

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

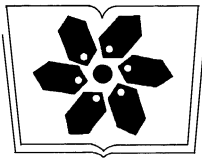
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 7 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚 伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘 曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘 琳,赵 晖,清 华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗 毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施 翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭 峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温 璐,董世魁,朱 磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董 丹,倪 健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王 华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐 林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡 剑,姜 东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张 彪,金 鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王 兵,魏江生,胡 文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁 秀,马克明,王 德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘 杰,王 涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁 帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张 阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马 晨,周顺桂,庄 莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王 惠,刘研萍,陶 莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白 杨,欧阳志云,郑 华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵 文,王雅倩,魏 杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙 耀,赵从明,等 (2046)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

冬小麦种植模式对水分利用效率的影响

齐 林, 陈雨海*, 周勋波, 刘 岩, 高会军

(山东农业大学农学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要: 在同一种植密度下, 设 3 种植模式, 包括 25 cm 等行距平作、“20+40”大小行平作和“20+40”沟播。研究了冬小麦沟播和平作种植对产量及水分利用效率的影响。结果表明, “20+40”沟播产量显著高于平作; 叶片相对含水量 (RWC)、水势 (Ψ_w) 和叶片水平水分利用效率随生育进程的推进呈整体下降趋势, 其中, 沟播处理 RWC 、 Ψ_w 和叶片水平水分利用效率的平均值均显著高于等行距和“20+40”平作处理; 另外, “20+40”沟播还能明显提高冬小麦田土壤贮水量, 减少总耗水量, 从而提高水分利用效率。灌水增加了冬小麦产量和叶片相对含水量等各水分指标, 降低了水分利用效率, 减小了各种种植模式间差异。“20+40”沟播在灌水 135 mm 条件下既保障产量又较等行距节水 25%。由此表明, 冬小麦“20+40”沟播可改善叶片水分状况, 提高水分利用效率, 增加作物产量。

关键词: 冬小麦; 种植模式; 水分特征; 水分利用效率

Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat

QI Lin, CHEN Yuhai*, ZHOU Xunbo, LIU Yan, GAO Huijun

Agronomy College of Shandong Agricultural University / National Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, China

Abstract: One approach to improve winter wheat yield and water use efficiency (WUE) is to identify appropriate crop planting pattern. The aims of this research were to compare planting pattern in wheat, evaluating yield and WUE . The experiment was carried out from October in 2008 to June in 2009 at Agronomy Experimental Station of Shandong Agricultural University. The winter wheat experiment consisted of 3 planting patterns and 3 irrigation schedules under the same plant population density (1.8×10^6 plant/hm²). Row spacing were 25 cm (A), 20 + 40 cm for flat planting pattern (B) and 20 + 40 cm (double lines in the furrow with 20 cm spacing, and 40 cm between furrows) for furrow (C). The three irrigation schedules were used at jointing, heading and filling stages respectively; the amount of irrigation was 30 mm, 45 mm and 60 mm every time. Changes in relative water content (RWC), water potential (Ψ_w), WUE of leaves, soil water storage, yield and WUE were investigated in field experiment during the growing seasons of winter wheat. The results showed that yield leaf water character, and WUE were affected by the planting patterns of winter wheat. Yields furrow planting pattern were significantly higher than those of flat planting patterns ($P < 0.05$). The yield had a positive correlation with relative water content ($R = 0.902^{**}$) and water potential ($R = 0.571$). The relative water content (RWC), water potential (Ψ_w) and WUE of leaves decreased with growth stage, and the average of RWC , Ψ_w and WUE of furrow planting pattern were significantly higher than those of flat planting patterns ($P < 0.05$). Moreover, furrow planting pattern obviously increased soil water storage and WUE , and reduced the water consumption. The irrigation enhanced yields, improved water characters, decreased WUE and differ in different platting patterns. Planting pattern and irrigation not only significantly effected WUE of winter wheat, but also had interaction effects. The furrow planting pattern not only had high yield, but also saved water 25% compared with flat planting patterns. These results indicated that the winter wheat of furrow planting pattern is the best planting pattern in the amount of irrigation 135 mm, because it improved leaf water conditions, increased

基金项目: “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(2009年); 山东省中青年科学家科研奖励基金(BS2009NY008); 山东省高等学校科技计划项目(J09LC03)

收稿日期: 2010-03-11; 修订日期: 2010-05-05

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

yields and *WUE*.

Key Words: winter wheat; planting patterns; water character; water use efficiency

近年来,生产上冬小麦的种植方式出现了多元化。据统计,仅山东省冬小麦的种植方式就有近 300 种^[1]。目前,秸秆覆盖、沟播、垄作及非等行距种植模式在生产上已经有了广泛应用^[2-4]。水是作物生长过程中最重要的资源因子,是溶解、运送和分配养分的重要载体^[5]。黄淮海地区水分胁迫是冬小麦产量限制的重要因子,前人研究认为叶水势和相对含水量是反映作物体内水分亏缺最灵敏的生理指标^[6-7]。受到水分胁迫的植物其水势会发生明显下降,同时,渗透调节能力的增强有利于作物抗性的提高和生理功能的维持,尤其在干旱条件下与产量形成密切关系^[8-9]。

沟播及垄作条件下,由于地表形状的改变,灌溉水仅局限于沟内,蒸发面也主要局限在沟内,从而使无效蒸发得以有效控制,最终蒸发量减少。于舜章、吴巍等研究表明沟播麦田土壤贮水量要明显高于垄作麦田,且与垄作相比,灌溉对沟播处理各层次的影响更大^[10-11]。李全起研究表明,“20+40”集中种植模式的棵间蒸发强度均小于等行距处理,尤以沟播最显著^[12]。冬小麦随灌水量的加大耗水系数、耗水量增大,灌溉增加了农田蒸散,降低了蒸腾与蒸发的比例,导致灌溉水分利用效率降低;限量灌水不但能提高产量,还能一定程度上提高水分利用率^[13-14]。以往对于冬小麦种植模式的研究多与不同灌溉时期相结合,而且关于种植模式与灌溉量对冬小麦叶片水分特征的研究较少。本文采用不同的种植模式与相同时期不同灌溉量相结合,分析种植方式与灌溉量对冬小麦旗叶水分特征以及产量和水分利用效率的影响,探讨种植方式节水的可行性,研究种植模式与水分利用的关系,以期为冬小麦节水种植模式提供一定的理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与设计

试验于 2008—2009 年在山东农业大学农学实验站水分池内进行,水分池面积:3m×3m。试验地位于泰安市南邻(36°10'N,117°09'E),土壤类型为壤土,土壤耕层(0—20cm)有机质含量 16.3g/kg,碱解氮 92.0mg/kg,速效磷 34.8mg/kg,速效钾 95.5mg/kg;0—60cm 土层的 pH6.9,容重 1.50g/cm³,田间持水量 38.6%。

试验设 3 种植方式,3 种灌溉处理。3 种植模式分别为平作 25cm 等行距(A)、平作“20+40”(B)和沟播“20+40”(C)(沟底宽 20cm,沟顶宽 40cm,垄高 15cm,在沟底种 2 行小麦);每种植方式灌三水即:拔节水—抽穗水—灌浆水,每次灌水量分 3 个水平,分别为:30mm(I)、45mm(II)、60mm(III),4 次重复。沟播集中灌溉在沟里,平作漫灌,用水表严格控制,生育期间不遮雨。冬小麦供试品种为济麦 22,于 2008 年 10 月 14 日按 180×10⁴株/hm²进行人工条播。试验地播种前施有机肥 120 m³/hm²,纯氮量 225kg/hm²,P₂O₅ 120kg/hm²,K₂O 105kg/hm²,氮肥分底肥和拔节追肥两次施用,沟播在小行内集中施肥,平作普通施肥;磷钾肥均做底肥,普通施肥。

表 1 2008—2009 年冬小麦生育期间降雨量

Table 1 Monthly rainfall over the winter wheat growing seasons in 2008—2009

月份 Month	10	11	12	1	2	3	4	5	6	总量 Amount
降雨量 Precipitation/mm	20.4	4.9	0.3	0	12.1	25.7	45.2	42.8	71.3	222.7

1.2 测定项目及方法

1.2.1 叶片相对含水量(RWC)

在冬小麦挑旗(4 月 22 日)、抽穗(5 月 1 日)、开花(5 月 7 日)、灌浆(5 月 17 日)和成熟期(5 月 26 日)测定。于 8:00—9:00 时取样,每小区取 15 个单茎,摘取旗叶分别称其鲜重、饱和鲜重和干重,计算相对含水量:

$$\text{叶片相对含水量(RWC)} = (\text{鲜重} - \text{干重}) / (\text{饱和鲜重} - \text{干重}) \times 100\%$$

1.2.2 叶片水势

取样方法和测定时期同叶片相对含水量,用 Psypro 露点水势仪测定叶片水势(Ψ_w)。

1.2.3 叶片水平水分利用效率

在冬小麦挑旗后主要生育时期测定。于 9:00—11:00 用 LI—6400 光合仪测定光合速率和蒸腾速率。

$$\text{叶片水平水分利用效率}(\mu\text{mol}/\text{mmol}) = \text{光合速率}/\text{蒸腾速率}$$

1.2.4 土壤贮水量

冬小麦主要生育时期用 CNC503DR 型中子水分仪测定土壤水分,每 10 cm 一个层次,共 12 个层次。

$$\text{土壤贮水量}(\text{mm}) = \sum (\Delta\theta_i \times Z_i)$$

式中, $\Delta\theta_i$ 为土壤某一层体积含水率; Z_i 为土壤层次厚度(mm); i 为土壤层次。本试验为 120 cm 深的土壤贮水量。

1.2.5 产量和水分利用效率

于 2009 年 6 月 10 日收获,去除小区边行及两端的植株,进行实收测产,测产面积为 2m^2 ,然后将其折算成每公顷产量,计算水分利用效率(WUE):

$$WUE = Y/Eta$$

式中, Y 为单位经济产量(kg/km^2), Eta 为作物耗水量(mm)。

由于实验地点的地下水位大于 5m,故地下水对冬小麦耗水量的影响可忽略不计,试验期间没有大的降雨,故地表径流可忽略不计。根据农田水量平衡方程:

$$Eta = \Delta W + I + P$$

式中, ΔW 为土壤贮水量变化量(mm), I 为灌溉量(mm), P 为降雨量(mm)。

1.3 气象资料与统计分析

降水等气象资料由泰安市农业气象站(距试验地 500 m)提供;试验数据采用 EXCEL 作图,用 DPS 软件进行统计分析(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 种植模式对冬小麦旗叶相对含水量的影响

冬小麦旗叶相对含水量随生育进程的推进呈逐渐下降趋势(表 2)。无论在何种灌水条件下均以“20+40”沟播最高,等行距最低,且沟播显著高于等行距。整个生育期内,A、B、C3 种植模式 RWC 平均值分别为 90.7%、91.3% 和 92.2%,沟播比等行距高出 1.7%,达显著差异。说明种植模式能够明显影响叶片相对含水量,沟播能够显著提高叶片相对含水量。

表 2 种植模式对冬小麦旗叶相对含水量的影响

Table 2 Effects of planting patterns on leaf relative water content in winter wheat

处理 Treatment		相对含水量 Relative water content/%					平均值 Mean
		挑旗 FS	抽穗 HS	开花 FLS	灌浆 FIS	成熟 MS	
A	I	96.46d	94.89d	86.64e	87.61e	81.63h	89.45e
	II	96.81c	96.37c	89.31c	87.76de	83.59f	90.77cd
	III	96.89c	96.71bc	90.03b	88.24d	86.96b	91.77bc
B	I	96.52cd	95.03cd	87.74d	88.17d	83.12fg	90.12d
	II	97.64b	96.97b	89.43c	89.52bc	83.70f	91.45c
	III	97.68b	97.15ab	89.74bc	89.61b	86.75bc	92.19ab
C	I	97.69b	95.78c	89.03c	89.41c	84.61e	91.30c
	II	97.72b	97.42ab	90.14ab	89.76b	85.61d	92.13ab
	III	98.53a	98.17a	90.54a	90.65a	88.36a	93.25a

图中不同字母的值表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著, LSD 数据统计; FS: 挑旗期 Flag stage; HS: 抽穗期 Heading stage. FLS: 开花期 Flowering stage; FIS: 灌浆期 Filling stage; MS: 成熟期 Mature stage

RWC 还受灌水量的影响,3 种灌水量下 RWC 平均值分别 90.3%、91.5% 和 92.4%,3 种灌水条件下种植

模式间最大差距分别为 1.85%、1.48% 和 1.36%。由此表明,随灌水量增加,冬小麦旗叶 RWC 逐渐升高;灌溉减小了种植模式间差距。种植模式间和灌水量间最大差值分别为 1.5% 和 2.1%;说明灌水量对于冬小麦旗叶相对含水量的影响略高于种植模式。

2.2 种植模式对冬小麦旗叶水势的影响

冬小麦旗叶水势(Ψ_w)随生育进程变化趋势与 RWC 相似(表 3),即随生育进程推进 Ψ_w 逐渐降低。开花期 Ψ_w 下降幅度最大,表明此时期是冬小麦需水高峰期。无论在那种灌水条件下,种植模式间 Ψ_w 始终表现为“20+40”沟播>“20+40”平作>等行距,且在整个测定时期内沟播显著高于等行距。整个生育期内,A、B、C3 种植方式 Ψ_w 分别为-1.13 MPa、-1.10 MPa 和-1.06 MPa,沟播分别比等行距和“20+40”平作高 6.2% 和 3.6%,均达显著差异。说明沟播处理能够明显提高冬小麦旗叶水势。

与 RWC 相同, Ψ_w 也受灌水量的影响。3 种灌水量下 Ψ_w 平均值分别-1.18 MPa、-1.11 MPa 和-1.03 MPa,3 种灌水条件下种植模式间最大差距分别为 0.11 MPa、0.06 MPa 和 0.05 MPa。由此表明,随灌水量增加,冬小麦旗叶 Ψ_w 逐渐升高;灌溉减小了种植模式间差距。种植模式间和灌水量间最大差值分别为 0.07 MPa 和 0.15 MPa;说明灌水量对于冬小麦旗叶相对含水量的影响略高于种植模式。

表 3 种植模式对冬小麦旗叶水势的影响

Table 3 Effects of planting patterns on leaf water potential in winter wheat

处理 Treatment		水势 Water potential/MPa					平均值 Mean
		挑旗 FS	抽穗 HS	开花 FLS	灌浆 FIS	成熟 MS	
A	I	-0.87e	-1.06d	-1.36c	-1.36d	-1.52d	-1.23de
	II	-0.7bc	-0.92bc	-1.28b	-1.34cd	-1.34c	-1.12c
	III	-0.66b	-0.81ab	-1.25ab	-1.27b	-1.28ab	-1.05b
B	I	-0.79d	-1.09d	-1.36c	-1.33cd	-1.35c	-1.19d
	II	-0.8d	-0.92bc	-1.35bc	-1.27b	-1.33bc	-1.13bc
	III	-0.65b	-0.88b	-1.26ab	-1.25ab	-1.27a	-1.06b
C	I	-0.73c	-0.99c	-1.27b	-1.29bc	-1.30b	-1.12c
	II	-0.69b	-0.90b	-1.24ab	-1.21a	-1.30b	-1.07b
	III	-0.56a	-0.78a	-1.19a	-1.19a	-1.26a	-0.99a

图中不同字母的值表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著,LSD 数据统计; FS: 挑旗期 Flag stage; HS: 抽穗期 Heading stage. FLS: 开花期 Flowering stage; FIS: 灌浆期 Filling stage; MS: 成熟期 Mature stage

2.3 种植模式对冬小麦旗叶水分利用效率的影响

叶片水平的水分利用效率反映了叶片蒸腾作用所消耗水分的生产能力,叶平水平 WUE 是作物产量和群体水平 WUE 的基础。由表 4 可以看出叶片水平 WUE 也是随冬小麦生育进程的推进而逐渐减小;无论在何种灌水情况下,各生育期叶片水平 WUE 大小均为“20+40”沟播>“20+40”平作>等行距;整个生育期内 WUE 平

表 4 种植模式对冬小麦旗叶水分利用效率的影响

Table 4 Effects of planting patterns on leaf water use efficiency (WUE) in winter wheat

处理 Treatment		旗叶水分利用效率 Leaf water use efficiency ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)					平均值 Mean
		挑旗期 FS	抽穗期 HS	开花期 FLS	灌浆期 FIS	成熟期 MS	
A	I	3.53	2.87	2.55	2.14	1.31	2.48d
	II	3.69	2.77	2.05	2.24	1.49	2.45e
	III	3.25	2.95	2.21	2.44	1.49	2.46de
B	I	3.66	2.76	2.35	2.26	1.60	2.53d
	II	4.48	2.76	2.19	2.38	1.65	2.69c
	III	3.89	2.78	2.38	2.42	1.75	2.64c
C	I	3.84	2.90	2.47	2.42	1.86	2.70c
	II	4.89	2.79	2.44	2.65	1.73	2.90a
	III	4.17	2.93	2.55	2.55	1.65	2.78b

图中不同字母的值表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著,LSD 数据统计; FS: 挑旗期 Flag stage; HS: 抽穗期 Heading stage. FLS: 开花期 Flowering stage; FIS: 灌浆期 Filling stage; MS: 成熟期 Mature stage

均值“20+40”沟播分别比等行距和“20+40”平作高 13.4% 和 6.5%, 均达显著差异。

由于群体中个体之间的差异以及环境条件的影响, 叶片水平 WUE 与群体水平 WUE 存在一定的差距。随灌水量的增加叶片水平 WUE 无明显的变化趋势。A、B、C3 种植模式叶片水平 WUE 分别为 $2.46\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 、 $2.62\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 和 $2.79\mu\text{mol}/\text{mmol}$, 种植方式间最大差值为 $0.33\mu\text{mol}/\text{mmol}$; 3 种灌水条件下叶片水平 WUE 分别为 $2.57\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 、 $2.68\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 和 $2.63\mu\text{mol}/\text{mmol}$, 灌水量间最大差值为 $0.11\mu\text{mol}/\text{mmol}$, 说明灌水量对叶片水平 WUE 的影响不如种植模式明显。

2.4 种植模式对冬小麦土壤贮水量的影响

由冬小麦土壤贮水量变化图可以看出(图 1), 无论哪种灌水情况下, 冬小麦土壤贮水量随生育进程的推进呈逐渐降低的趋势。由于拔节后灌水量逐渐增大, 不同灌水量间变化趋势有所不同。在冬小麦整个生育期内土壤贮水量大小始终为“20+40”沟播>“20+40”平作>等行距, 整个生育期内土壤贮水量平均值“20+40”沟播分别比“20+40”平作和等行距高出 3.50% 和 7.81%, 沟播处理能够明显提高冬小麦土壤贮水量, 减少农田总蒸散量。

3 种灌水量下土壤贮水量平均值分别 319mm、339mm 和 350mm, 3 种灌水条件下种植模式间最大差距分别为 36.3mm、26.1mm 和 13.3mm。由此表明, 灌水增加了土壤总贮水量, 尤其是拔节期以后; 同时灌溉减小了种植模式间差距。种植模式间和灌水量间最大差值分别为 25.2mm 和 31.1mm; 说明灌水对于土壤贮水量的影响高于种植模式。成熟期 I 水和 III 水条件下 3 种植模式土壤贮水量平均值分别为 279.2mm 和 336.2mm, III 水比 I 水高 57.0mm, 而两种灌水量总差异为 90mm。由此说明, 灌 III 水条件下, 冬小麦生育期间的灌水量大部分用于土壤贮水量的增加, 没有被作物充分利用。

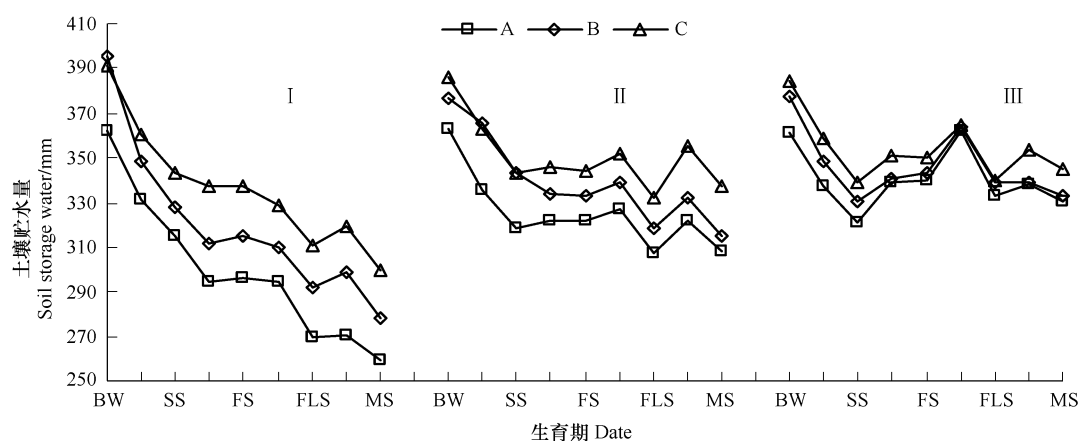


图 1 种植模式对冬小麦土壤贮水量的影响

Fig. 1 Effects of planting patterns on soil storage water in winter wheat

BW: 冬前 Before winter; RS: 返青期 Regreening stage; SS: 起身期 Setting stage; JS: 拔节期 Jointing stage; FS: 挑旗期 Flag stage; HS: 抽穗期 Heading stage. FLS: 开花期 Flowering stage; FIS: 灌浆期 Filling stage; MS: 成熟期 Mature stage

2.5 种植模式对冬小麦产量及水分利用效率的影响

由表 5 和表 6 可以看出, 无论在哪种灌水条件下, 农田总耗水量“20+40”沟播<“20+40”平作<等行距, 在灌水量较少的 I 水下, “20+40”沟播显著低于“20+40”平作和 25cm 等行距, 且“20+40”平作显著低于 25cm 等行距; 随灌水量增加, “20+40”沟播与平作间差异不显著, 但均显著低于 25cm 等行距。由此表明, “20+40”沟播处理能够显著减少农田总耗水量, 尤其是在灌水量较少情况下。3 种灌水量条件下产量和 WUE 均表现为“20+40”沟播>“20+40”平作>25cm 等行距, “20+40”沟播产量和 WUE 平均值分别比 25cm 等行距高出 10.6% 和 10.5%, 均达显著差异水平。表明沟播处理能够显著提高冬小麦产量和 WUE 。

随灌溉量的增加, 总耗水量和产量呈显著增加的趋势; WUE 则随灌溉量的增加而显著降低。“20+40”沟播产量在灌 I 水和 II 水条件下, 分别与 25cm 等行距在灌 II 水和 III 水条件下无显著差异, 说明“20+40”沟播

能够在较少灌水情况下维持较高产量。对冬小麦水分利用效率方差分析表明(表 6),种植模式与灌溉不仅分别显著影响冬小麦水分利用效率,而且二者存在显著的互作效应。等行距种植在灌Ⅲ水条件下产量达到最高值,而“20+40”沟播在灌Ⅱ水条件产量与其无显著差异,表明在保障较高产量条件下,灌Ⅱ水“20+40”沟播较灌Ⅲ水等行距节水 25%。

表 5 种植模式对冬小麦产量和水分利用效率的影响
Table 5 Effect of planting patterns on yield and water use efficiency (WUE) in winter wheat

处理 Treatment		总耗水量/mm Total water consumption	产量/(kg/hm ²) Yield	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) WUE
A	I	339.20f	5795.9f	18.79e
	II	294.20d	6647.4d	18.11f
	III	412.09a	7441.7b	18.06f
B	I	328.91g	6459.8e	20.47b
	II	370.51e	7304.9c	19.83c
	III	404.39b	7826.4a	19.35d
C	I	325.75h	6507.1de	20.95a
	II	369.54e	7491.7b	20.23b
	III	401.55bc	7993.8a	19.56d

图中不同字母的值表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著,LSD 数据统计

表 6 冬小麦水分利用效率的方差分析
Table 6 Analysis of variance for water use efficiency in winter wheat

变异来源 The origins of variance	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i>
区组 Among blocks	0.0174	2	0.0087		
种植模式间 Among planting patterns	21.8084	2	10.9042	583.137	0.0000
灌溉间 Among irrigations	5.2164	2	2.6082	11082.58	0.0000
种植模式×灌溉 Planting patterns × Irrigations	0.4643	4	0.1161	493.24	0.0001
误差 Error	0.0028	12	0.0002		
总变异 Total variance	27.5842	26			

3 讨论

前人研究表明,叶片含水量和水势可影响植物生长等生理、生化过程,与作物光合产物的分配及产量形成有密切关系^[15,16]。本实验结果表明,无论在哪种灌水情况下,“20+40”沟播水势和相对含水量显著高于等行距,这与李全起研究结论相一致^[12]。其研究表明,无论在灌溉还是不灌溉条件下,沟播冬小麦始终维持较高的叶片相对含水量和水势。冬小麦产量与叶片水势和相对含水量均呈正相关($r=0.571, r=902^{**}$),相同灌水情况下“20+40”沟播显著高于“20+40”平作和等行距。随灌水量增加,叶片水势和相对含水量均有所增加,冬小麦产量也随灌水量增加逐渐增加,且“20+40”沟播产量在Ⅰ水和Ⅱ水条件下分别与等行距处理在Ⅱ水和Ⅲ水条件下产量相当。由此表明,“20+40”沟播能够显著提高冬小麦水势和相对含水量,从而显著提高产量,并且能够在不增加灌水量的情况下提高产量。

水分供应状况影响小麦叶片扩展和叶片气孔的开启,进而影响光合作用^[17],即影响叶片水平水分利用效率。本试验结果表明,无论在哪种灌水情况下,各生育期叶片水平 WUE 大小均为“20+40”沟播>“20+40”平作>等行距;灌水量对叶片水平 WUE 无明显影响。与叶片水平 WUE 不同,冬小麦产量水平 WUE 随灌水量增加显著降低,作物的水分利用效率受作物种类、灌溉制度、栽培技术等多种因素影响^[18-21]。本试验研究表明,在相同灌水量条件下“20+40”沟播处理产量水平 WUE 显著高于“20+40”平作和等行距。由此表明,沟播能够在提高产量的同时提高水分利用效率。

随灌水量增加土壤贮水量增加,从而使冬小麦总耗水量不断增加。王法宏、Abu-Awwad 等研究得出在垄播沟灌条件下节约灌溉水 30% 仍可提高冬小麦的水分利用效率,沟灌较漫灌提高土壤水分含量约 230%^[22-23]。研究表明,相同灌水情况下,“20+40”沟播处理土壤贮水量明显高于“20+40”平作和等行距,而总耗水量却低于“20+40”平作和等行距,由此使“20+40”沟播处理水分利用效率显著高于“20+40”平作和等行距。较多的灌水增加了土壤含水量,使土壤贮水量增加,但增加的土壤贮水量并没有被作物完全消耗,从而影响水分利用效率。

4 结论

本试验通过调整个体间水平空间位置,研究了冬小麦种植模式对冬小麦产量及水分利用效率的影响,重点从冬小麦叶片水分特征和土壤贮水量方面分析种植模式与水分利用的关系。研究表明,通过改变种植模式达到冬小麦高产节水目的是可行的,且在灌水 135mm 条件下“20+40”沟播是冬小麦高产节水最理想种植模式。

References:

- [1] Yu S L. The Development Prospects of Cultivate Science in Modern Wheat. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2004: 184-187.
- [2] Wu K, Wang Q, Zhang X Q. Effects of straw mulch on parameters of coverage. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1996, 12 (s): 282-287.
- [3] Chen Y H, Yu S L, Yu Z W. Relationship between amount or distribution of PAR interception and grain output of wheat communities. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(5): 730-734.
- [4] Zhao H, Yang Z S, Yan S H, Wang J J, Liang W K. Effect of eight traits on wheat yield under different planting patterns. Journal of Triticeae Crops, 2001, 21(1): 60-64.
- [5] Zhou X B, Sun S J, Chen Y H, Li Q Q, Yang G M. Relationship between water character and yield component under different distribution patterns of winter wheat population. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21 (1): 119-122.
- [6] Blum A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation, 1996, 20(2): 135-148.
- [7] Bray E A. Molecular responses to water deficits. Plant Physiology and Biochemistry, 1993, 103(4): 1035-1040.
- [8] Gunasekera D, Berkowitz G A. Evaluation of contrasting cellular-level acclimation responses to leaf water deficits in three wheat genotypes. Plant Science, 1992, 86(1): 1-12.
- [9] Liang Z S, Kang S Z, Shao M A, Wei Y S, Zhang J H. Growth rate and water consumption of maize plant in soil alternate drying-wetting. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(5): 38-40.
- [10] Yu S Z, Chen Y H, Yu S L, Dong Q Y, Zhou X B, Li Q Q, Wu W, Sun N N. Study on dynamic changes of soil water in winter wheat field of furrow planting and bed planting. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(2): 132-137.
- [11] Wu W, Chen Y H, Li Q Q, Zhou X B, Sun N N, Xu D L, Yang R G. Dynamic changes in soil moisture in winter wheat field under conditions of drip irrigation, furrow and ridge planting. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(6): 1011-1017.
- [12] Li Q Q, Chen Y H, Yu S Z, Wu W, Zhou X B, Dong Q Y, Yu S L. Study of water consumption characteristics in straw mulching winter wheat field under irrigation conditions. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19 (2): 130-132, 141.
- [13] Cheng X Y, Qin H Y, Wang X Z, Liu D L. Effects of irrigation on water consumption and yield in winter wheat. Journal of Plant, 2002, (2): 18-19.
- [14] Jiang Y D, Wang W P, Li Y S, Zhou Y F. Effects of different irrigation systems on grain yield and water consumption of winter wheat. Journal of Hebei Normal University of Science and Technology, 2008, 22(1): 57-61.
- [15] Eberbach P, Pala M. Crop row spacing and its influence on the partitioning of evapotranspiration by winter-grown wheat in Northern Syria. Plant and Soil, 2005, 268(1): 195-208.
- [16] Hu J C, Jiang D, Cao W X, Luo W H. Effect of short-term drought on leaf water potential, photosynthesis and dry matter partitioning in paddy rice. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (1): 63-67.
- [17] Huo Z G, Bai Y M, Wen M, Chen L, Hu Y L, Ye C L. The experimental research on water stress effects on growth and development of winter wheat. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (9): 1527-1535.
- [18] Hu M Y, Zhang Z B, Xu P, Dong B T, Li W Q, Li J J. Relationship of water use efficiency with photoassimilate accumulation and transport in wheat under deficit irrigation. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(10): 1711-1719.

- [19] Wei Y X, Zhang Z X, Wang L M. Research on temporal fractal features of reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2006, 25 (5): 6-8, 13.
- [20] Liu Z J, Li B P, Li Y H, Cui Y L. Research on the water use efficiency and optimal irrigation schedule of the winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(4): 58-63.
- [21] Wang H. Influences of environmental factors on water use efficiency of winter wheat. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16 (6): 584-590.
- [22] Wang F H, Liu S Y, Wang X Q, Ren D C, Cao H X, Zhang L M, Li H Y. Eco-physiological effect of wheat bed-planting culture techniques. *Shandong Agricultural Sciences*, 1999, (4): 4-7.
- [23] Abu-Awwad A M. Effects of sand column, furrow and supplemental irrigation on agricultural production in an arid environment. *Irrigation Science*, 1999, 18(4): 191-197.

参考文献:

- [1] 余松烈. 现代小麦栽培科学及其发展展望. 济南: 山东科学技术出版社, 2004: 184-187.
- [2] 吴凯, 王千, 张兴权. 秸秆类覆盖物的覆盖参数的研究. *农业工程学报*, 1996, 12(增刊): 282-287.
- [3] 陈雨海, 余松烈, 于振文. 小麦生长后期群体光截获量及其分布与产量的关系. *作物学报*, 2003, 29(5): 730-734.
- [4] 赵虹, 杨兆生, 阎素红, 王俊娟, 梁文科. 不同种植方式下小麦主要性状与产量的关系. *麦类作物学报*, 2001, 21(1): 60-64.
- [5] 周勋波, 孙淑娟, 陈雨海, 李全起, 杨国敏. 冬小麦种群不同分布方式下水分特征与产量构成关系. *水土保持学报*, 2007, 21(1): 119-122.
- [9] 梁宗锁, 康绍忠, 邵明安, 魏永胜, 张建华. 土壤干湿交替对玉米生长速度及其耗水量的影响. *农业工程学报*, 2000, 16(5): 38-40.
- [10] 于舜章, 陈雨海, 余松烈, 董庆裕, 周勋波, 李全起, 吴巍, 孙妮娜. 沟播和垄作条件下冬小麦田的土壤水分动态变化研究. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 132-137.
- [11] 吴巍, 陈雨海, 李全起, 周勋波, 孙妮娜, 徐德力, 杨荣光. 垄沟耕作条件下滴灌冬小麦田间土壤水分的动态变化. *土壤学报*, 2006, 43(6): 1011-1017.
- [12] 李全起, 陈雨海, 于舜章, 吴巍, 周勋波, 董庆裕, 余松烈. 灌溉条件下秸秆覆盖麦田耗水特性研究. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 130-132, 141.
- [13] 程献云, 秦海英, 王宪章, 刘东亮. 灌水量对耗水量及小麦产量的影响. *作物杂志*, 2002, (2): 18-19.
- [14] 姜亚东, 王文颇, 李彦生, 周印富. 不同灌水方式对冬小麦耗水与产量的影响. *河北科技师范学院学报*, 2008, 22(1): 57-61.
- [16] 胡继超, 姜东, 曹卫星, 罗卫红. 短期干旱对水稻叶水势、光合作用及干物质分配的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 63-67.
- [17] 霍治国, 白月明, 温民, 陈林, 胡延龙, 叶彩玲. 水分胁迫效应对冬小麦生长发育影响的试验研究. *生态学报*, 2001, 21(9): 1527-1535.
- [18] 胡梦芸, 张正斌, 徐萍, 董宝娣, 李魏强, 李景娟. 亏缺灌溉下小麦水分利用效率与光合产物积累运转的相关研究. *作物学报*, 2007, 33(10): 1711-1719.
- [19] 魏永霞, 张忠学, 王立敏. 东北半干旱抗旱灌溉区有限供水对大豆水分利用效率的影响研究. *灌溉排水学报*, 2006, 25(5): 6-8, 13.
- [20] 刘增进, 李宝萍, 李远华, 崔远来. 冬小麦水分利用效率与最优灌溉制度的研究. *农业工程学报*, 2004, 20(4): 58-63.
- [21] 王慧. 环境因子对冬小麦水分利用效率的影响. *生态学报*, 1996, 16(6): 584-590.
- [22] 王法宏, 刘世军, 王旭清, 任德昌, 曹宏鑫, 张立民, 李汉元. 小麦垄作栽培技术的生态生理效应. *山东农业科学*, 1999, (4): 4-7.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake: a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

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	11764	1	生态学报	1.812
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 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 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