

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 2011

中国生态学学会

中国科学院生态环境研究中心

科学出版社

主办

出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第12期 2011年6月 (半月刊)

## 目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例.....	李昊,蔡运龙,陈睿山,等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响 .....	苏敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例 .....	欧维新,叶丽芳,孙小祥,等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响.....	樊后保,廖迎春,刘文飞,等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能.....	贺淑霞,李叙勇,莫菲,等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应.....	郭东罡,上官铁梁,白中科,等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响 .....	张焕军,郁红艳,丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性.....	何彩梅,魏大巧,李海燕,等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新.....	赵振勇,张科,卢磊,等 (3322)
基于8hm <sup>2</sup> 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换 .....	张毓涛,梁凤超,常顺利,等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应.....	周晓兵,张元明,陶冶,等 (3340)
Pb污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响 .....	原海燕,郭智,黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北3树种树干表面CO <sub>2</sub> 释放通量的影响 .....	王秀伟,毛子军,孙涛,等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局.....	唐樱殷,沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数.....	彭焕华,赵传燕,冯兆东,等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的CCA分析 .....	赵成章,周伟,王科明,等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征.....	庞科,姚锦仙,王昊,等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素.....	王雨,林茂,陈兴群,等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响.....	黄亮亮,李建华,邹丽敏,等 (3415)
基于RS/GIS公路路域水土流失动态变化的研究——以渝昆高速公路为例 .....	陈爱侠,李敏,苏智先,等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价.....	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析.....	高宾,李小玉,李志刚,等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响.....	李晋昌,王文丽,胡光印,等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中Cu和Zn累积的影响 .....	张妍,罗维,崔晓勇,等 (3460)
基于GIS的宁夏灌区农田污染源结构特征解析.....	曹艳春,冯永忠,杨引禄,等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响.....	刘岩,周勋波,陈雨海,等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例 .....	谭德水,江丽华,张骞,等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响 .....	刘爱荣,陈双臣,刘燕英,等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响 .....	彭向永,宋敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景.....	胡自民,李晶晶,李伟,等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡4种优势灌木的气体交换特征.....	朱军涛,李向义,张希明,等 (3522)
不同比例尺DEM数据对森林生态类型划分精度的影响 .....	唐立娜,黄聚聪,代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局 .....	贾永正,胡海波,张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响 .....	陈法霖,郑华,阳柏苏,等 (3543)
深圳地铁碳排放量 .....	谢鸿宇,王习祥,杨木壮,等 (3551)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 304 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 35 \* 2011-06



封面图说:自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草,举目望去,如霞似火,蔚为壮观,人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程,掉下的茎叶腐质后肥化了土壤,它是大海的生态屏障。

彩图提供:段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail:dwk9911@126.com

# 底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响

刘 岩<sup>1</sup>, 周勋波<sup>1</sup>, 陈雨海<sup>1,\*</sup>, 齐 林<sup>1</sup>, 崔兆韵<sup>2</sup>, 杨荣光<sup>2</sup>, 徐德力<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学农学院,作物生物学国家重点实验室,山东省作物生物学重点实验室,山东泰安 271018;  
2. 山东省泰安市农业气象站,山东泰安 271000)

**摘要:**选择华北地区冬小麦-夏大豆一年两熟制度,冬小麦设置90、135、180 mm等3种灌水量。冬小麦收获后,播种夏大豆,夏大豆设置30 cm等行距、“20+40” cm大小行、“20+40” cm垄作3种植方式。研究了底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响。结果表明,冬小麦灌溉能够明显影响夏大豆播种时的土壤蓄水量(底墒)。随冬小麦灌水量的增加,夏大豆播种时底墒改善,180 mm和135 mm较90 mm处理明显提高了夏大豆净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度、叶绿素含量指数、F0、Fv及ΦPS II,增产效果显著。180 mm较135 mm处理增产效果不显著,且水分利用效率显著降低。夏大豆种植方式也能明显影响其净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度、叶绿素含量指数、F0、Fm、ΦPS II、Fv/Fm、产量及水分利用效率,具体表现为:“20+40” cm垄作>30 cm等行距>“20+40” cm大小行。综合评价,冬小麦135 mm灌水量条件下,夏大豆采用“20+40” cm垄作是生产上可行的栽培模式。

**关键词:**底墒;种植方式;夏大豆;光合特性;产量

## Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean

LIU Yan<sup>1</sup>, ZHOU Xunbo<sup>1</sup>, CHEN Yuhai<sup>1,\*</sup>, QI Lin<sup>1</sup>, CUI Zhaoyun<sup>2</sup>, YANG Rongguang<sup>2</sup>, XU Deli<sup>2</sup>

1 College of Agronomy, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology/ Shandong Key Laboratory of Crop Biology, Taian 271018, China

2 Meteorological Experiment Station, Taian 271000, China

**Abstract:** Wheat-soybean rotation planting pattern is an important farming system in North China Plain. The long-term average (from 1971 to 2008) annual rainfall was 696.6 mm. In most years, rainfall does not exceed 200 mm, but water requirement of winter wheat was about 400 to 500 mm during the winter wheat growing season. As a consequence, winter wheat yield reflects the amount of stored soil water, rainfall and water applied through irrigation. A great deal of studies showed that irrigation regime of winter wheat affected on yield, water use efficiency (WUE) and pre-sowing soil moisture of following crop.

The results of the work on photosynthetic characteristics, yield and WUE of summer soybean (*Glycine max* cv. Ludou 4) under different pre-sowing soil moistures and planting patterns, as well as possible ways to improve water utilization, have been reported. The experiment was carried out from June to September in 2009 at Agronomy Experimental Station of Shandong Agricultural University (36°09'N, 117°09'E). The winter wheat experiment consisted of 3 irrigation schedules, i.e., 90 mm, 135 mm, 180 mm which were used at jointing stages (April 2, 2009), heading stages (April 24, 2009) and filling stages (May 13, 2009) respectively; the amount of irrigation was 30 mm, 45 mm and 60 mm every time. The summer soybean consisted of 3 planting patterns under the same plant population density ( $3.09 \times 10^5$  plant/hm<sup>2</sup>). The row width set at uniform row with 30 cm, narrow-wide row with (20+40) cm (row widths set at a narrow row of 20 cm and a

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201103001);“十一五”科技支撑计划重大项目(2006BAD02A09);山东省高等学校优秀青年教师国内访问学者项目经费资助(2009年)

收稿日期:2010-05-29; 修订日期:2011-01-25

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yhchen@sdaau.edu.cn

wide row of 40 cm) and ridge with (20+40) cm (double lines in ridge with 20 cm spacing, and 60 cm between ridges). The results showed that pre-sowing soil moisture of summer soybean increased with irrigation amount of winter wheat increasing, and photosynthetic function and yield were also improved. Net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, chlorophyll content index, F<sub>0</sub>, F<sub>v</sub>, ΦPS II, yield and WUE of summer soybean, for the 180 mm and 135 mm irrigation of winter wheat, were significantly higher than those of the 90 mm, but WUE of the 180 mm was significantly lower than that of the 135 mm ( $P < 0.05$ ). Compare with uniform row planting pattern and narrow-wide row planting pattern, ridge planting pattern obviously increased net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, chlorophyll content index and chlorophyll fluorescence parameters, enhanced yields and WUE.

In all the experiments, under the amount of irrigation 135 mm and 180 mm of winter wheat, yields of the ridge planting pattern of summer soybean were significantly higher than those of other treatments. Under the ridge planting pattern, The WUE of summer soybean under the amount of irrigation 180 mm of winter wheat was  $6.32 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , which lower than of the amount of irrigation 135 mm of winter wheat. Considering economic and ecological benefits. The ridge planting pattern of summer soybean was recommended under the amount of irrigation 135 mm of winter wheat, which was the optimal combination in the experiment.

**Key Words:** pre-sowing soil moisture; planting patterns; summer soybean; photosynthetic characteristics; yield

华北平原夏大豆生产,一般采用冬小麦-夏大豆一年两熟制。冬小麦生育期间需水量较大,耗水量约为400—500mm,为该地区同期降雨量的2—3倍,一般年份必须灌溉。夏大豆生长季节正值雨季,正常年份降雨量能满足其生长所需用水,一般年份不用灌溉。过去节水农业的研究多集中在一季作物上,关于上季作物灌溉制度对下季作物水分利用效率及产量影响的研究较少。已有研究证实,该区冬小麦灌溉不仅影响自身的产量和水分利用效率,还影响下茬作物播种时的土壤蓄水量(底墒),进而影响下茬作物的生长发育及产量。李全起等<sup>[1]</sup>研究表明,增加冬小麦灌水次数、灌水量以及灌水时期后移,均有利于提高夏玉米播种时底墒,并能显著提高夏玉米光合速率、蒸腾速率及水分利用效率<sup>[2]</sup>;于顺章等<sup>[3]</sup>研究发现,冬小麦灌水量与冬小麦-夏玉米全年水分利用率呈负相关。

适宜的种植方式是提高作物光合特性及产量的重要措施<sup>[4-8]</sup>。林浩等<sup>[9]</sup>研究了110 cm 垒上4行、70 cm 垒上3行、70 cm 垒上双行、45 cm 垒上双行、30 cm 垒上单行5种种植方式下大豆的光合生理特性,指出110 cm 垒上4行种植可提高叶片净光合速率、蒸腾速率、胞间CO<sub>2</sub>浓度、气孔导度,45 cm 垒上双行种植可提高群体光合能力;李瑞平等<sup>[10]</sup>研究了不同栽培模式对大豆生长动态的影响,指出垄上3行窄沟密植可增加叶面积,提高光合势;焦浩等<sup>[11]</sup>研究指出,大豆“40—20”cm 宽窄行与14.8 cm 株距组合为最佳田间种植方式。以往这些研究大多只涉及种植方式单一因子,对于底墒和种植方式两因子结合对作物光合特性的影响尚缺乏系统的研究。本试验研究了前茬冬小麦不同灌水量所造成的底墒差异与后茬夏大豆种植方式相结合对夏大豆光合特性以及产量的影响,以探讨提高冬小麦-夏大豆一年两熟全年作物产量,并实现节水的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设计

试验于2009年6—9月在山东农业大学南校区农学实验站(36°10'N, 117°09'E)水分池内进行。水分池面积为3 m×3 m,深1.5 m,四周用水泥抹面,下不封底。土壤为壤土,耕层(0—20cm)含有机质16.3 g/kg、碱解氮92.0 mg/kg、速效磷34.8 mg/kg、速效钾95.5 mg/kg。

冬小麦设置90、135、180 mm等3个灌水量处理,于拔节期(4月2日)、抽穗期(4月24日)、灌浆期(5月13日)分3次灌溉,每次灌水量占总灌水量的1/3,用水表严格控制;冬小麦6月10日收获,夏大豆6月11日按 $3.09 \times 10^5 \text{株}/\text{hm}^2$ 进行人工播种;品种为鲁豆4号,有限结荚型,生育期90 d。设置3种种植方式:30 cm 等

行距、“20+40”cm大小行、“20+40”cm垄作(垄距60 cm,垄顶宽20 cm,垄底宽40 cm,垄上双行种植,行距20 cm),4次重复,随机区组排列。夏大豆生长的6—9月份恰为山东省的雨季,降雨量为420—490 mm,能够满足夏大豆所需用水,不用灌溉。2008—2009年冬小麦生育期间降雨量为140 mm,夏大豆生育期间降雨量为476 mm,属正常情况。

## 1.2 测定项目和方法

### 1.2.1 底墒

用CNC503DR型智能中子仪于夏大豆播种时进行测定,每10 cm为一个层次,测定深度为120 cm。

### 1.2.2 净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度

用美国生产的LI-6400光合系统测定。于夏大豆分枝期(7月12日)、开花期(7月27日)、结荚期(8月12日)、鼓粒期(8月27日)和成熟期(9月12日),选择晴朗无风且光照充足的9:30—11:30,自然光源下测定夏大豆第7复叶,每个小区测定3片。

### 1.2.3 叶绿素含量指数

用叶绿素测定仪CCM-200测定。

### 1.2.4 叶绿素荧光参数

用英国Hansatech公司生产的FMS-2脉冲调制式便携式荧光仪测定。

### 1.2.5 测产和考种

2009年9月21日收获,去除小区边行及两端的植株,实收测产,测产面积为2.4 m<sup>2</sup>;每个小区取10株考种,自然风干后测株高、茎粗、分枝数、主茎及分枝有效荚数、主茎粒数和分枝粒数、百粒重等。

### 1.2.6 水分利用效率

水分利用效率WUE=Y/Eta,式中,Y为单位经济产量(kg/km<sup>2</sup>),Eta为作物耗水量(mm)。

## 1.3 气象资料与统计分析

降雨量由安装在山东省泰安市农业气象站(距实验地500 m)的ET106自动气象站监测;采用Microsoft Excel作图,DPS软件统计分析试验数据(LSD法)<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬小麦灌水量对夏大豆底墒的影响

冬小麦灌水可显著影响夏大豆播种时的土壤蓄水量(底墒)。90、135、180 mm等3种灌水条件下,0—120 cm土层底墒水储量分别为256.4、297.9、322.4,180 mm处理比135 mm处理提高了8.22%,差异不显著,比90 mm处理提高了25.74%,差异显著( $P < 5\%$ ),即夏大豆播种时的底墒随冬小麦灌水量增加而增大(表1)。

表1 夏大豆播种时0—120 cm不同层次蓄水量/mm

Table 1 Soil water storage (0—120 cm) at summer soybean-sown

冬小麦灌水量/mm Irrigation of winter wheat	底墒 Pre-sowing soil moisture			
	0—40 cm	40—80 cm	80—120 cm	0—120 cm
90	72.4c	77.3b	106.7a	256.4b
135	87.7b	91.5a	118.7a	297.9a
180	100.4a	102.7a	119.3a	322.4a

0—40 cm,40—80 cm和80—120 cm为土层深度;同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )

### 2.2 底墒和种植方式对夏大豆净光合速率、蒸腾速率的影响

底墒和种植方式可明显影响夏大豆净光合速率(图1)。测定时期内,90、135、180 mm等3种处理夏大豆净光合速率平均值分别为15.96、17.53、18.54  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,即夏大豆净光合速率随底墒的增加而逐渐增大,135 mm和180 mm处理比90 mm处理分别提高了9.84%和16.17%,差异均显著( $P < 5\%$ ),135 mm和180 mm处理间差异不显著( $P < 5\%$ )。夏大豆等行距、大小行、垄作3种植方式净光合速率平均值分别为

16.94、16.84、18.25  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 其中, 垄作比等行距、大小行分别高7.73%和8.37%, 可见, 垄作能明显提高净光合速率。不同底墒间夏大豆净光合速率最大差值为 $2.58 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 不同种植方式间最大差值为 $1.41 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 表明底墒对夏大豆净光合速率的影响比种植方式明显。同时, 两因素方差分析表明, 底墒与种植方式对夏大豆净光合速率存在明显的互作效应( $F=8.78^{**}$ )。

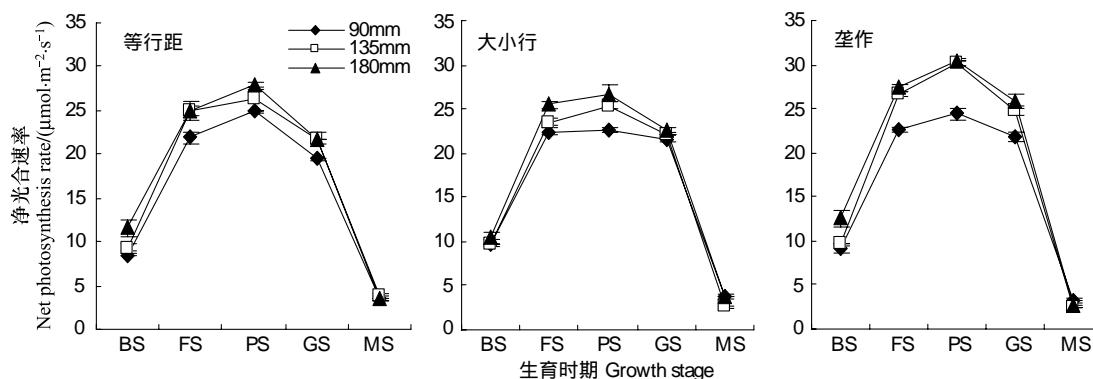


图1 底墒和种植方式对夏大豆净光合速率的影响

Fig. 1 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on net photosynthesis rate of summer soybean

BS: 分枝期 Branching stage; FS: 开花期 Flowering stage; PS: 结荚期 Podding stage; GS: 鼓粒期 Graining stage; MS: 成熟期 Maturing stage; 90 mm, 135 mm 和 180 mm 是冬小麦灌溉量

夏大豆蒸腾速率于开花期达到最高峰后缓慢降低, 鼓粒期后迅速降低<sup>[13]</sup>(图2)。测定时期内, 90、135、180 mm 等3种灌水处理夏大豆蒸腾速率平均值分别为 $8.21$ 、 $8.76$ 、 $9.57 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 差异均显著( $P < 5\%$ ), 表明底墒的增加可显著提高夏大豆的蒸腾速率。等行距、大小行、垄作3种植方式下, 夏大豆蒸腾速率平均值分别为 $8.83$ 、 $8.66$ 、 $9.04 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 其中, 垄作比等行距、大小行分别提高2.38%和4.39%, 差异显著( $P < 5\%$ ), 表明垄作也可显著提高夏大豆的蒸腾速率。不同底墒间夏大豆蒸腾速率最大差值为 $1.36 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 不同种植方式间最大差值为 $0.38 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 说明底墒对夏大豆蒸腾速率的影响也比种植方式明显。此外, 方差分析表明, 底墒与种植方式对夏大豆蒸腾速率也存在明显的互作效应( $F=9.29^{**}$ )。

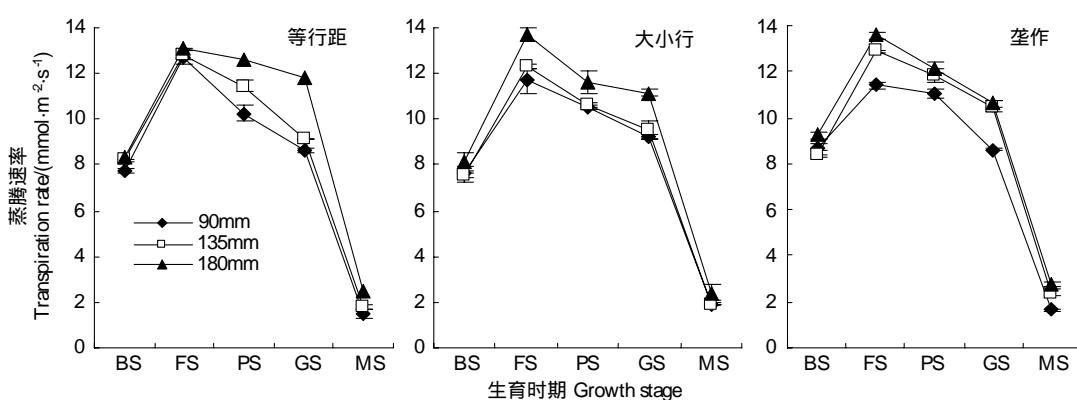


图2 底墒和种植方式对夏大豆蒸腾速率的影响

Fig. 2 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on transpiration rate of summer soybean

### 2.3 底墒和种植方式对夏大豆叶片气孔导度、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度的影响

气孔是CO<sub>2</sub>和水分交换的通道, 其行为同时控制着叶片的光合作用与蒸腾作用<sup>[14]</sup>。由图3可以看出, 测定时期内, 90、135、180 mm 等3种灌水处理夏大豆叶片气孔导度平均值分别为 $0.708$ 、 $0.807$ 、 $0.840 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 即气孔导度随底墒的增加而逐渐增大。135 mm 和 180 mm 处理比 90 mm 处理分别提高了13.98%和18.64%, 达显著差异, 但135 mm 和 180 mm 处理间差异不显著( $P < 5\%$ )。夏大豆等行距、大小行、垄作3种

种植方式叶片气孔导度平均值分别为 $0.703\text{、}0.700\text{、}0.921\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,其中,垄作比等行距、大小行分别高31.01%和31.57%,差异极显著( $P < 1\%$ ),即垄作能够显著提高叶片气孔导度。不同底墒间夏大豆叶片气孔导度最大差值为 $0.132\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,不同种植方式间最大差值为 $0.221\text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,即底墒对夏大豆叶片气孔导度的影响不如种植方式明显。

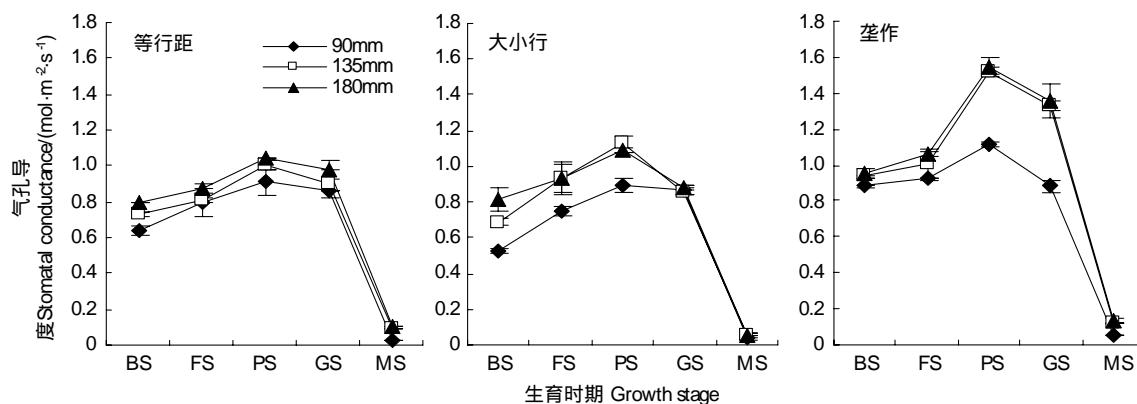


图3 底墒和种植方式对夏大豆叶片气孔导度的影响

Fig. 3 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on stomatal conductance of summer soybean

由图4可以看出,测定时期内,90、135、180 mm等3种处理夏大豆叶片细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度平均值分别为264、274、282 μmol/mol,即夏大豆叶片细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度随底墒的增加而增大。等行距、大小行、垄作3种植方式细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度平均值分别为274、269、277 μmol/mol,表明垄作有助于夏大豆叶片细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度的提高。不同底墒间夏大豆叶片细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度最大差值为18 μmol/mol,不同种植方式间最大差值为8 μmol/mol,可见,底墒对夏大豆叶片细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度的影响比种植方式明显。

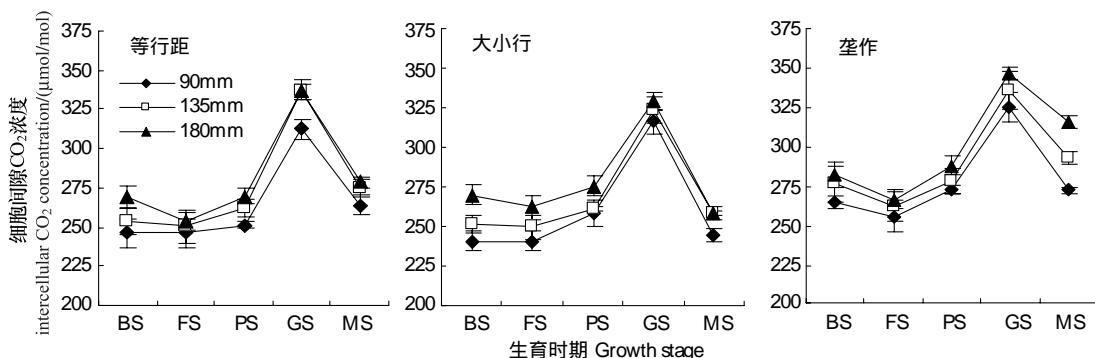


图4 底墒和种植方式对夏大豆细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度的影响

Fig. 4 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on intercellular CO<sub>2</sub> concentration of summer soybean

## 2.4 底墒和种植模式对夏大豆叶绿素含量指数的影响

夏大豆各处理叶绿素含量指数随生育期的推进呈单峰曲线变化(图5),结荚期达到最大值,与净光合速率变化规律性基本一致。测定时期内,90、135、180 mm等3种植条件下,夏大豆叶绿素含量指数平均值分别为21.02、23.13、23.94,即夏大豆叶绿素含量指数随冬小麦灌水量增加而增大。等行距、大小行、垄作3种植方式下,夏大豆叶绿素含量指数平均值分别为21.71、19.69、26.69,垄作比等行距和大小行分别提高了22.94%和35.55%,差异显著( $P < 5\%$ ),表明垄作可维持较高的叶绿素含量指数,有利于光合作用的提高。不同底墒间夏大豆叶绿素含量指数最大差值为2.92,不同种植方式间最大差值为7.00,表明底墒对夏大豆叶绿素含量指数的影响不如种植方式明显。

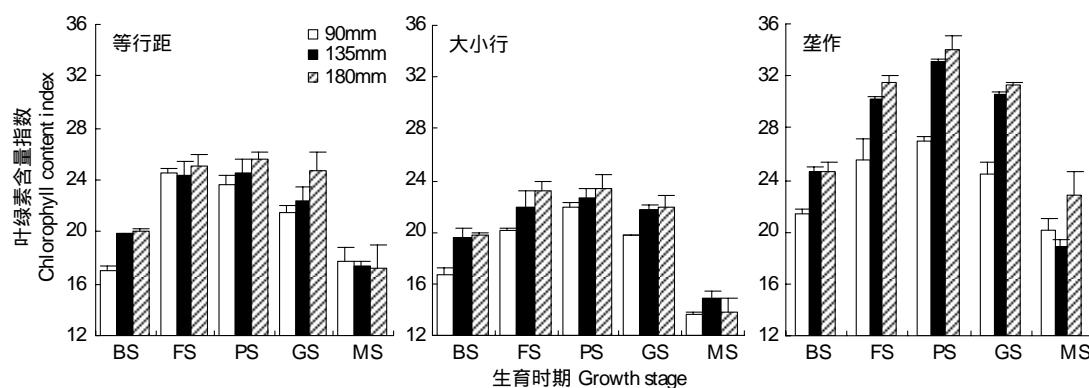


图 5 底墒和种植方式对夏大豆叶绿素含量指数的影响

Fig. 5 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on chlorophyll content index of summer soybean

## 2.5 底墒和种植模式对夏大豆叶绿素荧光参数的影响

在荧光诱导动力学的测定中,固定荧光( $F_0$ )反映原初电子受体全部氧化时的荧光水平;可变荧光( $F_v$ )反映PS II第一稳定电子受体还原情况;最大荧光( $F_m$ )反映PS II的电子传递情况。由表2可得,夏大豆开花、结荚、鼓粒3个时期内,90、135、180 mm等3种处理 $F_0$ 平均值分别为78、86、91, $F_v$ 分别为406、439、455,即夏大豆光化学活性随底墒的增加而提高,135 mm和180 mm处理比90 mm处理 $F_0$ 分别显著提高10.26%和16.67%, $F_v$ 分别显著提高8.13%和12.07%( $P < 5\%$ )。3种种植方式下,垄作处理 $F_0$ 平均值比等行距、大小行处理分别提高了7.11%和12.92%,即垄作有利于夏大豆在光反应中保持较高的光化学活性。等行距和垄作处理 $F_v$ 平均值比大小行处理分别高8.39%和9.37%,表明垄作和等行距种植均可使夏大豆光化学反应阶段的电子受体保持较好的还原性,利于光能向化学能转化。等行距和垄作处理间 $F_m$ 平均值相差不大,表明两者的PS II反应中心电子传递情况基本相同。

表2 底墒和种植方式对夏大豆 $F_0$ 、 $F_v$ 及 $F_m$ 的影响Table 2 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on  $F_0$ ,  $F_v$  and  $F_m$  in summer soybean

种植方式 Planting patterns	冬小麦灌水量/mm Irrigation of winter wheat	开花期 Flowering stage			结荚期 Podding stage			鼓粒期 Graining stage		
		$F_0$	$F_v$	$F_m$	$F_0$	$F_v$	$F_m$	$F_0$	$F_v$	$F_m$
		90	83c	443c	557b	87c	506b	580b	56c	294b
Uniform row	135	87b	473b	564ab	92b	542a	602b	78b	359a	428a
	180	94a	499a	590a	97a	547a	653a	84a	366a	439a
大小行 row	90	74b	392a	444b	85b	412b	484c	63c	364b	394b
	135	85a	369a	459b	88ab	466a	519b	68b	400a	464a
Ridge	180	88a	383a	559a	91a	495a	574a	79a	402a	470a
	90	92b	427c	522c	92b	477b	565c	68c	340a	382b
	135	96a	462b	555b	101a	536a	608b	75b	347a	423ab
	180	97a	497a	597a	101a	539a	637a	89a	365a	444a

$\Phi_{PS II}$ 反映光照条件下光系统II反应中心部分关闭情况下的实际光化学效率。而 $F_v/F_m$ 反映暗适应下光系统II最大光化学效率或原初光能转化率。底墒对夏大豆 $\Phi_{PS II}$ 、 $F_v/F_m$ 可产生明显影响(表3)。夏大豆开花、结荚、鼓粒3个时期内,90、135、180 mm等3种处理 $\Phi_{PS II}$ 平均值分别为0.510、0.626、0.655,即夏大豆的实际光化学效率随底墒的增加而增大,135 mm和180 mm处理分别比90 mm处理显著提高了22.75%和28.43%,且135 mm和180 mm处理间差异不显著( $P < 5\%$ ),表明180 mm处理较135 mm处理对 $\Phi_{PS II}$ 影响效果并不明显。90、135、180 mm处理夏大豆的 $F_v/F_m$ 平均值分别为0.820、0.835、0.840,其中,180 mm处

理比90 mm和135 mm处理分别提高2.44%和0.60%,表明底墒增加可提高夏大豆原初光能转化率。3种植方式 $\Phi_{PS\ II}$ 、 $Fv/Fm$ 平均值表现为垄作>等行距>大小行,等行距和垄作显著高于大小行( $P < 5\%$ ),即与大小行相比,垄作和等行距均可提高光能转化为化学能的能力。不同底墒间夏大豆 $\Phi_{PS\ II}$ 、 $Fv/Fm$ 最大差值分别为0.145、0.020,不同种植方式间最大差值分别为0.140、0.040,因此,底墒对夏大豆 $\Phi_{PS\ II}$ 的影响比种植方式明显,对 $Fv/Fm$ 的影响不如种植方式明显。

表3 底墒和种植方式对夏大豆 $\Phi_{PS\ II}$ 和 $Fv/Fm$ 的影响Table 3 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on  $\Phi_{PS\ II}$  and  $Fv/Fm$  of summer soybean

种植方式 Planting patterns	冬小麦灌水量/mm Irrigation of winter wheat	开花期 Flowering stage		结荚期 Podding stage		鼓粒期 Graining stage	
		$\Phi_{PS\ II}$	$Fv/Fm$	$\Phi_{PS\ II}$	$Fv/Fm$	$\Phi_{PS\ II}$	$Fv/Fm$
等行距	90	0.534b	0.802c	0.547b	0.834b	0.476c	0.827b
Uniform row	135	0.567b	0.820b	0.660a	0.847ab	0.542b	0.836ab
	180	0.663a	0.838a	0.692a	0.858a	0.555a	0.842a
大小行	90	0.384b	0.795b	0.435c	0.768c	0.378b	0.815b
Wide-narrow row	135	0.560a	0.810ab	0.609b	0.822b	0.587a	0.803c
	180	0.568a	0.818a	0.687a	0.836a	0.590a	0.826a
垄作 Ridge	90	0.627b	0.826b	0.667b	0.862b	0.543b	0.846a
	135	0.690a	0.839a	0.727a	0.871a	0.684b	0.850a
	180	0.701a	0.840a	0.732a	0.873a	0.695a	0.854a

## 2.6 底墒和种植方式对夏大豆产量及产量构成因素的影响

两因素方差分析结果表明,夏大豆产量在底墒、种植方式及两者互作间差异均极显著( $F=83.00^{**}$ , $F=119.34^{**}$ , $F=14.62^{**}$ ),由此说明底墒、种植方式均能明显影响夏大豆产量,且底墒和种植方式间存在明显的互作效应。由表4可得,90 mm、135 mm、180 mm处理夏大豆产量分别为 $1486 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 $2097 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 $2128 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,即随底墒增加夏大豆产量逐渐提高,135 mm和180 mm处理分别比90 mm处理显著提高41.12%和43.20%,但135 mm和180 mm处理间差异不显著( $P < 5\%$ ),表明135 mm和180 mm处理均能使夏大豆保持较高产量。等行距、大小行、垄作3种植方式下,夏大豆产量平均值分别为1895、1606、2210  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,垄作比等行距和大小行

表4 底墒和种植方式对夏大豆产量及产量构成因素的影响

Table 4 Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on yield and yield components of summer soybean

种植方式 Planting patterns	冬小麦灌水量/mm Irrigation of winter wheat	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem thickness	分枝数 Number of branch	主茎有效荚数 Productive pod number of main stem	主茎粒数 Seed number of main stem	分枝有效荚数 Productive pod number of branch	分枝粒数 Seednumber of branch	百粒重/g 100-seed weight	产量 /( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) Yield	水分利用效率 /( $\text{kg}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) WUE
等行距	90	61.6b	0.56b	2.7b	20.7b	38.1c	6.2b	16.3b	16.0b	1518b	4.52c
Uniform row	135	65.6ab	0.57ab	3.1a	21.9a	39.7b	11.6a	22.1a	16.3a	2023a	5.48a
	180	66.9a	0.58a	3.2a	22.5a	42.9a	11.9a	24.3a	16.4a	2111a	5.12b
大小行	90	61.2b	0.55b	2.7c	18.1c	33.8b	5.1c	14.3c	16.0b	1222b	3.67c
Wide-narrow row	135	65.0ab	0.57a	3.5b	18.8b	37.5a	7.8a	20.5b	16.1ab	1784a	4.70a
	180	66.8a	0.57a	3.7a	19.0a	38.4a	7.4b	22.5a	16.3a	1812a	4.58b
垄作	90	60.1b	0.67b	3.9b	20.6b	42.7c	11.7b	24.3b	16.3a	1717b	5.53c
Ridge	135	66.6a	0.69a	4.5a	23.4a	43.7b	13.2a	27.3a	16.4a	2453a	6.79a
	180	67.5a	0.69a	4.5a	23.5a	44.7a	13.4a	27.6a	16.5a	2459a	6.32b

分别提高 16.62% 和 37.61%, 差异显著( $P < 5\%$ ), 表明垄作有利于提高夏大豆产量。不同底墒间夏大豆产量最大差值为  $642 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 不同种植方式间最大差值为  $604 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 说明冬小麦灌水对夏大豆产量影响比种植方式明显。

从产量构成因素看, 夏大豆荚数、粒数和百粒重均随底墒的增加而增大, 垄作荚数、粒数和百粒重高于等行距、大小行, 表明提高底墒、采用垄作均能提高夏大豆荚数、粒数和百粒重。产量构成因素与产量之间回归分析表明, 夏大豆主茎荚数与产量呈极显著正相关( $r=0.871^{**}$ ), 主茎粒数与产量呈极显著正相关( $r=0.861^{**}$ ), 分枝荚数与产量呈极显著正相关( $r=0.890^{**}$ ), 分枝粒数与产量呈极显著正相关( $r=0.919^{**}$ ), 百粒重与产量呈极显著正相关( $r=0.893^{**}$ )。由此看出, 种植方式和底墒是通过提高产量构成因素来提高产量, 主茎荚数、主茎粒数、分枝荚数、分枝粒数、百粒重五者中, 分枝粒数对产量的影响较大。

## 2.7 底墒和种植方式对夏大豆水分利用效率的影响

由表 4 可以看出, 90、135、180 mm 3 种处理条件下, 夏大豆 WUE 平均值分别  $4.57$ 、 $5.66$ 、 $5.34 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , 即 135 mm 灌水处理较 90 mm 和 180 mm 灌水处理分别提高 23.85% 和 5.99%, 差异显著( $P < 5\%$ ), 表明适当的提高底墒水含量可显著提高夏大豆水分利用效率。3 种种植方式下夏大豆 WUE 表现为垄作 > 等行距 > 大小行, 垄作 WUE 平均值分别比等行距和大小行高 23.31% 和 43.84%, 表明垄作能够显著提高夏大豆 WUE。不同底墒间夏大豆 WUE 最大差值为  $1.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , 不同种植方式间最大差值为  $1.89 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , 表明底墒对夏大豆 WUE 影响不如种植方式明显。此外, 底墒与种植方式对夏大豆水分利用效率的影响存在明显的互作效应。

## 3 讨论

前人研究表明, 土壤底墒可作为作物生长的启动因子, 与作物光合特性、产量及水分利用效率有密切的关系<sup>[15-16]</sup>。本研究中, 冬小麦 135 mm 和 180 mm 处理夏大豆净光合速率、气孔导度及叶绿素含量指数均显著高于 90 mm 处理, 但 135 mm 与 180 mm 处理之间相差不大。根据气孔最优调节理论, 净光合速率下降时, 气孔导度也将变小<sup>[17]</sup>, 135 mm 较 180 mm 处理虽净光合速率有所降低, 但蒸腾速率也在下降。因此, 135 mm 处理水分利用效率并没有降低。本研究还发现, 随底墒供水量变化, 夏大豆光合作用各项生理指标相互影响且相关度高, 不同处理间夏大豆净光合速率与蒸腾速率、气孔导度、细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度均呈极显著正相关。可见, 通过调控底墒促使蒸腾速率、气孔导度和细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度向有利于提高光合速率方向变化, 是提高夏大豆净光合速率和水分利用率的有效措施。垄作既能改善作物群体受光状况, 提高光合性能, 又能促使根系下扎, 有效利用中下层底墒。因此, 采用垄作开发利用底墒在生产上是可行的。

叶绿素含量是反映作物叶片光合能力和衰老状况的重要指标<sup>[18]</sup>。本试验中, 夏大豆叶绿素含量指数呈先增后减趋势, 与前人研究结果一致<sup>[19]</sup>; 不同处理间叶绿素含量指数与净光合速率呈显著正相关。

Maxwell 研究指出叶绿素荧光能有效探测作物生长发育与营养状况的信息<sup>[20-21]</sup>, 易随外界环境的变化而变化<sup>[22-25]</sup>, 比净光合速率更能反映光合作用的真实行为。本研究中, 提高底墒与采用垄作均可提高  $F_0$ 、 $F_m$ 、 $\Phi_{PSII}$  及  $F_v/F_m$ , 有利于光能向化学能转化, 为碳的同化提供更多能量, 但在 135 mm 处理基础上再增加灌水量, 并不能显著提高夏大豆  $F_0$ 、 $F_v$ 、 $F_m$ 、 $\Phi_{PSII}$  及  $F_v/F_m$ , 究其原因, 可能是本试验条件下 135 mm 处理的底墒和生育期间降雨已基本能够满足夏大豆电子传递、光能转化等光合生理过程的水分要求, 180 mm 处理的底墒水分优势减弱或消失。

冬小麦灌水不仅影响小麦自身的产量, 而且还显著影响下茬夏玉米的光合作用及产量<sup>[1-3, 26]</sup>。本研究发现, 冬小麦增加灌水量和夏大豆采用垄作均可提高夏大豆产量, 但 180 mm 处理较 135 mm 处理增产效果不明显。冬小麦 180 mm 灌水量+夏大豆垄作、冬小麦 135 mm 灌水量+夏大豆垄作产量较高, 且二者差异不显著( $P < 5\%$ ), 由于前者水分利用率为  $6.32 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , 比后者低 7.44%, 综合考虑经济效益和生态效益, 推荐冬小麦生育期灌 135 mm, 夏大豆垄作为最优栽培模式。

**References:**

- [ 1 ] Li Q Q, Chen Y H, Han H F, Yu S Z, Yu Q, Luo Y, Ouyang Z, Wang J S. Effects of different soil moisture before sowing on physiologic characters and yield of summer maize. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2004, 20(6) : 116-119.
- [ 2 ] Li Q Q, Fang Q X, Chen Y H, Yu S Z, Wang J S. Effects of different soil moistures before sowing on water consumption characteristics and yield of summer maize. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(2) : 93-96.
- [ 3 ] Yu S Z, Chen Y H, Li Q Q, Zhou X B, Fang Q X, Luo Y. Feasible study on water-saving effect of wheat-maize rotation pattern. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8) : 2523-2531.
- [ 4 ] Fang Q X, Chen Y H, Li Q Q, Yu S Z, Yu S L, Dong Q Y, Luo Y, Yu Q, Ouyang Z. Effects of irrigation on photosynthate supply and conversion and related enzymes activity during grain filling period. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(11) : 1113-1118.
- [ 5 ] Wang F H, Yang H B, Xu C Z, Li S D, Si J S. Effect of raised bed planting on plant morphological characters and grain yield of winter wheat. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(6) : 1038-1040.
- [ 6 ] Ren X L, Jia Z K, Chen X L, Han J, Han Q F, Ding R X. Effects of ridge and furrow planting for rainfall harvesting on photosynthetic characteristics and yield in corn in semi-arid regions. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(5) : 838-845.
- [ 7 ] Limon-Ortega A, Sayre K D, Francis C A. Wheat nitrogen use efficiency in a bed planting system in northwest Mexico. Agronomy Journal, 2000, 92(2) : 303-308.
- [ 8 ] Panigrahi B, Panda S, Raghuwanshi N. Potato water use and yield under furrow irrigation. Irrigation Science, 2001, 20(4) : 155-163.
- [ 9 ] Lin H, Liu L J, Wu J J, Zhong P, Lin W G, Dong D J, Ma Y S, Liu X L, Cheng L L, Wei L, Liu D S. Effects of different cultivation patterns on assimilate accumulation, photosynthetic characteristics and yield formation in soybean. Soybean Science, 2009, 28(3) : 456-460.
- [10] Li R P, Li Z G, Wang G P, Ma R L, Liu Y P, Su H. Effect of different cultivation patterns on growth tendency, dry matter accumulation and distribution of soybean. Soybean Science, 2008, 27(6) : 979-982, 987-987.
- [11] Jiao H, Ji Y M, Zhang C L. Effect of planting pattern and density on soybean yield and other traits. Crops, 2008, (5) : 50-53.
- [12] Tang Q Y, Feng M G. Utility Statistics Analysis and Date Processing System. Beijing: Science Press, 2002: 333-339, 367-373.
- [13] Wei Y X, Zhang W E, Yan C R. Influences of conservation tillage technologies on the photosynthesis, yield and water use efficiency of soybean. China Rural Hydraulic Engineering, 2009, (2) : 67-69.
- [14] Wang H X, Liu C M. Experimental study on crop photosynthesis, transpiration and high efficient water use. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(10) : 1633-1636.
- [15] Liu G S, Guo A H, An S Q, Lu H Q, Bai Y M, Wen M. Effect of available soil water at planting on growth of root, canopy and Soil water use of winter wheat in field. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(3) : 149-154.
- [16] Li F M, Liu X L, Wang J. Effects of pre-sowing irrigation and P fertilization on spring wheat yield information. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(11) : 1941-1946.
- [17] Shangguan Z P. Physiological mechanism of highly efficiency use of limited water supply by winter wheat. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(1) : 567-569.
- [18] Zhang Q Y, Li F D, Liu M Y. Changing laws of chlorophyll content and photosynthetic rate in winter wheat leaves. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(3) : 95-98.
- [19] Wu X L, Gao J L, Wang Z G, Li L J, Zhang B G, Huang Z G, Huang F M, Wang J M, Li S F. Effect of irrigation at different growth stages on water use efficiency and leaf physiological characteristics of soybean. Soybean Science, 2007, 26(5) : 695-699.
- [20] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(345) : 659-668.
- [21] Zhang W F, Gou L, Wang Z L, Li S K, Yu S L, Cao L L. Effect of nitrogen on chlorophyll fluorescence of leaves of high-yielding cotton in Xinjiang. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(8) : 893-898.
- [22] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42: 313-349.
- [23] Van Kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll nomenclature in plant stress physiology. Photosynthesis Research, 1990, 25 : 147-150.
- [24] Herppich W B, Peckmann K. Responses of gas exchange, photosynthesis, nocturnal acid accumulation and water relations of *Aptenia cordifolia* to short-term drought and rewetting. Journal of Plant Physiology, 1997, 150(4) : 467-474.
- [25] Zhang Q Y, Li F D, Liu M Y, Wang G. Chlorophyll a fluorescence parameters of flag leaf of the wheat and seed grouting under different water treatments. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2003, 18(1) : 26-28.
- [26] Yi Z X, Wang P, Chen P P, Tu N M. Response of water use efficiency of different summer maize cultivars to nitrogen fertilizer and precipitation.

Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(1): 51-57.

#### 参考文献:

- [1] 李全起, 陈雨海, 韩慧芳, 于舜章, 于强, 罗毅, 欧阳竹, 王吉顺. 底墒差异对夏玉米生理特性及产量的影响. 中国农学通报, 2004, 20(6): 116-119.
- [2] 李全起, 房全孝, 陈雨海, 于舜章, 王吉顺, 罗毅, 于强. 底墒差异对夏玉米耗水特性及产量的影响. 农业工程学报, 2004, 20(2): 93-96.
- [3] 于舜章, 陈雨海, 李全起, 周勋波, 房全孝, 王吉顺, 刘恩明, 罗毅. 冬小麦-夏玉米两熟农田节水效应的可行性. 生态学报, 2006, 26(8): 2523-2531.
- [4] 房全孝, 陈雨海, 李全起, 于舜章, 余松烈, 董庆余, 罗毅, 于强, 欧阳竹. 灌溉对冬小麦灌浆期光合产物供应和转化及有关酶活性的影响. 作物学报, 2004, 30(11): 1113-1118.
- [5] 王法宏, 杨洪斌, 徐成忠, 李升东, 司纪升. 垄作栽培对小麦植株形态和产量性状的影响. 作物学报, 2007, 33(6): 1038-1040.
- [6] 任小龙, 贾志宽, 陈小莉, 韩娟, 韩清芳, 丁瑞霞. 半干旱区沟垄集雨对玉米光合特性及产量的影响. 作物学报, 2008, 34(5): 838-845.
- [7] 林浩, 刘丽君, 吴俊江, 钟鹏, 林蔚刚, 董德建, 马岩松, 刘鑫磊, 程莉莉, 魏峰, 刘德生. 不同栽培模式对大豆同化物积累和光合生理特性与产量形成的影响. 大豆科学, 2009, 28(3): 456-460.
- [8] 李瑞平, 李志刚, 王贵平, 马日亮, 刘玉平, 苏辉. 不同栽培模式对大豆生长动态及干物质积累分配的影响. 大豆科学, 2008, 27(6): 979-982, 987-987.
- [9] 焦浩, 纪永民, 张存岭. 种植方式和密度对大豆产量和单株性状的影响. 作物杂志, 2008, (5): 50-53.
- [10] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其数据处理系统. 北京: 科学出版社, 2002: 333-339, 367-373.
- [11] 魏永霞, 张文娥, 严昌荣. 保护性耕作技术对大豆光合特性、产量及水分利用效率的影响. 中国农村水利水电, 2009, (2): 67-69.
- [12] 王会肖, 刘昌明. 作物光合、蒸腾与水分高效利用的试验研究. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1633-1636.
- [13] 刘庚山, 郭安红, 安顺清, 吕厚荃, 白月明, 温明. 底墒对小麦根冠生长及土壤水分利用的影响. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 149-154.
- [14] 李凤民, 刘小兰, 王俊. 底墒与磷肥互作对春小麦产量形成的影响. 生态学报, 2001, 21(11): 1941-1946.
- [15] 上官周平. 冬小麦对有限水分高效利用的生理机制. 应用生态学报, 1999, 10(5): 567-569.
- [16] 张秋英, 李发东, 刘孟雨. 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 95-98.
- [17] 武向良, 高聚林, 王志刚, 李丽君, 张白鸽, 黄振刚, 黄复民, 王建明, 李树芳. 不同时期灌溉对大豆叶片生理特性及水分利用效率的影响. 大豆科学, 2007, 26(5): 695-699.
- [18] 张旺锋, 勾玲, 王振林, 李少昆, 余松烈, 曹连蕾. 氮肥对新疆高产棉花叶片叶绿素荧光动力学参数的影响. 中国农业科学, 2003, 36(8): 893-898.
- [19] 张秋英, 李发东, 刘孟雨, 王纲. 不同水分条件下小麦旗叶叶绿素a荧光参数与子粒灌浆速率. 华北农学报, 2003, 18(1): 26-28.
- [20] 易镇邪, 王璞, 陈平平, 屠乃美. 不同夏玉米品种水分利用效率对氮肥与降水量的响应. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 51-57.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 12 June ,2011 ( Semimonthly )

## CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture .....	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape .....	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province .....	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir ( <i>Cunninghamia lanceolata</i> ) seedlings .....	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China .....	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting .....	GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil .....	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China .....	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River .....	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains .....	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert .....	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanning, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i> .....	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO <sub>2</sub> efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China .....	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China .....	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method .....	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River .....	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn .....	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China .....	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoxi River, China .....	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway .....	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment .....	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern .....	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau .....	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L. ....	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China .....	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean .....	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin .....	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature .....	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress .....	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
<b>Review and Monograph</b>	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology .....	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
<b>Scientific Note</b>	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain .....	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system .....	TANG Lina, HUANG Juecong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province .....	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine ( <i>Pinus elliottii</i> ) litter on the structure and function of the soil microbial community .....	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro .....	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	<b>11764</b>	1	生态学报	<b>1.812</b>
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

\*《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次, 全国排名第 1; 影响因子 1.812, 全国排名第 14; 第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

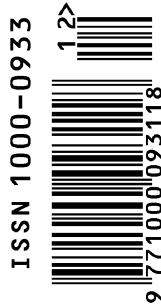
编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 31 卷 第 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 12 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	Edited by Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	Sponsored by Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科学出版社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科学出版社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	Foreign China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号	



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元