

# 施氮量对大豆抗旱生理特性及水分利用效率的影响

孙继颖,高聚林,吕小红

(内蒙古农业大学农学院,呼和浩特 010019)

**摘要** 研究不同施氮量下大豆光合生理指标、抗旱生理指标、产量、水分利用效率及品质指标的变化。结果表明,在试验设定的三个施氮量中,光合生理指标以施氮量 72 kg/hm<sup>2</sup> 处理最高;抗旱生理指标除叶片相对含水量是以施氮量 72 kg/hm<sup>2</sup> 处理最高之外,其他如叶绿素含量及脯氨酸含量均随着施氮量的增加而升高、叶片相对电导率及丙二醛含量均随着施氮量的增加而降低;产量及水分利用效率均为施氮量 72 kg/hm<sup>2</sup> 处理最高,其次为施氮量 117 g/hm<sup>2</sup> 处理,以施氮量 27 kg/hm<sup>2</sup> 处理最低,施氮量 72 kg/hm<sup>2</sup> 处理比施氮量 27 kg/hm<sup>2</sup> 处理增产 24.41%,叶片水分利用效率、耕层土壤水分利用效率及降水水分利用效率分别比 27 kg/hm<sup>2</sup> 处理提高 6.22%、24.26%及 24.29%;随着施氮量增加,大豆籽粒粗蛋白含量下降、磷含量、粗脂肪含量增加,117 g/hm<sup>2</sup> 处理的粗蛋白含量比 27kg/hm<sup>2</sup> 处理降低 9.34%,磷含量及粗脂肪含量比 27 kg/hm<sup>2</sup> 处理提高 29.25%及 23.49%。总之,适当增施氮肥在一定程度上弥补了干旱胁迫对植株生长发育及代谢活性所造成的伤害,明显改善大豆的光合特性,提高了大豆的抗旱能力,进而提高了大豆产量和水分利用效率,并提高大豆籽粒的粗脂肪含量,在一定程度上改善了大豆的品质,但施氮量不宜过高,否则对大豆产生不良影响。

**关键词** 大豆;施氮量;抗旱;水分利用效率

**中图分类号** S565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2007)04-0517-06

## THE EFFECTS OF NITROGEN ON PHYSIOLOGICAL INDEXES OF DROUGHT TOLERANCE AND WATER USE EFFICIENCY IN SOYBEAN

SUN Ji-ying,GAO Ju-lin,LU Xiao-hong

(Agronomy College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, 010019)

**Abstract** In the paper, the physiological indexes for drought tolerance, WUE, yield and quality of soybean in different nitrogen use were studied. In the three treatments of nitrogen, which were 27 kg/hm<sup>2</sup> (N 1), 72 kg/hm<sup>2</sup> (N 2), 117 kg/hm<sup>2</sup> (N 3), the photosynthesis index and leaf water content of N<sub>2</sub> were the highest, the chlorophyll content and proline content increased with the more nitrogen using, while the MDA and REC content decreased. The water use efficiency and yield of N 2 were the largest, and next was N 3, the N 1 was the smallest, the yield of N 2 were 24.29% lar-

收稿日期:2007-01-04

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET040264);内蒙古自然科学基金(200408020302);大豆优化栽培管理决策支持系统推广及内蒙古自然科学基金(200508010309)

作者简介:孙继颖(1972-),女,在读博士生,讲师,主要从事作物抗旱生理方面的研究。Tel:0471-4315399(h),13947130409;E-mail:nmsunjyying@163.com.cn

通讯作者:高聚林博士,教授,博士生导师。Tel:0471-4305414;E-mail:gaojulin@yahoo.com.cn

ger than N 1, the water use efficiency of leaf, soil and rainfall in N 2 were 6.22%, 24.26% and 24.29% higher than N 1. The crude protein content of seed was decreased with the more nitrogen using, while the P and crude fat content were increased, the crude protein content of N 3 was 9.34% lower than N 1, the P and crude fat content of N 3 was 29.25% and 23.49 lower than N 1. In all, more nitrogen use can make up the harmless of dry to plant growth, improve the photosynthesis index, drought tolerance and WUE, and finally increase the yield and quality. But it was not suitable to much nitrogen use, otherwise, it can result in the negative effects.

**Key words** Soybean; Nitrogen; Use; Drought tolerance; Water use efficiency

在旱地农业生产中,降水成为农业用水的主要来源之一,然而,由于多种原因,内蒙古地区西部的旱地大多贫瘠,土壤肥力水平低下,营养元素失调,既缺水,又缺肥。土壤的瘠薄严重限制了降水潜势的发挥。旱地农业生产的实践表明,在一定条件下,施肥可以大幅度提高水分利用效率<sup>[1~5]</sup>。有关施肥提高作物生长发育及水分利用效率方面,曾经进行的研究工作,均停留在比较表面的水平上,作物多集中在冬小麦和玉米上<sup>[6~12]</sup>,并且得出的结论也不一致<sup>[13~16]</sup>。在旱地条件下,提高施肥水平,是否有利于作物生长及抗旱,仍然存在着争议,有必要在这方面进一步开展广泛的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地及肥力状况

试验于2006年在内蒙古农业大学教学农场进行。土壤为壤土,有机质含量为2.51%,全氮0.132%,碱解氮79.5 mg/kg;速效磷28.1 mg/kg;有效钾148.9 mg/kg;pH为7.6。田间最大持水量为21%。当年生育期内降水186.3 mm。

### 1.2 供试材料

供试品种为吉育47,亚有限结荚习性,生育期125~130 d,叶形卵圆形,茸毛灰色,胚无色,花色为白色。

### 1.3 试验设计

试验设三个施N处理,1)N1处理(纯氮27 kg/hm<sup>2</sup>,即150 kg二铵);2)N2处理(纯氮72 kg/hm<sup>2</sup>,即150 kg二铵+97.8 kg尿素);3)N3处理(纯氮117 kg/hm<sup>2</sup>,即150 kg二铵+195.6 kg尿素)。于播种时一次性侧深施。12行区,行距50 cm,株距3 cm,小区面积30 m<sup>2</sup>。保苗2.2万/667m<sup>2</sup>,按序排列,重复3次。4月28日播种。生育期间不进行灌水,利用自然降水。其它田管理同大田生产。

## 1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长量指标 叶面积:用比叶重法;比叶面积:叶面积/叶片干重;

1.4.2 大豆光合指标 净光合速率Pn、蒸腾速率Tr、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度Ci及气孔导度Gs,于大豆花荚期(8月3日)用LI-6400光合系统测定仪测定。

1.4.3 抗旱生理指标 叶片相对含水量(RWC);叶绿素含量:乙醇丙酮水混合法;细胞膜相对透性:DDS-11A型电导率仪进行测定;脯氨酸:磺基水杨酸法;丙二醛含量:Giannopolitis和Ries(1977)光化学抑制法。

1.4.4 水分利用率 叶片水分利用效率(LWUE)为叶片光合速率/叶片蒸腾速率;降水水分利用效率(RWUE)为经济产量/降雨量;土壤水资源利用效率(SWUE)为经济产量/土壤水消耗量。

1.4.5 籽粒产量及品质指标 大豆籽粒成熟后,按照常规方法考种测产,并测定大豆籽粒粗蛋白含量:奈氏比色法;籽粒含磷量:钼钒黄比色法;籽粒粗脂肪含量:索氏提取法。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶面积指数分析

增加施氮量显著提高大豆叶面积指数(表1),但当施氮量增大到一定程度时,叶面积指数反而下降。在试验设定的3个处理中,N2处理在出苗后各个阶段叶面积最大,

其次为N3处理,以N1处理叶面积指数最小,3个处理大豆叶面积指数在各个时期均达到极显著水平。在大豆出苗后81 d,N2处理和N3处理达最大叶面积指数5.91及5.57,分别高于N1处理37.12%及29.23%。

表 1 不同施氮肥量大豆叶面积指数的变化  
Table 1 The effect of nitrogen application on LAI of soybean

处理 Treatment	出苗后天数 Day after emergence											
	19		29		40		56		81		97	
N 1	0.073	A a	0.88	A a	1.66	A a	2.32	A a	4.31	A a	0.11	A a
N 2	0.086	C c	1.89	C c	3.41	C c	5.81	C c	5.91	C c	0.54	C c
N 3	0.079	B b	1.73	B b	3.04	B b	5.13	B b	5.57	B b	0.38	B b

注:同列不相同小写字母数值间( $p < 0.05$ )差异显著,同列不相同大写字母间( $p < 0.01$ )差异显著。下同。

Note: Small and capital letter in the same coulumn indicate significant at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

## 2.2 光合指标

增施氮素可改善大豆光合性能,在试验的 3 个处理中,N2 处理大豆的光合速率、胞间  $\text{CO}_2$  浓度及蒸腾速率最高,其次为 N3 处理,N1 以上各项光合指标最小(表 2)。光合速率、气孔导度、蒸腾速率等指标,3 个处理间达到极显著水平,胞间  $\text{CO}_2$  浓度 N2 和 N3 两个处理与 N1 之间均达到极显著水平,N2 处理及 N3 处理之间差异不显著。

表 2 不同施氮肥量大豆光合作用指标的变化

Table 2 The effect of nitrogen application on photosynthesis indexes of soybean

处理 Treatment	光合速率 Photosynthetic ratio ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 Intercellular $\text{CO}_2$ concentration ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol}$ )	气孔导度 Stomatal conductance ( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	蒸腾速率 Transpiration ratio ( $\text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )
N 1	4.13 A a	304.33 A a	0.34 A a	0.78 A a
N 2	18.70 C c	427.67 B b	0.62 C c	3.32 B c
N 3	16.77 B b	419.00 B b	0.52 B b	3.11 B b

## 2.3 抗旱生理指标

RWC 是反映植株水分状况的敏感性指标<sup>[17]</sup>,植物叶片相对含水量的多少,常用来表示叶片的持水能力的强弱。从表 3 可见,N2 处理和 N3 处理叶片相对含水量均显著高于 N1 处理,由此可见,增施氮肥可显著改善大豆植株的水分状况,减缓水分胁迫的影响。这与干旱条件下氮肥改善了大豆根际水分状况,维持了作物吸水与失水之间的平衡,维持一定的代谢水平有关。但当氮肥过高时,此种改善作用反而下降。

在相同的外界条件下,叶绿素含量越高的叶片对于干旱的抵抗能力越强。由表 3 可见,增施氮肥可以有效提高叶片叶绿素含量,N2 处理和 N3 处理

叶片叶绿素含量均显著高于 N1 处理,两者之间差异不显著。

植物细胞膜对维持细胞的微环境和正常的代谢起着重要的作用。在正常情况下,细胞膜对物质具有选择透性能力。但当植物受到干旱胁迫时,细胞膜透性增大,细胞内含物渗透,以致细胞浸提液的电导率增大。作物电导率的大小与植物抗旱性能有关,众多学者一致认为电导率可以作为抗旱性评价的生理指标<sup>[17~21]</sup>。由表 3 可见,大豆叶片的相对电导率随着施氮量的增加而降低,说明增施氮肥可以降低干旱对大豆叶片细胞膜的伤害程度,保护细胞膜系统,增强大豆抗旱能力。

作物在水分胁迫条件下,将发生渗透调节作用,其细胞内主动积累溶质,这些溶质为渗透调节物质。脯氨酸是植物细胞内合成的一种有机溶质,有调节细胞的渗透势、保护蛋白质分子、增加蛋白质分子的水合度、维持光合活性和作为活性氧的清除剂等作用<sup>[22,23]</sup>。其含量的多少常用来作为抗性指标,以评价作物抗旱性。由表 3 可见,大豆叶片脯氨酸含量随着施氮量的增加而增加,差异达到极显著水平,可见增施氮肥可以提高大豆叶片渗透调节能力,降低其渗透势,使细胞水势降低,提高植株的吸水能力,增强植株的抗旱性。

当植物受到干旱胁迫时,细胞内积累大量的自由基,诱导过氧化氢等有毒物质直接或间接地启动膜质过氧化作用,导致细胞膜损害,大量电解质外渗。丙二醛是膜质过氧化作用的最终产物,可以指示植物细胞膜的伤害程度,含量越多表明植物受害程度越重,即抗旱能力越弱。由表 3 可见,大豆叶片丙二醛含量随着施氮量的升高而下降,说明增施氮肥可以减轻细胞膜的破坏程度和膜质过氧化程度,从而有助于提高大豆抗旱性。

表3 不同施氮肥量大豆抗旱生理指标的变化

Table 3 The effect of nitrogen application on physiological indexes of soybean

处理 Treatment	叶片相对含水量 RWC(%)	叶绿素 Content of chlorophyll(mg/g)	细胞膜相对透 性 REC(%)	脯氨酸含量 Proline ( $\mu\text{g/g}$ )	丙二醛含量 MDA (nmol/g)
N 1	90.80 A a	0.86 A a	21.37 A a	276.82 A a	63.50 B b
N 2	96.50 B b	0.93 B b	18.66 B b	287.75 B b	57.69 B c
N 3	93.69 C c	0.93 B b	17.16 C c	349.57 C c	54.49 A a

## 2.4 耕层土壤含水量

3个处理的耕层土壤含水量在最初的苗期基本上是一致的。随着大豆发芽出土,幼苗生长,耕层土壤含水量均呈下降趋势,但N3处理的耕层土壤含水量仍高于N1、N2两个处理。耕层土壤含水量随施氮量增加而增加,表现出较强的以肥调水的趋势,在7月中旬因有降水,3个处理的耕层土壤含水量均有所上升,在结荚期(8月27日)存在N3>N2>N1的关系。在结荚之后,3个处理的耕层土壤含水量均呈下降趋势,到9月10日成熟期时,不同施氮量大豆耕层土壤含水量依然表现为N3>N2>N1的关系(图1)。表明施氮可以提高土壤含水量,降低土壤水势,使得作物根际土壤含水量提高,可见施氮起到很好的“以肥调水”的作用。

## 2.5 产量指标变化

在施氮量水平较低时,随着施氮量的增加,可以

表4 不同施氮肥量大豆产量指标的变化

Table 4 The effect of nitrogen application on yield components of soybean

处理 Treatment	667 m <sup>2</sup> 株数 Plant per 667m <sup>2</sup>	株荚数(个) Pods per plant	荚粒数(粒) Seeds per pod	百粒重(g) 100-seed weight	产量 Yield kg/667m <sup>2</sup>
N 1	13778	31.13 A a	2.52 A a	16.09 A a	174.02 A a
N 2	13778	36.30 C c	2.46 A ab	18.43 C c	216.49 C c
N 3	13769	33.07 B b	2.34 A b	17.59 B b	196.62 B b

## 2.6 水分利用效率指标

从表5可以得出,增施氮肥可以提高大豆的叶片水分利用效率、土壤水分利用效率及降水水分利用效率,N2处理上述各项指标最高,其次为N3处理,N1处理上述指标值最小,三个处理之间达到显著水平。

## 2.7 籽粒粗蛋白、磷、粗脂肪含量

随施氮量的增加,籽粒粗蛋白含量、磷含量、粗脂肪含量均呈现增加趋势。3个处理含磷量之间达显著水平,粗蛋白含量及粗脂肪含量达到极显著水平。

提高大豆的产量,但当施氮量提高到一定量时,产量的提高受到影响,甚至反而下降,N2处理大豆产量最高,达到216.49 kg/667m<sup>2</sup>,其次为N3处理,以N1处理最低(表4)。三个处理大豆株荚数、百粒重及产量指标均大到极显著水平。

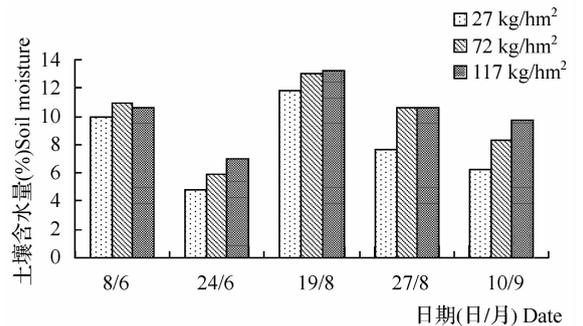


图1 不同施氮肥水平下大豆田耕层土壤含水量变化

Fig. 1 The effect of nitrogen application on 0~20cm soil moisture

表5 不同施氮肥量下大豆水分利用效率的变化

Table 5 The effect of nitrogen application on water use efficiency of soybean

处理 Treatment	叶片水分利用效率 Leaf water use efficiency ( $\mu\text{molCO}_2/$ $\text{mmolH}_2\text{O}$ )	土壤水分利 用效率 Soil water use efficiency ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	降水水分 利用效率 Rain use efficiency ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
N 1	5.30 B a	1.36 A a	1.40 A a
N 2	5.63 A c	1.69 B c	1.74 B c
N 3	5.38 B b	1.54 AB b	1.58 AB b

表 6 不同施氮肥量下大豆籽粒粗蛋白、  
磷含量、粗脂肪含量的变化(%)

Table 6 The effect of nitrogen application on soybean quality

处理 Treatment	粗蛋白含量 Content of crude protein		磷含量 Content of P		粗脂肪含量 Content of crude fat	
N1	38.75	A a	11.18	A a	17.50	A a
N2	41.16	B b	12.89	B b	19.21	B b
N3	42.74	C c	14.45	B c	21.61	C c

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

3.1.1 在一定的施氮量范围内,随着施氮量的增加,大豆的叶面积指数增加,但当施氮量超过适宜范围时,对大豆会产生不良影响,叶面积指数反而下降。在试验设定的 3 个处理中,大豆各个生育时期的叶面积指数均表现为  $N2 > N3 > N1$ 。

3.1.2 在一定的施氮量范围内,随着施氮量的增加,大豆光合速率、胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度及蒸腾速率等光合性能指标得到改善;但当施氮肥过量时,大豆上述各指标开始下降。在试验的 3 个处理中,  $N_2$  处理的光合速率、胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度及蒸腾速率最高,其次为  $N_3$  处理,  $N_1$  以上各项指标最小。  $N_2$  处理大豆的光合速率、胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度及蒸腾速率分别比  $N_1$  提高 352.78%、40.53%、82.35% 及 325.64%。

3.1.3 在一定的施氮量范围内,随着施氮量的增加,大豆的叶绿素含量及脯氨酸含量升高、叶片相对透性及丙二醛含量降低,只有叶片相对含水量指标先升后降,但  $N_2$  及  $N_3$  处理叶片相对含水量均显著高于  $N_1$  处理,说明增施氮肥可以提高大豆叶片相对含水量。综合上述各指标变化规律,可见增施氮肥可以改善大豆抗旱性能。

3.1.3 在除大豆苗期之外的各个生育时期中,不同施氮量大豆耕层土壤含水量表现为  $N3 > N2 > N1$ ,表明施氮肥可以提高土壤含水量,起到很好的“以肥调水”的作用。

3.1.4 在试验的三个处理中,以  $N_2$  处理产量最高,水分利用效率最大,其次为  $N_3$  处理,  $N_1$  处理上述指标最低。  $N_2$  处理比  $N_1$  处理增产 24.41%,  $N_2$  处理叶片水分利用效率、耕层土壤水分利用效率及降水水分利用效率分别比  $N_1$  处理提高 6.22%、

24.26% 及 24.29%。

3.1.5 在一定的施氮量范围内,随着施氮量增加,大豆籽粒粗蛋白含量、磷含量、粗脂肪含量均增加。  $N_3$  处理大豆的粗蛋白含量比  $N_1$  处理升高 10.30%,磷含量及粗脂肪含量比  $N_1$  处理分别提高 29.25% 及 23.49%。

#### 3.2 讨论

3.2.1 正常水分条件下,增施氮肥可以改善大豆个体生长发育,但氮肥量增加到一定程度时,个体生长过于旺盛,降低了群体性能,造成减产;在旱作条件下,一般来讲,在能够维持大豆生长的条件下,个体生长越小越有利于大豆的抗旱,适当增施氮肥,显著改善大豆的生长发育,但对于大豆的抗旱性能的影响维持在较小的范围内,可以提高大豆产量和水分利用效率;但施氮量达到一定程度时,个体性能的改善作用将不足以弥补抗旱性能的下降,增产效果受到影响,旱作条件下的最佳施氮量应低于正常水分条件。

3.2.2 旱作条件下,适当增施氮肥,使得大豆根际土壤水势下降,则较远土壤中的水分向大豆根系周围移动,使得根际土壤含水量升高,利于大豆吸收利用,提高水分利用效率。改善大豆生长发育,提高产量,当氮肥增加到一定程度时,虽然对于根系的水分依然有很好的调节作用,但由于施氮量过高而影响到大豆自身的生长,造成大豆产量、品质及水分利用效率降低,使得“以肥调水”作用效果下降。

#### 参 考 文 献

- [1] 李美珍,刘玲玲,张松令,等. 旱地小麦施肥效应及增产机理[J]. 山西农业科学,1995,23(3):19-22.
- [2] 孟凯,张兴义. 东北黑土区作物水分利用效率的研究[J]. 生态农业研究,1999(2):32-35.
- [3] 谷洁,刘存寿,方日葵,等. 半湿润偏旱区施肥对冬小麦水分利用效率和产量的影响[J]. 西北农业学报,1997,6(4):62-64.
- [4] 周涛,惠开基. 施肥提高旱地作物水分利用效率的机理和效果[J]. 土壤通报,2000,2(31):85-89.
- [5] 张玉革,姜勇,依艳丽,等. 长期施肥对土壤水分特性影响的研究[J]. 土壤,1999,3:120-126.
- [6] 邓西平,山仑,稻永忍,等. 密度、施肥对旱地春小麦产量、水分利用效率和籽粒养分含量的补偿效应[J]. 西北植物学报,2003,23(11):1861-1870.
- [7] 姚晓晔,汪德水,程宪国,等. 不同施肥水平下旱地冬小麦水分效应研究[J]. 土壤肥料,1994,6:15-18.

- [8] 张恩和,吴圣龙,黄高宝,等. 施肥对小麦/大豆间套农田土壤水分时空分布的调节[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(3):64-68.
- [9] 陈洪松,邵明安,张兴昌,等. 黄绵土坡耕地大豆的水肥产量效应[J]. 应用生态学报,2003,14(2):211-214.
- [10] 赵双进,张孟臣,杨春燕,等. 栽培因子对大豆生长发育及群体产量的影响——肥水、生长调控措施对产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2003,25(2):48-51.
- [11] Hans de Kroon. The interaction between water and nitrogen translocation in a rhizomatous sedge (*Carex - acca*) [J]. *Oecologia*,1998,116:38-49.
- [12] Ogola, Wheeler, Harris. Effects of nitrogen and irrigation on water use of Maize crops [J]. *Field crops research*,2002(78):105-117.
- [13] 方日尧,赵惠青,同延安. 渭北旱原冬小麦深施肥沟播综合效应研究[J]. 农业工程学报,2000,16(1):49-52.
- [14] 沈荣开,王康,张瑜芳,等. 水肥耦合条件下作物产量、水分利用和根系吸氮的试验研究[J]. 农业工程学报,2001,17(5):35-38.
- [15] 张国盛,张仁陟. 水分胁迫下氮磷营养对小麦幼苗渗透物质累积影响[J]. 甘肃农业大学学报,2001,3(1):95-99.
- [16] Deng Xi - ping, Shan Lun. High efficient use of limited supplement water by dry land spring wheat [J]. *Transactions of the CSAE*,2002,18(5):84-91.
- [17] 甘银波,涂学文,田任久. 大豆的最佳氮肥施用时期研究[J]. 大豆科学,1998,17(4):287-291.
- [18] 李秧秧,邵明安. 小麦根系对水分和氮肥的生理生态反应 [J]. *植物营养与肥料学报*,2000,6(4):383-388.
- [19] 孙祖东,陈怀株,杨守臻,等. 大豆抗旱性研究进展[J]. 大豆科学,2001,20(3):221-225.
- [20] 孙广玉,邹琦,程炳蒿. 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.
- [21] 宋英淑,尹田夫. 不同品种大豆的产量及质膜透性对水分胁迫的反应 [J]. *大豆科学*,1985,(4):279-284.
- [22] 李善菊,任小林. 植物水分胁迫下功能蛋白的研究进展 [J]. *水土保持研究*,2005,12(32):64-69.
- [23] 王娟,李德全. 逆境条件下植物体内渗透调节物质的积累与活性氧代谢 [J]. *植物学通报*,2001,18(4):459-465.

## 欢迎订阅《激光生物学报》

《激光生物学报》创刊于1992年,是由中国科学技术协会主管、中国遗传学会主办、湖南师范大学承办、华南师范大学激光生命科学研究所、安徽农业大学生命科学学院、中国海洋大学物理系、福建师范大学物理与光电信息科技学院、亚盛集团博士后科研工作站北京分站等协办,由国内外有关专家、学者组成的《激光生物学报》编委会编辑部编辑、激光生物学报杂志社出版的学术性刊物,双月刊,大16开,144页,每逢双月底出版发行,国外发行代号:DK43001,国内发行代号:42-194,欢迎订阅。

报道内容:以激光(光)生物学、生物光子学、激光(光)生物医学(含光子中医学、光动力疗法、激光整形美容)、辐射生物学(含激光育种、辐射育种、空间育种等)、离子束生物工程及其相关的激光生物技术(含微束照射技术、光镊技术、成像技术、光谱技术、共聚焦扫描显微技术、细胞分流技术等)、仪器研制诸领域的学术论文,适量兼登生物物理学、生物化学、遗传学、医学、农学等基础学科方面的学术论文。

本刊栏目:《激光生物学报》包含以下栏目:基础研究、应用研究、技术与方法、仪器研制、专题论述、科技信息等。

读者对象:凡从事上述领域的研究人员、高等院校教师、研究生、医务工作者、育种工作者、激光仪器研制者等。

订阅办法:国内主要由全国各地邮局订阅,亦可通过邮局直接汇款至编辑部,邮编:410081,地址:长沙岳麓山湖南师大生命科学学院内;或由银行汇款,开户行:中行湖南师范大学支行,账号:46106572408091001,户名:长沙市岳麓区激光生物学报杂志社。国内定价:20元/期,120元/年。国外直接向中国出版对外贸易总公司(北京782信箱)订阅。欢迎国内外读者订阅本刊!