops of China, 1982(2): 10-18. )
- [14] 刘学义.作物抗旱性鉴定与方法评述[J].经济作物科技,1985(1):123-124. (Liu X Y. Commentary of identify and method for crop drought-resistance[J]. Cash Crop Technology, 1985(1): 123-124. )
- [15] 路贵和,刘学义,张学武.不同大豆抗旱类型品种气孔特性初探[J].山西农业科学,1994,22(4):8-11. (Lu G H, Liu X Y, Zhang X W. Study on stomatal feature of soybean with different drought-resistance[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 1994, 22(4): 8-11. )
- [16] 郑丕尧,王法宏,王瑞舫,等.大豆不同抗旱性品种根系性状的比较研究Ⅱ.生理功能[J].中国油料,1989(2):6-9, (Zheng p Y, Wang F H, Wang R F, et al. Comparative study on root feature of different drought-resistance soybean varieties Ⅱ. Physiologic function[J]. Oil. Crops of China, 1989(2): 6-9. )
- [17] 孙会兰.干旱对大豆膜质过氧化、组织抗氧化的影响[J].河北农业大学学报,1991,14(4):37-41. (Sun H L. Effect of drought on membrane peroxidation and tissue anti-peroxidation[J]. Journal of Henan Agricultural University, 1991, 14(4): 37-41. )
- [18] 许长城,邹琦,程炳嵩.干旱条件下大豆叶片 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 代谢变化及其同抗旱性的关系[J].植物生理学报,1993,19(3):218-220. (Xu C C, Zhou Q, Cheng B S. metabolism vary of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in soybean leaves and the relationship between it and drought-resistance[J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1993, 19(3): 218-220. )
- [19] Blanchet R. The beginnings of determinate varleries [J]. Bulletin-CETIOM, 1990, 106: 14-16.
- [20] Nemesken E, Rognli O A, Solberg E, et al. Investigation of the adaptability of legumes in the Hungarian climate[J]. Developments in Plant Breeding of Norway, 1994(2): 25-28
- [21] 王绶,吕世霖.大豆[M].太原:山西人民出版社,1984. (Wang S, Lu S L. Soybean [M]. Taiyuan: Shanxi People Press, 1984. )
- [22] 吕世霖,程舜华.大豆籽粒性状生态分布与育种[J].大豆科学,1984,3(3):201-207. (Lu S L, Cheng S H. Ecological distribution and breeding of soybean seed feature[J]. Soybean Science, 1984, 3(3): 201-207. )
- [23] 刘学义.大豆抗旱性评价方法与探讨[J].中国油料,1988(4):12-14. (Liu X Y. Evaluation method and discussion about drought-resistance in soybean[J]. Oil Crop of China, 1988(4): 12-14. )
- [24] 刘学义,张小虎.黄淮海地区大豆种质资源抗旱性鉴定及其研究[J].山西农业科学,1993,21(1):19-24. (Liu X Y, Zhang X H. Identification and research about drought-resistance of soybean genetic resource in Huang-Huai-Hai area[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 1993, 21(1): 19-24. )
- [25] 许东河,李东艳,程舜华.大豆百粒重与抗旱性及产量的关系[J].中国油料,1991(3):64-66. (Xu D H, Dong Y, Shun H. The relationship between soybean 100-seed weight and drought-resistance and yield[J]. Oil Crops of China, 1991(3): 64-66. )

- [26] 刘学义. 大豆抗旱性评价方法的探讨[J]. 中国油料, 1986(4): 23-26. (Liu X Y. discussion of evaluation method about drought-resistance in soybean[J]. Oil Crops of China, 1986, (4): 23-26.)
- [27] 王法宏, 郑丕尧, 王树安, 等. 大豆不同抗旱性品种根系性状的比较研究 I. 形态特征及组织解剖结构[J]. 中国油料, 1989(1): 32-37 (Wang F H, Zheng P Y, Wang S A, et al. Comparative study on root feature of different drought-resistance soybean varieties I. Morphological character and tissue anatomic structure[J]. Oil Crops of China, 1989(1): 32-37.)
- [28] 富健, 刘玉芳, 崔殿财, 等. 大豆苗期抗旱性与根系生长关系研究[J]. 吉林农业科学, 1994(4): 21-22. (Fu J, Liu Y F, Cui D C, et al. Research of the relationship between drought-resistance and root growth in soybean seedlings stage[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1994(4): 21-22.)
- [29] Boyer I S. Plant productivity and environment[J]. Science, 1982, 218: 443-448.
- [30] 刘祖琪, 张石诚. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 101-111. (Liu Z Q, Zhang S C. Plant resistance physiology[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1994: 101-111.)
- [31] 郭卫东, 沈向, 李嘉瑞, 等. 植物抗旱分子机理[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(4): 102-106. (Guo W D, Shen X, Li J R, et al. molecular mechanism of drought-resistance in plant[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 1999, 27(4): 102-106.)
- [32] 牛明功, 王贤, 陈龙. 干旱、渍涝和低温胁迫对小麦生理生化特性的影响[J]. 种子, 2003(4): 19-21. (Niu M G, Wang X, Chen L. Effects of drought, waterflooding and low temperature on physiology and biochemistry characteristics of wheat[J]. Seed, 2003(4): 19-21.)
- [33] 郭志强, 刘学义, 张俊荣. 大豆抗旱生理指标研究[J]. 山西农业科学, 1988(4): 6-9. (Guo Z Q, Liu X Y, Zhang J R. Research of physiology index about drought-resistance of soybean[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 1988(4): 6-9.)
- [34] 李舒凡, 沈桂琴, 徐美德. 施钾对增强大豆抗旱性的影响[J]. 大豆科学, 1993, 12(4): 302-306. (Li S F, Shen G Q, Xu M D. The effects of using potash on increasing drought-resistance of soybean[J]. Soybean Science, 1993, 12(4): 302-306.)
- [35] Singh B B, Shrivastava M K, Ambawatia G A. Genotypic differences in potassium accumulation in soybean (*Glycine max*) under water stress[J]. Narendra Deva Journal of Agricultural Research, 1986, 1(2): 167-170.
- [36] 王启明, 徐心诚, 马原松, 等. 干旱胁迫下大豆开花期的生理生化变化与抗旱性的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 98-102. (Wang Q M, Xu X C, Ma Y S, et al. The relationship between physiology change and drought-resistance at soybean flowering stage in drought stress[J]. Agricultural Research In The Arid Areas, 2005, 23(4): 98-102.)
- [37] 杨鹏辉, 李贵全, 郭丽, 等. 干旱胁迫对不同抗旱大豆品种质膜透性的影响[J]. 山西农业科学, 2003, 31(3): 23-26. (Yang P H, Li G Q, Guo L, et al. Effect of drought stress on plasma membrane permeability of soybean varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2003, 31(3): 23-26.)
- [38] 韩永华. 水分胁迫对大豆幼苗叶片细胞质膜的影响[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 1999, 17(4): 85-87. (Han Y H. The effect of water stress on cytoplasmic membrane of soybean leaves[J]. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 1999, 17(4): 85-87.)
- [39] 董钻, 谢甫绶. 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. (Dong Z, Xie F T. The effects of water stress on membrane permeability and enzyme activity[J]. Soybean Science, 1995, 14(4): 290-297.)
- [40] 王启明, 马原松. 不同抗旱品种大豆苗中脯氨酸积累的差异[J]. 商丘职业技术学院学报, 2005, 4(2): 63-64. (Wang Q M, Ma Y S. The difference in proline accumulation between the seedling of two varieties of soybean with different drought resistance[J]. Journal of Shangqiu Vocational and Technical College, 2005, 4(2): 63-64.)
- [41] 周奕华, 陈正华. 分子标记在植物学中的应用及前景[J]. 武汉植物学研究, 1999, 17(1): 75-86. (Zhou Y H, Chen Z H. Application and prospect of molecular marker in botany[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 1999, 17(1): 75-86.)
- [42] 陈绍华. 大豆分子标记研究进展[J]. 大豆科学, 1995, 14(4): 334-339. (Chen S H. Research development of soybean molecular marker[J]. Soybean Science, 1995, 14(4): 334-339.)
- [43] 邓丽琴, 祝朋芳, 陈长青. 试论常规育种与分子育种的研究应用[J]. 杂粮作物, 2004, 24(5): 280-281. (Deng L Q, Zhu P F, Chen C Q. Research and application conventional breeding and molecular breeding[J]. Rain Fed Crops, 2004, 24(5): 280-281.)
- [44] 刘良舟, 盖钧镒, 马育华. 江淮下游大豆地方品种抗旱性鉴定的初步研究[J]. 南京农业大学学报, 1989, 2(1): 5-21. (Liu G Z, Gai J Y, Ma Y H. Preliminary study on drought-resistance of native soybean variety in down Huai River area[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1989, 2(1): 5-21.)
- [45] 兰巨生, 胡福顺, 张景瑞. 作物抗旱指数概念和统计方法[J]. 华北农学报, 1990(2): 20-25. (Lan J S, Hu F S, Zhang J S. Crop drought-resistance index concept and statistical method[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1990(2): 20-25.)
- [46] 李舒凡, 邵桂花. 大豆抗旱性鉴定方法的探讨与评价[J]. 作物杂志, 1992(1): 30-31. (Li S F, Shao G H. Discussion and evaluation of identification method about drought-resistance of soybean[J]. Crops, 1992, (1): 30-31.)
- [47] 王以芝. 大豆种子吸水率与抗旱性[J]. 种子世界, 1989, 4(1): 83-84. (Wang Y Z. Water-absorption rate of soybean and drought-resistance[J]. Seed World, 1989, 4(1): 83-84.)
- [48] 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]. Vol. 1. Saskatchewan, Canada: university Extension Press, 1998: 201-203.
- [49] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J]. 云南农业大学学报, 1989(1): 37-81. (Gong M. Identification method and index evaluation about drought-resistance of crop[J]. Journal of Yunnan Agricultural Science, 1989(1): 37-81.)
- [50] 岳爱琴, 杜维俊, 赵晋忠, 等. 不同大豆品种抗旱性的研究[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(20): 157-160. (Yue A Q, Du W J, Zhao J Z, et al. Research on drought of different soybean varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2005, 25(20): 157-160.)
- [51] 邱丽娟, 常汝镇. 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. (Qiu L J, Chang R Z. Description norm and data standard about genetic resources[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2006.)