

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

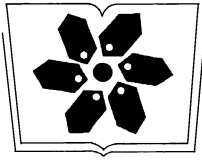
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **2013**

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 33 卷 第 6 期

2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例.....
..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)
大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112071869

张建平, 赵艳霞, 王春乙, 杨晓光, 王靖. 基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术. 生态学报, 2013, 33(6): 1762-1769.

Zhang J P, Zhao Y X, Wang C Y, Yang X G, Wang J. Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1762-1769.

基于 WOFOST 作物生长模型的 冬小麦干旱影响评估技术

张建平¹, 赵艳霞^{2,*}, 王春乙², 杨晓光³, 王靖³

(1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081;

3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要:为了反映作物与干旱的相互关系,人为再现干旱灾害对作物产量的影响程度,选择华北地区冬小麦干旱灾害为研究对象,对作物生长模型 WOFOST 在区域上进行适应性进行分析、检验的基础上,然后利用区域作物模型实现干旱灾害对作物影响定量分析和动态评估。以减产率和气象条件作为灾害严重程度划分的标准,利用数值模拟试验,确定导致减产的主要气象因子及其量值,对研究区干旱灾害进行影响评估,包括典型灾害年份影响评估和年代际灾害影响评估,并给出了评估结果。

关键词:作物生长模型;冬小麦;干旱;评估技术

Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model

ZHANG Jianping¹, ZHAO Yanxia^{2,*}, WANG Chunyi², YANG Xiaoguang³, WANG Jing³

1 Chongqing Institute of Meteorological sciences, Chongqing 401147 China

2 Chinese Academy of Meteorological sciences, Beijing 100081, China

3 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: The crop growth models have the functions of reflecting the interaction of crops and climatic environment, describing the growing process of crops, and quantifying the relationship between crop growth and environmental factors. In this paper, the suitability of crop growth model WOFOST was analyzed and tested in regional scale based on experimental data. Localized model WOFOST was used to quantify and dynamically evaluate the drought disaster of winter wheat in North China. Applying the standard of yield reduction rate and calamity degree and numerical simulation experiments, the study determined the main meteorological factor which leads to yield reduction and conducted drought index of winter wheat. Based on the drought index, drought disaster at typical years and decadal drought disaster were evaluated.

Key Words: crop growth model; winter wheat; drought; evaluation technology

据统计,1985—1990 年我国农作物年平均受旱面积为 $2.65 \times 10^8 \text{ hm}^2$; 1991—2000 年全国作物平均受旱面积为 $2.76 \times 10^8 \text{ hm}^2$; 2001—2006 年全国平均作物受旱面积为 $2.33 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ^[1], 仅 2000 年受旱面积就高达 $4.05 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。可见,20 世纪 80 年代中期以来,我国农业旱灾面积呈显著增加趋势。而华北地区作为我国冬小麦

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2011BAD32B01); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106021); 重庆市科技攻关项目(CSTC, 2011AC1168)

收稿日期: 2011-12-07; 修订日期: 2012-10-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyx@cams.cma.gov.cn

主产区,生长季频繁发生的干旱具有频率高、分布广、面积大、持续时间长,损失影响大等特点^[2],已成为限制该地区冬小麦生产的重要障碍因子,因而备受各级政府和学术界的高度重视。从“八五”到“十一五”期间,有关华北地区干旱问题的研究报道很多^[3-8]。在灾害规律、监测、预警等方面都取得了很大进展,在旱灾影响评估领域也开展了一些研究及应用,并较好地应用于业务服务。但干旱评估方法上多数采用统计学、天气学、气候学等方法以及卫星遥感方法等,利用作物生长模型评估农业气象灾害评则鲜有报道。如何科学、正确地辨识和评估干旱灾害,是当前热点问题之一^[9-11]。作物模型能够综合量化作物生长发育过程及其与环境因子的动态关系,能对作物重要生理生态过程及其与气象、土壤等环境条件的关系进行数值模拟,人为再现农作物生长发育过程,可以反映作物与气候环境的相互作用^[12]。鉴于此,本文采用作物模型模拟干旱对作物的影响,建立华北地区冬小麦干旱影响评估模型,在此基础上构建干旱评估指标,既而实现区域干旱影响评估,以期能够拓展和延伸农业气象灾害影响评估方法。

1 研究资料与模型

1.1 研究区域概况

选择华北地区为研究区域,主要包括北京、天津两市以及河北、山东、河南三省,总面积约为 55 万 km²。气候类型属于温带季风气候,年均气温 10—15℃,年均降雨量为 400—1100mm。由于降水时空分布不均匀,干旱是冬小麦生长季的主要农业气象灾害。

1.2 研究资料及来源

作物资料包括小麦品种类型及其熟性、小麦发育期资料以及田间生物量试验资料等,均取自中国气象局国家气象信息中心气象资料室(全国农业气象观测记录报表、全国农业气象观测 AB 报资料)。冬小麦发育期观测项目有播种、出苗、三叶、分蘖、停止生长、返青、起身、拔节、孕穗、抽穗、开花、乳熟、黄熟、成熟日期。观测年份大多数在 1981—2006 年之间,部分台站观测资料中断现象。冬小麦田间生物量观测资料取自 1999—2004 年华北各地农业气象试验站,共 45 个站点。用于模型研究的观测项目有地上部生物量、叶面积、产量因素、产量结构以及 0—100cm 土壤水分含量。观测的田间管理措施包括播种量、灌溉量以及施肥量等。

1.3 研究方法

在引进国外作物生长模型 WOFOST 的基础上,首先根据生长作物参数和供试品种遗传参数以及田间试验资料对作物模型进行本地化处理,确定模型参数,进行模型参数区域化,建立区域评估模型,然后进行模型区域适宜性分析和干旱灾害模拟检验,进而构建干旱灾害评估指标,在干旱灾害指标的基础上,建立冬小麦干旱影响评估模型,最后对 1961—2006 年连续 46a 华北地区冬小麦干旱进行区域干旱影响评估并给出评估结果,区域影响评估包括历年典型干旱年份评估和年代干旱影响评估。

1.3.1 减产率的确定

$$D_t = \frac{Y_t - \bar{Y}_t}{\bar{Y}_t} \times 100\%$$

式中, D_t 为第 t 年的减产率(%); Y_t 为第 t 年无干旱条件下的模拟产量(kg/hm²); $\bar{Y}_t$ 为第 t 年在干旱发生条件下的模拟产量(kg/hm²)。

1.3.2 干旱等级的划分

本文以减产率大小来确定干旱程度,具体见表 1。

表 1 华北地区冬小麦干旱等级划分

Table 1 Classification of drought disaster category for winter wheat in North China

干旱分级 Classification of drought category	无旱 No drought	轻旱 Light drought	中旱 Middling drought	重旱 Serious drought
减产率 Yield reduction rate(Dt)/%	$D_t < 5$	$5 \leq D_t < 10$	$10 \leq D_t < 15$	$D_t \geq 15$

1.4 作物模型简介

WOFOST (World Food Study) 模型由荷兰瓦赫宁根大学研制, 得到世界粮食研究中心 (CWFS) 主持的多学科综合项目“世界粮食潜在产量研究”的资助, 该项目旨在探索增加发展中国家农业生产力的可能性。WOFOST 作为一个机理性模型, 主要用来模拟 1 年生作物生长过程如何受环境的影响。作物生长过程主要包括发育、光合作用、呼吸作用、干物质积累及分配等。土壤水分平衡过程主要包括降水、灌溉、渗透、地表蒸发、作物蒸腾、毛管水上升等^[13-14]。模型对作物发育进程的模拟采用“积温法”, 并施以光周期订正。将整个冬小麦生育期划分为出苗—开花和开花—成熟两个发育阶段, 模型中作物到某时刻的发育阶段以数字表示, 出苗期为 0, 开花期为 1, 成熟期为 2, 每个阶段的有效积温为模型发育参数。

2 华北冬小麦区域模型数据库的建立

2.1 冬小麦越冬期和返青期的划分

根据前人研究结果, 秋季 5 日滑动平均气温降至 0℃ 时记为冬小麦停止生长期, 春季 5 日滑动平均气温大于 0℃ 且麦苗心叶开始生长记为返青期, 以此作为 WOFOST 模型中 TMNF 参数判定冬小麦进入越冬期和返青期的界限指标^[8, 15-16]。

2.2 播种期的确定

农业气象上, 一般以冬前积温和日平均温度分别达到一定阈值为适宜播种的农业气象指标。本研究选择日平均温度稳定通过 15℃ (5 日滑动平均) 的终日作为模型中冬小麦的适宜播种期^[8, 15-16]。华北地区冬小麦适宜播种期由南至北有逐渐提前的现象, 从每年的 10 月 17 日 (闰年为 16 日) 一直提前到 9 月 7 日。京津地区及以南河北省境内的中南部地区冬小麦适宜播种期一般都在 9 月 17 日到 27 日之间; 京津以东地区和山东省的西北部冬小麦适宜播种期一般都在 9 月 7 日到 17 日之间; 山东省东部和胶州、莒县、曲阜、济宁、聊城以及河北省的曲周、临城、邢台附近地区冬小麦适宜播种期一般在 9 月 27 日到 10 月 7 日之间; 河北与河南以及山东与河南交界处以南地区包括整个河南省冬小麦适宜播种期一般都在 10 月 7 日到 17 日之间。

2.3 小麦品种熟性的统计分析

对 1981—2006 年河北 11 个区县、山东 9 个区县和河南 28 个区县的冬小麦品种进行了统计, 3 个省均以冬性和半冬性品种为主, 这两个品种在 3 个省份中分别占 100%、99% 和 73%。因此, 华北冬小麦区域评估模型以冬性和半冬性品种为主。

2.4 华北冬小麦灌溉及施肥情况

华北各地灌溉时间、灌溉次数及灌溉量不完全一致, 通常为 3—6 次, 多数地方每次灌溉量在 100—600 m³。施肥也存在类似情况。因此为了便于应用的目的, 在做区域评估时, 如无农业气象田间观测记录, 就采用以下假设情况:

灌溉次数为 5 次, 分别在播前、越冬前 (浇冻水)、拔节期、抽穗期和灌浆期。

灌溉量为 350 m³

施肥为 2 次, 播前施底肥、返青后追肥。施肥量 N、P、K 分别为 80、100、100 kg/hm²。

2.5 小麦区域化评估模型的建立

根据华北地区冬小麦品种种植情况, 确定小麦模型参数, 区域化时划分相似单元, 以各单元上的资料齐全的代表点 (2000—2003 年) 的资料来调试模型参数, 表 2 给出了华北地区冬小麦模型区域化后的主要作物参数。

2.6 小麦区域化评估模型的检验

2.6.1 区域上单点的检验

在研究区域选取长序列有实测值的单点进行检验, 并做量化统计分析。

选取冬小麦主要种植区、代表性强、站点分布相对均匀 10 个站点 1996—2005 连续 10a 的产量资料来进行验证。其中河北省选取 3 个站点, 分别是唐山、涿州和南宫; 山东省选取 3 个站点, 分别是泰安、潍坊和临

沂;河南省选取 4 个站点,分别是郑州、驻马店、商丘和新乡。图 1 给出了模拟产量与实测产量 1:1 点图。另外,还对各站点的模拟值与实测值进行了统计分析:相对误差小于 5% 的占 27%,在 5%—10% 之间的占 68%,在 10%—15% 的占 2%,大于 15% 的 3%。平均误差为 6%。可见,模拟值与实测值比较接近,且相对误差也在模型允许的误差范围之内,说明 WOFOST 模型可用于模拟华北区域小麦的生产。

表 2 华北地区冬小麦模型区域化的主要作物参数
Table 2 The main crop parameters of the model of winter wheat in North China

参数 Parameter	意义 Meanings	取值 Value
TSUM0	播种-出苗需要的总热量单位/(℃ d)	105.8 (冬性), 142(半冬性), 120(春性)
TSUM1	出苗-开花需要的总热量单位/(℃ d)	1450(冬性), 1070(半冬性), 1000(春性)
TSUM2	开花-成熟需要的总热量单位/(℃ d)	688.6(冬性), 770(半冬性), 740(春性)
TDWI	初始总干物重/(kg/hm ²)	210(冬性), 210(半冬性), 200(春性)
EFFTB	单叶初始光能利用率/(J m ⁻² s ⁻¹)	0.47(0℃) 0.47(40℃)
TBASEM	保证出苗的下限温度/℃	1(冬性), 1(半冬性), 2(春性)
TEFFMX	保证出苗的上限温度/℃	30

2.6.2 区域上典型年份检验

1980 年后,华北地区发生典型的区域性干旱较多,本文选取河北、山东、河南 3 个省 7 个典型干旱年样本作了检验分析,平均模拟误差为 5.91%,说明调整后的 WOFOST 模型能够较好地反映华北地区冬小麦生长发育情况(表 3)。

2.6.3 华北冬麦区土壤水分模拟检验

为了验证 WOFOST 模型在华北冬麦区应用的可靠性,对 1999—2000 年冬小麦生长过程中根区土壤含水量变化进行了回代检验,并做定量化统计分析。其中河北省选 3 个站点(唐山、霸州和南宫),共 12 个样本;河南省选 3 个站点(郑州、驻马店和商丘),共 13 个样本。25 个样本的模拟误差在-18.11%—11.61 之间,平均误差为 8.21%(图 2)。

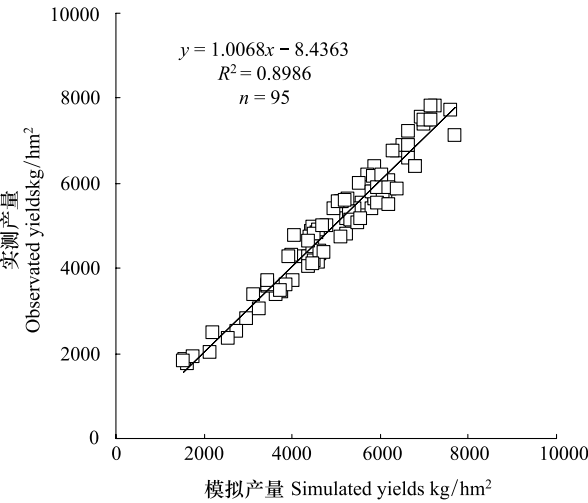


图 1 华北地区冬小麦产量模拟值与实测值分布图
Fig.1 Distributed chart of simulated yields and observed yields of winter wheat in North China

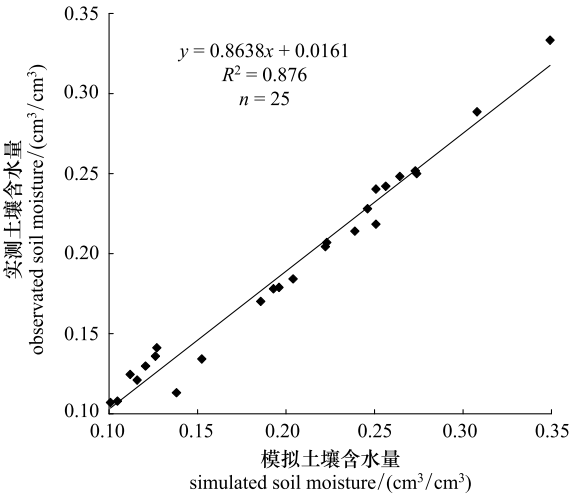


图 2 华北地区冬小麦根区土壤含水量模拟值与实测值分布图
Fig. 2 Distributed chart of simulated soil moisture and observed soil moisture for winter wheat in North China

3 结果与分析

3.1 历年典型干旱年份影响模拟

20 世纪 60 年代以来,华北地区发生典型区域性干旱的年份较多,本文选取 1980—1981、1988—1989、

1995—1996、1999—2000、2005—2006 年等 5 个典型干旱年份为例^[17],对华北冬麦区进行了干旱模拟,并给出了影响评估结果(图 3)。

表 3 华北地区典型干旱年份检验结果
Table 3 The tested results for typical drought disaster years in North China

年份 Years	台站 Stations	多年平均降水 下模拟值 Simulated yields under average precipitation /(kg/hm ²)	实际降水下模拟值 Simulated yields under actual precipitation /(kg/hm ²)	实测值 Observed yields /(kg/hm ²)	模拟灾损 Simulated disaster loss /%	模拟误差 Simulated error /%
1991	邢台/河北	3223	3025	3214	-6.14	-5.88
1990	石家庄/河北	5276	5014	5221	-5.23	-3.96
2001	莒县/山东	5045	4856	4695	-3.75	+3.43
1997	沂源/山东	4767	4559	4825	-4.36	-5.51
1991	卢氏/河南	2418	2165	1995	-10.46	+8.54
1993	许昌/河南	3910	3657	3918	-7.44	-6.66
2000	驻马店/河南	3270	3015	3253	-7.80	-7.32

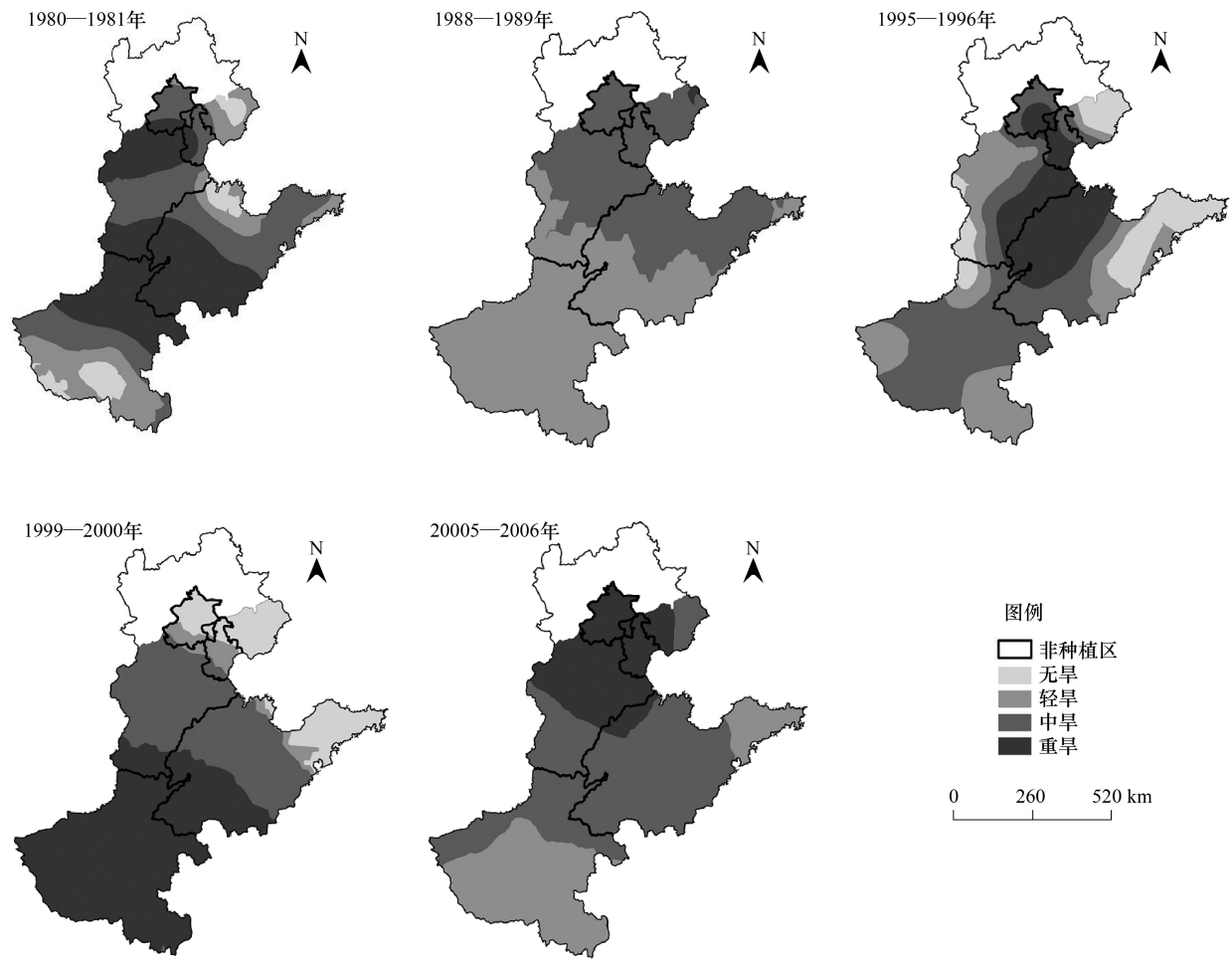


图 3 华北冬麦区历年典型干旱等级空间分布图
Fig. 3 Spatial distribution of the classification of drought category of winter wheat in North China in past typical years

从历年典型干旱等级空间分布情况来看,1980—1981 年为干旱较为严重的年份,华北大部分地区表现为

轻旱-重旱程度,全区冬小麦平均减产 19.49%。重旱区主要在京津以西地区,河北省涿州、霸州、保定市,山东省淄博、莱芜、日照沿线以南地区,河南省洛阳、登封、尉氏、郸城沿线以北地区,减产均在 15% 以上;河北迁西、迁安、卢龙,山东沾化东营等地,河南泌阳、社旗、确山、邓州、淅川等地则为无旱区,冬小麦产量基本保持稳定。1988—1989 年干旱程度为中等偏下,全区冬小麦平均减产为 11.12%。除河北青龙部分地区发生重旱外,其余地区均为轻旱—中旱程度,且分布规律由北至南呈现递减趋势。河北石家庄、南宫及山东禹城、济南、莱芜、安丘、胶南沿线以北为中旱区,沿线以南为轻旱区。1995—1996 年华北冬麦区干旱发生程度相对较重,全区冬小麦平均减产 23.59%。重旱区主要集中在京津中部地区以及河北、山东两省交界处附近地区;河南大部地区为中旱发生区;河北昌黎、抚宁、青龙、迁西、迁安、卢龙、邢台、武安和涉县等地,河南安阳、林县和鹤壁等地以及山东东部大部地区为无旱区。1999—2000 年干旱为中等程度,由北自南表现为逐渐加重的趋势,全区冬小麦平均减产 11.17%。重旱区主要在河北武安、曲周、山东聊城、肥城、泗水、郯城沿线以南地区;沿线以北大部地区为中旱区;河北东部地区、京津北部地区以及山东东部地区为无旱区。2005—2006 年干旱发生程度相对较轻,全区冬小麦平均减产 7.95%。重旱区主要分布在京津及其以南地区延伸到河北灵寿、正定、衡水、故城沿线一带地区;山东省大部地区与河北、河南交界处附近为中旱区;山东东部地区与河南洛宁、汝阳、栾川、温县、郑州、尉氏、太康、鹿邑沿线以南等地为轻旱区。以上研究结果与前人研究结论基本较符^[18]。

3.2 干旱年代际影响模拟

应用干旱评估指标,对华北冬麦区进行了连续 46a(1961—2006 年)的干旱减产率分析和干旱等级划分,图 4 给出了华北地区冬小麦年代际干旱等级评估结果。

20 世纪 60 年代即 1961—1970 年干旱发生程度较轻,为轻旱—中旱程度,全区冬小麦平均减产 6.12%。河南林县、安阳、河北磁县、曲周、威县以及山东夏津、齐河、泰安、沂源、安丘、诸城沿线以北为中旱区,沿线以南为轻旱区。20 世纪 70 年代即 1971—1980 年达到中等程度干旱,全区冬小麦平均减产为 10.44%。重旱区主要分布在京津以南延伸到河北省的中部和南部地区;山东大部 and 河南中北部地区为中旱区;轻旱区主要在山东省东部地区以及河南省的南部地区。20 世纪 80 年代即 1981—1990 年华北地区除山东东部部分地区与河南偏西等地为重旱区外,其余地区均为中旱区,全区冬小麦平均减产为 7.99%。20 世纪 90 年代即 1991—2000 年接近中等程度干旱,全区冬小麦平均减产为 9.4%。干旱等级分布规律由东至西基本上呈低—高—低的趋势,重旱区主要集中在河北与山东交界处以东地区;河北省以西地区、山东省中东部以及河南省的西部与东部部分地区为轻旱区;河南省的固始附近则属于无旱区。2001—2006 年为轻度干旱程度,全区大部地区为中旱区,冬小麦平均减产为 7.8%。仅北京以西部分地区为重旱区;山东省烟台、蓬莱、莱州、潍坊、沂源、莒县、临沂一带以及河南省信阳等地为轻旱区,其余地区均为中旱区。1961—2006 年即 46a 全区平均情况来看属于轻度干旱程度,全区冬小麦平均减产为 8.96%。重旱区主要分布在京津交界处、河北与山东交界处以及河北、山东、河南三省交界处附近地区;河北青龙、迁西、迁安、抚宁、山东莱州附近以及莒县、五莲、日照等地则属于无旱区。

4 结论

本文基于 WOFOST 作物生长模型,在模型适宜性分析及验证的基础上,通过数值模拟的研究方法,以导致减产的气象因子及其量值作为华北冬麦区干旱灾害评估指标,对华北地区冬小麦干旱进行了较为详细的模拟研究,并给出干旱灾害等级,得到以下基本结论:

从华北冬麦区历年发生过的 5 个典型干旱年份模拟结果来看,1980—1981 年和 1995—1996 年干旱发生程度相对较重,1988—1989 年与 1999—2000 年为中等程度干旱,2005—2006 年干旱发生程度相对较轻。

从华北冬麦区年代际干旱模拟结果来看,1961—1970 年、1981—1990 年、2001—2006 年及 1961—2006 年均属于轻度干旱程度,1971—1980 年达到中等程度干旱,1991—2000 年接近中等程度干旱。

5 讨论

一直以来,农业气象灾害影响评估方法都是国内外很多专家学者非常关注的热点问题^[19-20],本文尝试性

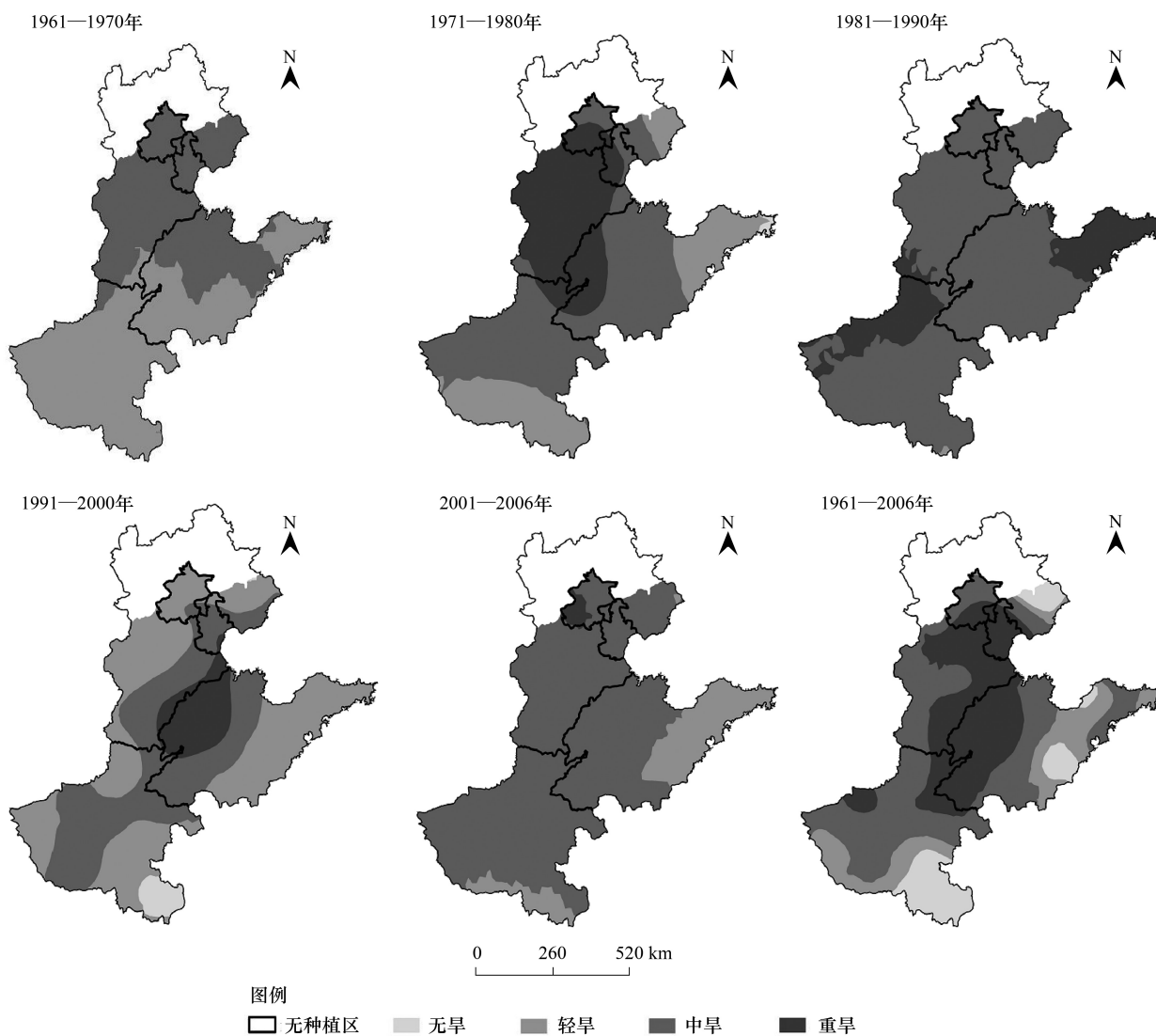


图4 华北冬麦区年代际干旱等级空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of the classification of drought category of winter wheat in North China in decades

地借助作物生长模型能够综合考虑作物-土壤-大气这一优点^[21],通过数值模拟的研究方法模拟分析了干旱对作物所产生的影响,希望这一研究方法能够拓展和延伸农业气象灾害的影响评估方法。另外,本文结论基本可靠,可为干旱对冬小麦的影响评估提供一定的科学依据。值得指出的是,干旱对作物的影响是多方面、也是非常复杂的,针对华北地区普遍具有灌溉和施肥这一现状,在考虑灌溉和施肥的条件下对华北地区冬小麦的生长做了模拟,虽然能够在一定程度上能够反映出实际灌溉和施肥情况,但由于模型本身的局限性,同时由于资料所限,模型假设的灌溉与施肥与实际情况可能存在很大差别,在一定程度上导致模型模拟结果的准确性。因此,如何在作物生长模拟过程中更好地考虑实际灌溉与施肥情况还需进一步完善。

References:

- [1] Edit Group of China Statistical Annual. China Statistical Annual. Beijing: National Bureau of Statistics of China, 2008.
- [2] Zhu Z X, Liu R H, Fang W S. Evaluation indices of drought of winter wheat in North China. Journal of Natural Disasters, 2003; 12(1): 145-150.
- [3] Guo, J X, Li Q Z, Yan C R, Mei X D, Li Y Z. Effects of small area irrigation on water and heat transport of winter wheat field under drought condition. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 2008, 24(12): 20-24.
- [4] Hu, J C, Cao W X, Jiang D, Luo W H. Quantification of water stress factor for crop growth simulation: I. Effects of drought and waterlogging

- stress on photosynthesis, transpiration and dry matter partitioning in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* 2004,30(4):315-320.
- [5] Xu H, Biswas D K, Li W D, Chen S B, Zhang L, Jiang G M, Li Y G. Photosynthesis and yield responses of ozone-polluted winter wheat to drought. *Photosynthetica* 2007,45(4):582-588.
- [6] Qu T, Nan Z. Research progress on responses and mechanisms of crop and grass under drought stress. *Acta Prataculturae Sinica*. 2008,17(2):126-135.
- [7] Liu J D, Wang F T, Yu Q, Wang J L, Bi J J, Pan G H. A drought prediction model in North China plain and its application. *Journal of Applied Meteorological Science*. 2003,14(5):593-604.
- [8] Ma Y P. Study on Winter Wheat Regional Simulation Model Based on Remote Sensing data and It's Simulations in North China[D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2004
- [9] Wang C Y, Wang S L, Huo Z G, Guo J P, Li J. Progress in research of agro-meteorological disasters in China in recent decade. *Acta Meteorological Sinica*, 2005,63(5):659-671
- [10] Wang S L. Review of the progress in methods of agro-meteorological disaster prediction in China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2003,14(5):574-582
- [11] Qin Z H, Xu B, Li M S, Wang D L, Zhang W C, Li W J, Huang J M. Advances in research on mechanism and monitoring of agro-meteorological disasters in China. *Journal of Natural Disasters*, 2005,14(2):61-69
- [12] Lin Z H, Mo X G, Xiang Y Q. Research advances on crop growth model. *Acta Agronomica Sinica*, 2003,29(5):750-758
- [13] Hijmans R J, Guiking Lens I M, van Diepen C A. User guide for the WOFOST 6. 0. Crop growth simulation model. Technical document 12. Wageningen: DLO Winand Staing Centre, 1994.
- [14] Supit I, Hooijer A A, van Diepen C A. System Description the WOFOST 6.0 Crop Simulation Model Implemented in CGMS. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1994
- [15] Shi D S, Mao L X. Ensure Conspectus on Production Meteorology of Winter Wheat. Beijing: China Meteorological Press, 1994.
- [16] Zhang J P. Impact Evaluation of Agro-meteorological Hazard to Yields of Crops in Northeast China and North China Based on Crop Growth Model [D]. Beijing: China Agricultural University, 2010.
- [17] Wang C Y, Lou X R, Wang J L. Influence of agricultural meteorological disasters on output of crop in China. *Journal of Natural Disasters*, 2007,16(5):37-43
- [18] Wu D L, Wang C Y, Xue H X, Zhang X F. The drought risk zoning of winter wheat in North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011,31(3):760-769
- [19] Reynolds M, Tuberosa R. Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Current Opinion in Plant Biology*, 2008,11(2):171-179.
- [20] Murthy C S, Sai M V R, Kunari V B, Prakash V S, Roy P S. Study of crop condition and assessment of agricultural drought in rabi season using IRS-AWiFS images. *Journal of Agrometeorology*, 2008,10(1):19-26.
- [21] Statna M, Eitzinger J. Impact of various drought patterns on simulated crop growth and yield in a semi-arid agricultural region in Central Europe. *Hydrology: science and practice for the 21st century, Volume 1// Proceedings of the British Hydrological Society International Conference*. London: Imperial College, July 2004: 229-233.

参考文献:

- [1] 中国统计年鉴编写组. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [2] 朱自玺, 刘荣花, 方文松, 王友贺. 华北地区冬小麦干旱评估指标研究. *自然灾害学报*, 2003,12(1):145-150.
- [7] 刘建栋, 王馥棠, 于强, 王建林, 毕建杰, 樊广华. 华北地区农业干旱预测模型及其应用研究. *应用气象学报*, 2003,14(5):593-604.
- [8] 马玉平. 基于遥感信息的华北冬小麦区域生长模型及其模拟研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2004.
- [9] 王春乙, 王石立, 霍治国, 郭建平, 李君. 近 10 年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展. *气象学报*, 2005,63(5):659-671.
- [10] 王石立. 近年来我国农业气象灾害预报方法研究概况. *应用气象学报*, 2003,14(5):574-582.
- [11] 覃志豪, 徐斌, 李茂松, 王道龙, 张万昌, 李文娟, 黄建明. 我国主要农业气象灾害机理与监测研究进展. *自然灾害学报*, 2005,14(2):61-69.
- [12] 林忠辉, 莫兴国, 项月琴. 作物生长模型研究综述. *作物学报*, 2003,29(5):750-758.
- [15] 史定珊, 毛留喜. 冬小麦生产气象保障概论. 北京: 气象出版社, 1994.
- [16] 张建平. 基于作物生长模型的农业气象灾害对东北华北作物产量影响评估[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
- [17] 王春乙, 娄秀荣, 王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响. *自然灾害学报*, 2007,16(5):37-43.
- [18] 吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 张雪芬. 华北地区冬小麦干旱风险区划. *生态学报*, 2011,31(3):760-769.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenzhe, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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)

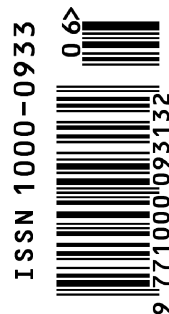
第 33 卷 第 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元