

紫外线-B 增加对宁夏春小麦光合作用日变化的影响

苏占胜^{1,2}, 王连喜^{1,3}, 李福生³, 黄建伟³

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002; 3. 宁夏气象科学研究所, 宁夏 银川 750002)

摘要: 在自然条件下, 通过增加不同强度的紫外线-B(UV-B)辐射, 对宁夏地区春小麦叶片光合速率日变化和水分利用效率进行了研究。研究发现经增加 R1 强度(0.5 W/m²)UV-B 辐射处理的春小麦净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率比对照分别下降了 19.0%、9.8%、22.7%和 10.2%, 而经增加 R2 强度(1.0 W/m²)UV-B 辐射处理的春小麦净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率比对照分别下降了 48.8%、19.5%、53.6%和 36.3%。表明, 在自然条件下, 春小麦叶片的光合作用随 UV-B 辐射增强而减小, 水分利用效率也随之降低。

关键词: 紫外线; 春小麦; 光合作用

中图分类号: S512.1⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)04-0082-05

由于大气臭氧层变薄, 导致到达地表的紫外线-B(UV-B)辐射量持续增加, 对生物及作物产生了广泛的影响, 已有许多试验证明绝大多数的植物已受到紫外线不同程度的伤害^[1~3]。有关 UV-B 对作物影响的研究中, 大部分是在实验室或温室内进行 UV-B 增加对植物伤害机理的研究, 而 UV-B 增加对在大田自然条件下作物群体影响的研究相对较少。群体条件下更能反映作物对 UV-B 增加反应的实际情况, 且能反映作物在较长期 UV-B 增加处理下的反应, 而作物对 UV-B 增加的短期与长期处理的反应是不同的^[4~10]。宁夏地处干旱、半干旱地区, 平均海拔在 1 100 m 左右, 在气候、生态等环境条件上有其独特性, 该地区大气层特性、作物种类及其生态适应性等都有其特殊的地理特点, 而迄今为止, 在此地区尚未开展紫外线增加对作物生理生态影响的研究, 因此, 我们在该地区开展了地表紫外辐射增强对干旱半干旱地区主要农作物生理及生态系统影响的试验, 定量研究地表紫外辐射增加对该地区主要农作物生理及生态系统的影响。本文主要分析 UV-B 增加对春小麦拔节期光合作用日变化的影响。

1 材料与试验方法

1.1 供试材料

试验于 2004 年在宁夏永宁农业气象试验站进行, 试验田面积为 0.27 hm², 土壤为壤土, 肥力中等。3 月上旬播种, 大田种植, 种植方式为小麦套种玉米, 小麦 12 行, 行距 10 cm, 玉米 3 行, 行距 20

cm。小麦于 3 月 28 日出苗, 施肥与田间管理按当地生产习惯进行。

试验分为 3 个处理组: 对照组(CK 组, 即自然光照)、R1 强度 UV-B 处理组(R1 组)和 R2 强度 UV-B 处理组(R2 组)。用国产紫外灯管(40W, 购自南京华强电子有限公司)平行悬挂于植株上方, 用于模拟 UV-B 辐射(280~320 nm)处理。在试验中, 设计 R1 组和 R2 组在自然光照的基础上分别增加强度为 0.5 W/m²(R1 组)和 1.0 W/m²(R2 组)的 UV-B 辐射(以植株冠层为准)。从小麦三叶期(4 月 10 日)开始, 每天于 9:00~17:00 对各处理进行 UV-B 照射(雨天除外), 并根据作物株高不断调整灯管与植株顶端之间的距离以保证植物接受恒定剂量的 UV-B 辐射。

1.2 光合速率的测定

在小麦拔节期, 选择晴朗无风的晴天(5 月 19 日), 于 7:00 至 20:00, 采用英国 PPS 国际有限公司生产的 CIRAS-1 型便携式光合作用测定系统, 测定小麦叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、光合有效辐射、细胞间隙和环境 CO₂ 浓度等若干植物生理因子的日变化。每个处理每次取 2 个重复, 每个重复取 2 片叶, 并重复读取 3 次数值, 以平均值作为该时次的测量结果。

2 结果与分析

2.1 外界环境因子日变化

由图 1 可知, 光合有效辐射日变化基本呈单峰曲线, 最大值为 1 584.2 μmol/(m²·s), 峰值出现于

收稿日期: 2005-08-24

基金项目: 宁夏自然科学基金项目“地表紫外辐射增强对宁夏主要农作物生理生态系统的影响”(A1012)

作者简介: 苏占胜(1966—), 男, 宁夏中宁县人, 高级工程师, 主要从事应用气象、遥感与 GIS 应用研究。

10:00~13:00。 CO_2 浓度的日变化除在11:00时出现一个小峰值外,则基本呈早晚高中午低的凹陷曲线,最小值为 $367 \times 10^{-6} (\text{V/V})$,最大值为 $500 \times 10^{-6} (\text{V/V})$,平均值为 $401 \times 10^{-6} (\text{V/V})$ 。气温和

叶温的变化基本一致,在上午10:00之前,气温与叶温相差不大,之后,叶温低于气温。气温的最高值为 30.8°C ,一天的平均值为 24.4°C ,叶温的最高值为 30.6°C ,一天的平均值为 24.1°C 。

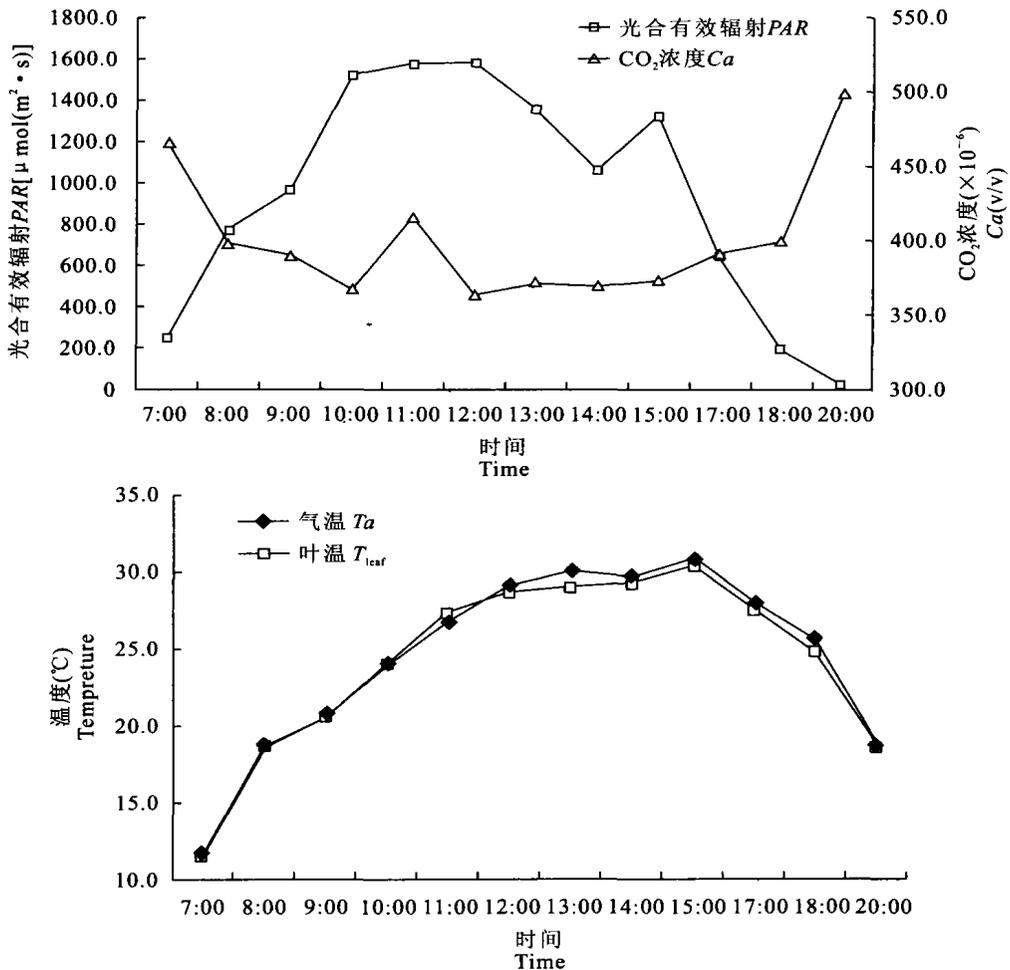


图1 春小麦拔节期环境因子日变化

Fig. 1 The diurnal changes of environmental factors at jointing stage of spring wheat

2.2 不同强度 UV-B 辐射下小麦净光合速率 (P_n) 日变化

由图2可知,CK组小麦 P_n 的日变化基本上呈单峰曲线,峰值出现在上午9:00~10:00,然后呈快速下降趋势,但在13:00时出现一个较小幅度的上升后,于14:00猛然下降至最低值,出现明显的“午休”现象,于15:00时再度上升之后快速下降。R1组小麦 P_n 的日变化与CK组基本相似,峰值出现的时间与CK组相同,但没有出现明显的“午休”现象。R2组小麦 P_n 的日变化与其它两组明显不同,基本上为“双峰型”,峰值分别出现在9:00~10:00

和12:00~13:00。值得注意的是在7:00~8:00,该处理组小麦的 P_n 基本没有出现上升,而且在17:00后快速下降,并于18:00之后出现负值。这说明R2处理组小麦由于UV-B的增强,光合作用对光照的敏感程度降低,或者说由于在强UV-B的辐射下,小麦的光合作用能力已降低。在一天中比较各处理组的 P_n ,可以得出:R1组和R2组的平均值分别较CK组低19.0%和48.8%。即R2组小麦 P_n 低于R1组,而R1组小麦 P_n 又低于自然条件下的CK组,3组 P_n 由高到低的次序为CK、R1、R2;增加UV-B的小麦与对照相比,净光合速率明显降低。

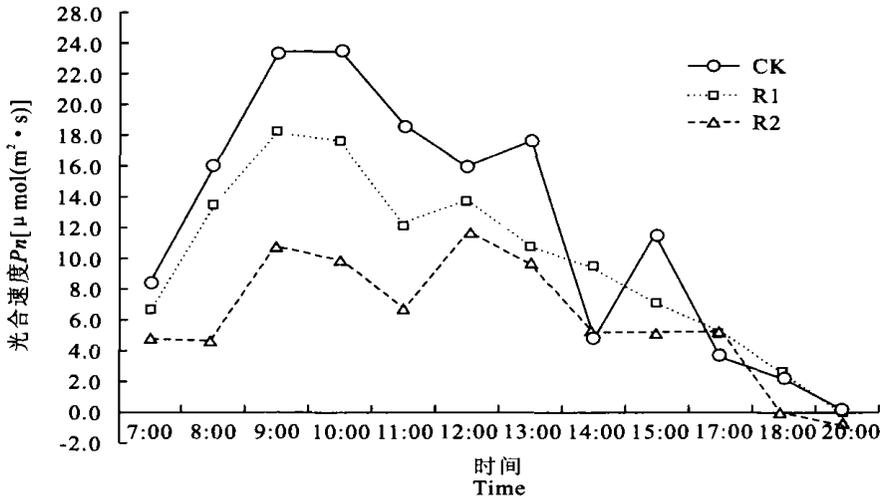


图 2 增加 UV-B 辐射下春小麦拔节期净光合速率日变化

Fig. 2 The diurnal changes of net photosynthetic rate in leaves of spring wheat under increased UV-B radiation at jointing stage

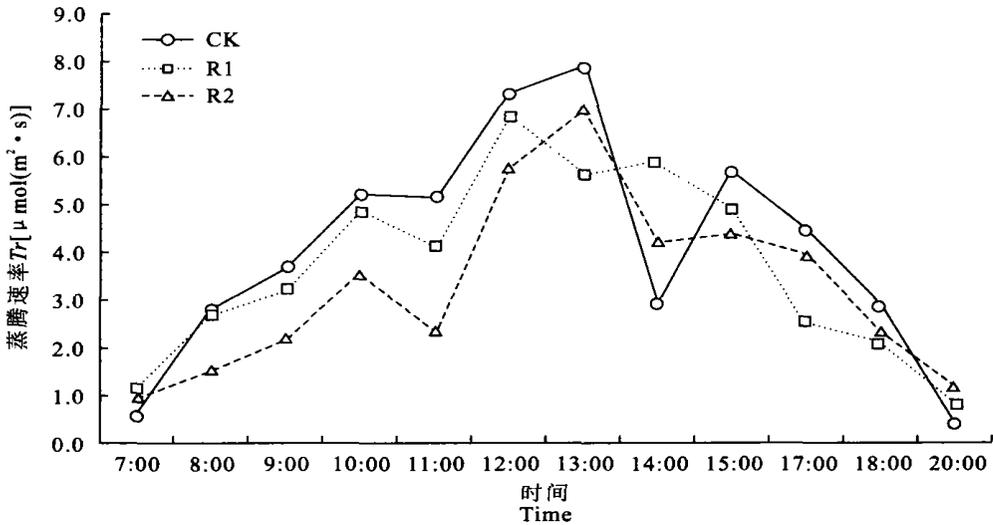


图 3 增加 UV-B 辐射下春小麦拔节期蒸腾速率日变化

Fig. 3 The diurnal changes of transpiration rate in leaves of spring wheat under increased UV-B radiation at jointing stage

2.3 不同强度 UV-B 辐射下小麦蒸腾速率 (T_r) 日变化

由图 3 可以看出, CK 组小麦的 T_r 在 13:00 时达到峰值, 之后迅速下降, 于 14:00 时出现明显“午休”现象后, 又快速上升, 于 15:00 时达到另一高峰值后, 随着时间的推移迅速下降。R1 组小麦的 T_r 在 12:00 时达到峰值, 之后逐渐降低。与 CK 组不同的是该组没有出现明显的“午休”现象。R2 组小麦 T_r 在一天的变化与 CK 组在趋势上基本一致, 只是“午休”的程度较 CK 组稍弱。在一天之中, 比较各处理小麦的 T_r , 可以得出: R1 组和 R2 组小麦的平均 T_r 分别较 CK 组低 9.8% 和 19.5%, 即一天中 CK 组小麦的 T_r 高于 R1 组, R1 组小麦的 T_r

又高于 R2 组, 3 组小麦的 T_r 大小顺序依次 CK、R1、R2。随 UV-B 的增强, 小麦对水分的蒸腾能力降低。

2.4 不同强度 UV-B 辐射下小麦气孔导度 (G_s) 日变化

气孔是水汽和 CO_2 进出的门户, 它同时控制着植物的光合和蒸腾作用。由图 4 可以看出, 自然条件下的 CK 组小麦的 G_s 在上午 10:00 时达到峰值, 之后迅速下降, 在 12:00 时有一低幅度上升后快速下降, 于 14:00 时降低于一低水平之后, 在波动中基本处于稳定状态。R1 组小麦 G_s 的变化与 CK 组基本相似。R2 组小麦的 G_s 基本上是波浪状变化形式, 一天中, 分别于 8:00、11:00 和 14:00 时处于波

谷,并于 14:00 时之后稳定在低水平的波动状态。在一天之中,比较各处理小麦的 G_s 可以得出:R1 组和 R2 组小麦的平均 G_s 比 CK 组分别低 22.7% 和 53.6%,即一天中 CK 组小麦的 G_s 高于 R1, R1

组小麦的 G_s 高于 R2 组,3 组小麦的 G_s 大小顺序依次为 CK、R1、R2。UV-B 的增强,对小麦气孔的开张有较为明显的影响。

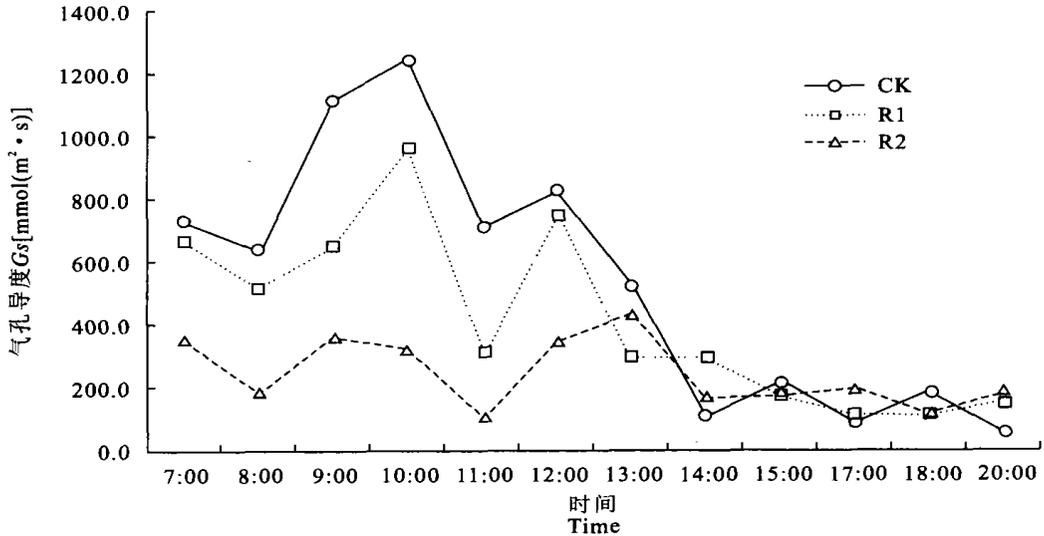


图 4 增加 UV-B 辐射下小麦气孔导度日变化

Fig. 4 The diurnal changes of stomatal conductivity in leaves of spring wheat under increased UV-B radiation at jointing stage

2.5 不同强度 UV-B 辐射下小麦的水分利用效率

水分利用效率是指植物蒸腾消耗单位重量的水分所同化的 CO_2 的量,常用净光合速率与蒸腾速率的比值表示^[11],因此,我们按下式计算 3 种处理条件下的水分利用效率:

$$W = \overline{P_n} / \overline{Tr} \quad (1)$$

式中: W 为水分利用效率; $\overline{P_n}$ 、 \overline{Tr} 分别为全天 P_n 、 Tr 的平均值。计算结果见表 1。从表 1 可以看出,随 UV-B 辐射增加, P_n 和 Tr 均有不同程度降低,结果是:在本试验范围内,随 UV-B 辐射增强,小麦的水分利用效率降低,R1 组和 R2 组较 CK 组分别降低了 10.2% 和 36.3%。

表 1 3 种不同处理下春小麦拔节期的水分利用效率

Table 1 Water use efficiency (WUE) of spring wheat at jointing stage under different treatments

项目 Item	处理		
	CK	R1	R2
P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	12.1	9.8	6.2
Tr [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	4.1	3.7	3.3
W ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	2.95	2.65	1.88

3 结 论

在自然条件下,随着 UV-B 辐射的增强,宁夏地区春小麦叶片光合作用和水分利用效率都有明显

下降。试验分析结果表明,经 R1 强度 ($0.5 \text{ W}/\text{m}^2$) UV-B 辐射处理的春小麦净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率比对照分别下降了 19.0%、9.8%、22.7% 和 10.2%,经增加 R2 强度 ($1.0 \text{ W}/\text{m}^2$) UV-B 辐射处理的春小麦净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率比对照分别下降了 48.8%、19.5%、53.6% 和 36.3%。可见,地表紫外辐射的增强,对于干旱、半干旱地区春小麦的影响十分明显,无论是小麦叶片的净光合速率、蒸腾速率还是水分利用效率都随着 UV-B 的增强而下降,紫外辐射的增强将使该地区春小麦产量降低、水资源需求加大。因此,在全球气候变暖及地表紫外辐射增强的大背景下,培育和更新作物品种,增强作物对外界环境的适应能力及抗逆性,是农业生产和社会经济持续稳定发展的重要措施之一。

致谢: 宁夏气象研究所张晓煜、袁海燕、张学义等在试验观测中做了大量工作。

参 考 文 献:

[1] Caldwell M M, Flint S D. Stratospheric ozone reduction, solar UV-B radiation and terrestrial ecosystem [J]. *Clm. Change*, 1994, 27, 375-394.

[2] 李元, 王勋陵. 紫外辐射增加对春小麦生理、产量和品质的影响[J]. *环境科学学报*, 1998, 18(5): 504-509.

[3] 王传海, 郑有飞, 万长建, 等. 紫外线辐射增加对小麦开花及结实率的影响[J]. *农业环境保护*, 2001, 22(4): 221-223.

- [4] 林文雄, 吴春杏. 水稻对 UV-B 辐射增强的抗性遗传及其生理生化特性研究[J]. 应用生态学报, 1998, 10(1): 31-34.
- [6] 侯扶江, 贾桂英. 田间增加紫外线辐射对大豆幼苗生长和光台作用的影响[J]. 植物生态学报, 1998, 22(3): 256-261.
- [7] 郑有飞, 杨志敏, 颜景义, 等. 作物对紫外线辐射增加的生物效应及其评估[J]. 应用生态学报, 1996, 7(1): 107-109.
- [8] 杨景宏, 陈拓, 王勋陵, 等. 增强 UV-B 辐射对小麦叶片内源 ABA 和赫离脯氨酸的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 39-42.
- [9] 黄少白, 戴秋杰, 刘晓忠. 紫外光 B 辐射增强对水稻叶片内 IAA 和 ABA 含量的影响[J]. 植物学报, 1998, 5(增): 87-90.
- [10] 黄少白, 戴秋杰, 刘晓忠, 等. 水稻对紫外光 B 辐射增强的生理适应机制[J]. 作物学报, 1998, 24(4): 464-469.
- [11] 蒋跃林, 张庆国, 岳伟, 等. 大豆光合特性对大气 CO₂ 浓度升高的响应[J]. 中国农学通报, 2005, 21(3): 290-293.

Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on diurnal variations of photosynthesis in spring wheat in Ningxia

SU Zhan-sheng^{1,2}, WANG Lian-xi^{1,3}, LI Fu-sheng³, HUANG Jian-wei³

(1. Ningxia Key Laboratory for Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Meteorological Institute, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Under natural conditions, the plants of spring wheat were exposed to different intensities of ultraviolet-B (UV-B) radiation and the diurnal variations of their photosynthetic rate and water use efficiency (WUE) were recorded in Ningxia. Compared to the control group, the photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductivity and water use efficiency was reduced by 19.0%, 9.8%, 22.7% and 12.1%, respectively, in the plants subjected to R¹ dose UV-B radiation (0.5 W/m²), and by 48.8%, 19.5%, 53.6% and 37.2%, respectively, in the plants subjected to R² dose UV-B radiation (1.0 W/m²). These results indicated that, within the range of UV-B radiation intensity used in this study, the photosynthesis and WUE of spring wheat tended to reduce with the enhancement of UV-B radiation intensity.

Keywords: UV-B radiation; spring wheat; photosynthesis

欢迎订阅 2007 年《水土保持通报》

《水土保持通报》创刊于 1981 年, 双月刊, 中文版, 属环境科学学科, 连续 4 届被定为我国中文核心期刊。主管单位为中国科学院, 由中国科学院水利部水土保持研究所和水利部水土保持监测中心联合主办。为《中国科技论文统计源期刊》, 《中国科学引文数据库统计源期刊》, 《中文核心期刊要目总览》, 以及日本《科学技术文献速报(JICST)》, 《中国期刊精品荟萃》等收编。根据《中国科学引文数据库》引证报告, 2000—2004 年《水土保持通报》连续 4 年影响因子居中国科技期刊前 300 名之列; 连续 5 年总被引频次排名居中国科技期刊前 300 名之列, 其中有 2 年位居前 200 名之列。本刊主编李锐, 郭索彦先生。ISSN1000-288X, CN61-1094/X。开本为大 16 开, 160 页/期, 国内发行代号: 52-62, 国外发行代号: 4721BM, 定价: 14.0 元/册。

办刊宗旨: 紧密跟踪水土保持学科的发展动向, 及时报道本学科前沿领域科学理论、技术创新及其实际应用研究最新成果, 积极引导和推动水土保持学科和水土保持实践的发展与繁荣。报道内容: 土壤侵蚀、旱涝、滑坡、泥石流、风蚀等水土流失灾害的现状与发展动向; 水土流失规律研究、监测预报技术研发成就与监测预报结果; 水土流失治理措施与效益分析; 水土流失地区生态环境建设与社会经济可持续发展研究; 计算机、遥感工程、生物工程等边缘学科新技术、新理论、新方法在水土保持科研及其实践中的应用; 国外水土流失现状及水土保持研究新动态等。读者对象: 从事水保科技研究、教学与推广的科教工作者及有关行政管理人员; 国内外环境科学、地学、农业、林业、水利等相关学科科教人员及大专院校师生。

地址: 陕西省杨凌区西农路 26 号《水土保持通报》编辑部

邮编: 712100

电话: (029)87018442

传真: (029)87012210

E-mail: bulletin@ms.iswc.ac.cn

http: //www.iswc.ac.cn