

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **2013**

中国生态学会
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 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

资源与产业生态

- 近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 李晓萌, 孙永华, 孟 丹, 等 (6694)
- 三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 李 斌, 徐丹丹, 王志坚, 等 (6704)

研究简报

- 北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子 陈文婧, 李春义, 何桂梅, 等 (6712)
- 植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 王 鹏, 李贤伟, 赵安玖, 等 (6721)
- 高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红, 易乐飞, 徐军田, 等 (6730)

学术信息与动态

- 生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 房学宁, 赵文武 (6736)
- 生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 巩 杰, 岳天祥 (6741)
- 回顾过去, 引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介 彭少麟, 陈宝明, 周 婷 (6744)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-10



封面图说: 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属, 是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带, 集群穴居, 挖掘能力甚强, 洞道深而复杂, 多挖在岩石坡和沟谷灌丛下, 从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近, 形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分, 农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大, 往往导致栖息地破碎化, 对动植物种产生强烈影响, 啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策, 是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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/stxb201212151804

刘勤,梅旭荣,严昌荣,居焯,杨建莹.华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析.生态学报,2013,33(20):6643-6651.

Liu Q, Mei X R, Yan C R, Ju H, Yang J Y. Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6643-6651.

华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析

刘 勤^{1,2}, 梅旭荣^{1,2}, 严昌荣^{1,2,*}, 居 焯^{1,3}, 杨建莹^{1,2}

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;

2. 农业部旱作节水农业重点实验室, 北京 100081; 3. 农业部农业环境重点实验室, 北京 100081)

摘要:为了探究气候变化背景下作物降水亏缺变化规律和影响因素,该文基于华北地区 1971—1980 年和 2001—2010 年气象数据和冬小麦生育期资料,研究了冬小麦生育期内降水亏缺变化特点,利用构建的敏感度分析模型探讨了降水亏缺量对主要气候要素的敏感性特征。研究表明,2001—2010 年华北中部地区全生育期内干旱加重,降水亏缺面积略有增加;播种—返青期内降水亏缺程度自江苏徐州—河南许昌一线往北都有所加剧,返青—拔节期内降水亏缺程度缓解,拔节—抽穗期内降水亏缺程度加重,仅在山西中部太原地区降水略有盈余,抽穗—成熟期内降水亏缺有所缓解;冬小麦拔节—抽穗期降水亏缺量对日照时数高度正向敏感站点最多,主要分布在河北北部地区和安徽省,其次是风速,对温度和降水的高度正向敏感站点最少。该文为制定灌溉定额,农业水资源管理和缓解水资源供需矛盾提供科学依据。

关键词:气候变化;水供应;冬小麦;降水亏缺;华北区

Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China

LIU Qin^{1,2}, MEI Xurong^{1,2}, YAN Changrong^{1,2,*}, JU Hui^{1,3}, YANG Jianying^{1,2}

1 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Science Beijing 100081, China

2 Key Laboratory of Dryland Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China

3 Key Laboratory of Agricultural Environment, Ministry of Agriculture, Beijing 100081 China

Abstract: Currently, it is widely recognized that the determination of water deficit for crop water requirement is a key part of design and operation of agricultural water resource systems. This paper analyzes the weather and crop data for the periods of 1971—1980 and 2001—2010, to assess the spatial dynamic variation of water deficit of winter wheat in different growth stages. The water deficit changes during jointing and heading stages were investigated considering the shapes of climate parameters using sensitivity analysis model. The results identified an increasing trend of total water deficit of winter wheat in central Northern China where large part is arid land. Moreover the drought degree of winter wheat showed more aggravation during the period between sowing and returning green stages along the line of Xuzhou and Xuchang to the north. Water deficit had alleviated during the period between returning green and jointing stages, excluding central part of Northern China. The spatial pattern of water deficit of winter wheat showed an increasing trend during the period between jointing and heading stages except in the central part of Shanxi Province. Most part of the Northern China showed a decreasing trend of water deficit during the period between heading and maturity stages, where as in the south west of Northern China water deficit increased. During jointing and heading stages of winter wheat, the meteorological stations where water deficit changes are positively linked to sunshine duration account for the majority and the stations where water deficit changes is positive

基金项目:国家 973 项目(2012CB955904);国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD09B01);2012 基本科研业务费项目(BSRF201105)

收稿日期:2012-12-15; 修订日期:2013-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanrc@ieda.org.cn

sensitive to sunshine duration are located in Hebei Province. The wind speed is followed, and the stations where water deficit changes are positive sensitive to mean air temperature account for the minority. The findings from this research provide an important information base for the regional studies of irrigation scheduling, water resources management to ease the tension of water resources supply and demand.

Key Words: climate change; water supply; winter wheat; water deficit; Northern China

粮食安全是当前国内外关注的焦点,尤其是近年来国内外粮食供需矛盾越来越突出。随着粮食主产区持续向缺水和生态脆弱的北方地区转移,水土资源不相匹配、水资源匮乏对粮食生产的影响更加凸显^[1]。在水资源方面,我国降水呈现总量少、年际分布不均匀且在全球气候变化的影响下变化愈加复杂等特性。据统计,1956—2005年降水总量81%分布在长江流域及以南地区,而60%以上的耕地却集中于北方地区,且以400 mm等雨量线以东地区为主。随着我国粮食主产区逐渐向中部和北部转移,单位耕地面积上水资源的占有量还将进一步减少,可见,水资源不足和水土资源不相匹配成为影响我国粮食安全的主要因素。与此同时,农业灌溉水量锐减,用水效率低,进一步影响了我国的粮食产量。据统计,我国2/3的粮食产量来自于占总耕地面积1/2的灌溉面积上^[2],在农业生产的规划和实际灌溉管理中,常常通过加大灌溉力度满足农田用水的需求,而土壤水却在无效消耗。据相关分析,整个华北地区降水量的55%以上转化为土壤水资源^[3],黄淮海大部分地区的冬小麦全生育期需水量的50%—70%,夏玉米全生育期需水量的80%以上可由土壤水提供^[4],因此,研究区域尺度上降水量和作物需水量的匹配情况,摸清作物降水亏缺值变化规律,对因地制宜地采取综合节水措施,提高农业水资源利用效率,缓解水资源供需矛盾具有重要意义。

随着气候变化的加剧,农业水资源对气候变化尤其是全球变暖的响应问题,包括水循环、水量时空分布、降水极端事件与洪涝灾害等的改变逐渐受到关注^[5]。作物降水亏缺是引起作物减产的重要原因^[6],弄清作物需水量及其空间分布,是确定作物灌溉制度以及地区灌溉用水量的基础^[7]。在土壤水分充分的情况下,气象因素是影响作物需水量的主要因素^[8],同时,农业技术措施也会对作物需水产生影响。多年来,对作物需水量的研究主要集中在田间或点的水平,主要采用经验公式法、水量平衡法^[9-11]和微气象学法^[12]等,并取得了较大进展。以能量平衡原理为基础的Penman公式法,只需利用常规气象资料便可较为准确地计算出参考作物的需水量,该法已成为计算参考作物需水量的一种主要方法^[13-14]。我国在作物需水量的研究方面做了大量工作^[15-17],此外,有关作物系数的研究工作开展的也比较广泛,全国许多地方都对当地主要农作物的作物系数进行了测定,积累了比较丰富的资料。但关于区域尺度作物降水亏缺研究还相对较少,大多局限在区域全年内水分变化或者作物全生育期内降水盈亏方面,针对具体作物和具体生育阶段降水亏缺的研究还很少见。杨建莹^[18]比较研究了1971—1980年和21世纪近10年两个时期华北地区气候资源及冬小麦生育期的变化,发现华北地区北部年均气温及 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温增加显著,但降水减少,暖干趋势明显,中部和南部年均气温和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温也呈现增加趋势,但降水增多,日照下降,出现暖湿趋势;冬小麦生育期也发生了不同程度的变化,播期普遍推迟7—10 d,拔节期提前,其中北部地区幅度较大,约5—10 d,大部分地区冬小麦成熟期推迟5—10 d。本文旨在基于华北地区两个不同时间阶段气象数据和冬小麦生育期资料,研究冬小麦各生育阶段内降水量与需水量匹配情况,探讨气候变化对冬小麦各生育阶段降水亏缺的影响,为及早建立预警预报系统,合理利用农业水资源、缓解水资源供需矛盾提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本文采用国家“十一五”科技支撑计划“农田水分生产潜力适度开发研究”项目对华北地区的划分方法。华北地区主要指长城沿线以南,淮河、秦岭和白龙江以北,黄土高原以东,汾渭河以东地区,包括北京、天津、山西、河北、山东、河南、江苏、安徽等省(市)的全部或部分,共计587个县市(图1),位于 $110^{\circ}12'\text{E}$ — $122^{\circ}43'\text{E}$,

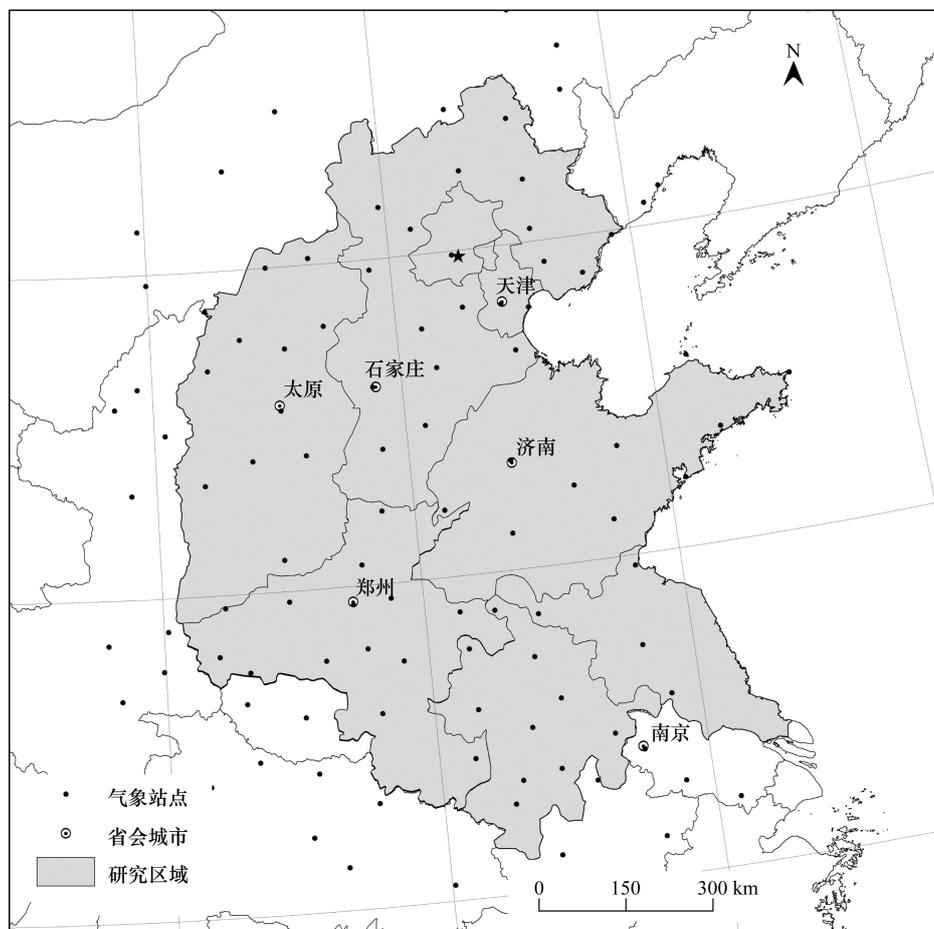


图1 华北区主要气象站点分布图

Fig.1 Distribution of meteorological stations in Northern China

31°2′—42°42′N。据统计,该区耕地面积约 2.44×10^7 hm^2 ,其中水田面积占 3%,水浇地面积占 54%,旱地面积占 43%。年降水量在 500—800 mm,季节分布不均,作物熟制以一年两熟或两年三熟为主,是中国小麦、玉米、棉花和花生等优势农产品的主产区。

1.2 数据来源

本文采用的气象资料来源于国家气象局。从华北地区及周边筛选出 107 个具有 1971—2009 年完整观测序列的气象站点作为分析对象(华北地区内 72 个气象站点和华北地区周边 35 个气象站点)。20 世纪 70 年代冬小麦生育期数据来源于文献^[19],21 世纪近 10 年冬小麦生育期数据来源于对华北地区各县市的冬小麦生育期调研资料。冬小麦各生育期阶段的作物系数来源于文献^[15]。

1.3 研究方法

1.3.1 Penman-Monteith 方程

计算参考作物蒸散量的 Penman-Monteith 公式如下^[20]

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

式中, ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d); R_n 为作物表面净辐射量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); γ 为湿度计常数(kPa/C); T 为空气平均温度(C); U_2 为在地面以上 2m 高处的风速(m/s); e_s 为空气饱和水汽压(kPa); Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线的斜率(kPa/C); e_a 为空气实际水汽压(kPa)。

1.3.2 小麦生育期内降水亏缺计算方法^[16]

$$W_i = P_{ei} - ET_{ci} \quad (2)$$

式中, W_i 为生育期第 i 阶段水分盈亏量 (mm); P_{ei} 为第 i 阶段有效降水量 (mm); ET_{ci} 为第 i 阶段冬小麦需水量。

$$ET_{ci} = ET_{0i} \times k_{ci} \quad (3)$$

式中, ET_{ci} 是第 i 阶段冬小麦需水量 (mm); k_{ci} 是第 i 阶段冬小麦的作物系数, ET_{0i} 是第 i 阶段参考作物蒸散量 (mm)。

有效降水量是根据美国农业部土壤保持局推荐的方法, 其有效性已在许多学者的研究中予以证明^[21-22]。

$$P_e = P \times (4.17 - 0.2P) / 4.17 \quad P < 8.3 \text{ mm/d} \quad (4)$$

$$P_e = 4.17 + 0.1P \quad P \geq 8.3 \text{ mm/d}$$

1.3.3 敏感度分析模型

为了研究作物生育期内降水亏缺量变化对降水量、平均温度、日照时数、相对湿度和风速 5 个基本气象要素的变化的响应, 构建了降水亏缺量对这 5 个基本要素的敏感度评价模型:

$$\beta = [(W_{i+1} - W_i) / W_i] / [(x_{i+1} - x_i) / x_i] \quad (5)$$

式中, W_i 、 W_{i+1} 分别为基期 (20 世纪 70 年代) 和末期 (21 世纪近 10 年) 的降水亏缺量 (mm), x_i 、 x_{i+1} 分别为相应的 5 个基本气象要素的值; 若 $\beta < 0$ 表明降水亏缺量对基本气象要素变化呈反向敏感, β 的绝对值越大, 反向敏感性越强; 若 $\beta > 0$, 说明降水亏缺量与基本气象要素同向变化, β 值越大, 降水亏缺量对基本气候要素变化的正向敏感性越高, 即气候要素的较小波动会引起降水亏缺量的较大变化。

2 结果与分析

2.1 冬小麦全生育期降水亏缺变化

为了探讨 2 个时间阶段 (20 世纪 70 年代和 21 世纪近 10 年) 冬小麦生育期内降水亏缺变化情况, 明确华北地区冬小麦生育期内水分供需平衡变化特征, 本文近 10 年华北地区冬小麦全生育期降水亏缺量减去 70 年代冬小麦全生育期降水亏缺量的差值, 对其空间变化特征进行了研究。由图 2 可见, 70 年代相比, 近 10 年来华北大部分地区冬小麦生育期内降水亏缺愈加严重, 研究结果与陈玉民^[15]、王文峰^[23] 研究结论基本一致。河北省南部保定、石家庄地区, 河南省郑州以及山东省济南地区冬小麦全生育期内降水亏缺加重程度明显。河南省郑州以及山东省济南地区 70 年代冬小麦全生育期内降水亏缺量在 200—300 mm, 近 10 年来降水亏缺量增至 300—350 mm, 变化程度在 75 mm 以上。河北省唐山、秦皇岛地区, 山西省北部地区以及山东省胶东半岛地区冬小麦全生育期内降水亏缺程度有所缓和。70 年代, 这部分地区冬小麦全生育期内降水亏缺量在 300—350 mm, 近 10 年来该地区冬小麦全生育期内降水亏缺量下降至 200—300 mm, 变化幅度在 50 mm 以上。

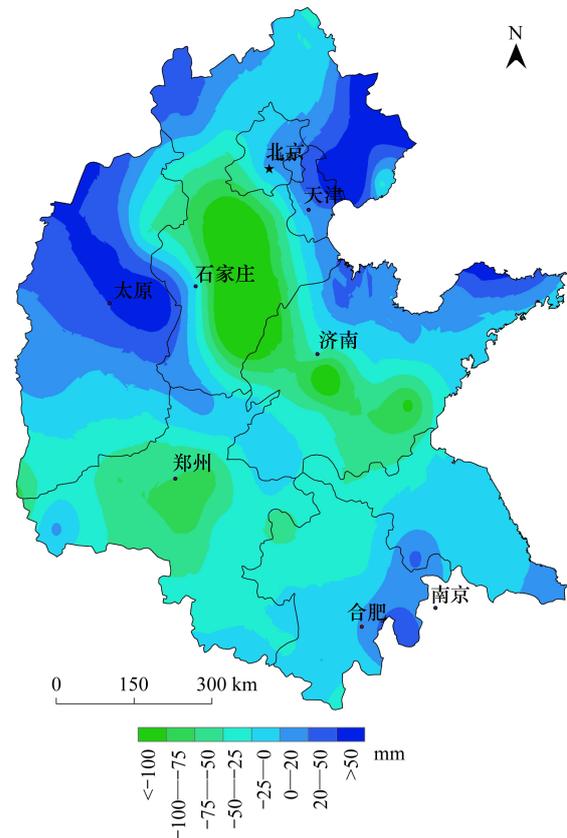


图 2 冬小麦生育期内降水亏缺变化空间分布图

Fig.2 Variation of water mismatch in whole growth stage of winter wheat

负值表示降水亏缺加重, 正值表示缓解。图为 20 世纪 70 年代和 21 世纪近 10 年降水亏缺差值

2.2 冬小麦各生育期阶段降水亏缺变化

近 10 年,华北地区冬小麦播种期—返青期内降水亏缺程度自江苏省徐州—河南许昌一线以北都有所增加(图 3)。河北省中部及南部、山东省西北部以及山西与河南两省的交界处冬小麦播种期—返青期内降水亏缺变化在 20 mm 以上,其中以河北石家庄、衡水和山东济南地区冬小麦播种期—返青期内干旱程度加重,变化幅度在 40 mm 以上,是华北地区冬小麦播种期—返青期内降水亏缺变化最为剧烈的地区,这部分地区需要灌溉来满足冬小麦对水分的需求。大部分地区冬小麦返青期—拔节期内降水亏缺程度有所缓解,只在华北中

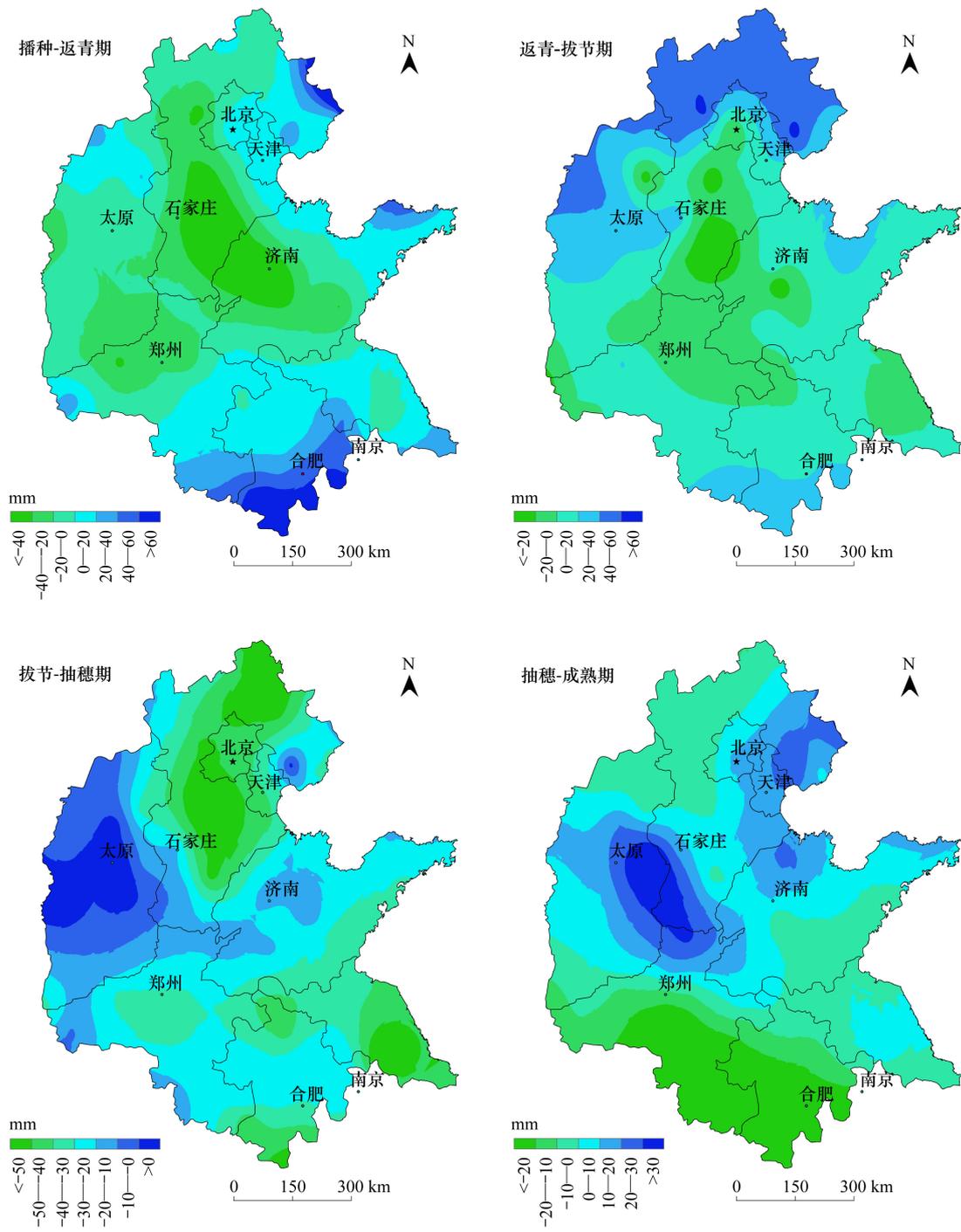


图 3 冬小麦各生育阶段降水亏缺变化空间分布图

Fig.3 Variation of water mismatch of winter wheat during different periods

负值表示降水亏缺加重,正值表示缓解;70 年代和近 10 年降水亏缺差值

部地区有所加重(图3)。河北省南部邯郸、衡水地区,河南省东北部及山东省西部地区冬小麦拔节期—抽穗期内干旱程度加剧(图3),增加幅度可达20 mm以上。冬小麦拔节期—抽穗期内降水亏缺程度加重,华北北部的北京市、天津市、河北省及华北中部的山东省、河南省等省市冬小麦降水亏缺加重,降水亏缺增加量在20 mm以上,另外,70年代,江苏省北部及安徽省北部冬小麦拔节期—抽穗期表现为水分盈余,而近10年来这部分地区出现干旱,亏缺量在20 mm以上,需要灌溉来满足冬小麦对水分的需求。华北南部的安徽省安庆地区和江苏省泰州地区近10年虽然也表现为水分盈余,但相比盈余量减少。华北中部地区冬小麦抽穗期—成熟期内降水亏缺有所缓解,西南部地区冬小麦抽穗期—成熟期内干旱加剧(图3)。近10年来,北京市、天津市、河北省东部和南部、山西省、河南省北部及山东省北部冬小麦抽穗期—成熟期内降水亏缺得到缓解,幅度可达20 mm。河南省南部及安徽省阜阳、淮南地区冬小麦抽穗期—成熟期内干旱加重,幅度在20 mm以上。河南省南部及安徽省南部冬小麦抽穗期—成熟期内水分盈余面积减少,且水分盈余量减少20 mm以上。冬小麦抽穗-成熟阶段是生殖生长时期,是决定千粒质量的关键期,在这个时段内,河南省南部及安徽省阜阳、淮南地区水分亏缺较重,生产中应密切关注土壤墒情,做到适时灌溉,才能获得高产。

2.3 冬小麦生育期内降水亏缺量对影响因素的敏感性特征

为了查明冬小麦生育期内降水亏缺变化原因,本文以冬小麦拔节—抽穗期为例,拔节—抽穗期是冬小麦生殖生长主阶段,利用构建的敏感度分析模型,分别对华北平原内的72个站点70年代和近10年冬小麦降水亏缺量对降水、平均温度、日照时数、相对湿度以及风速的敏感性进行了分析计算(图4)。

降水亏缺量对降水具有正向敏感性的气象站点为53个,其中高度正向敏感($\beta > 0.9$)的站点为18个,中度($0.3 < \beta < 0.9$)13个,低度($0 < \beta < 0.3$)22个,具有较高敏感性的站点主要分布在河北省的秦皇岛、承德和张家口地区,河南省的郑州、平顶山和驻马店地区,以及安徽省的北部地区,而敏感性呈负向敏感的站点($\beta < 0$)为19个,主要分布在山东省和主要分布在山东省以及山西省、河北省、和山西省、河南省交界地区(图4)。降水亏缺量对平均温度具有正向敏感性的气象站点也为53个,其中高度敏感的站点18个,中度23个,低度12个,具有较高敏感性较高的站点主要分布在河北省的秦皇岛、承德、张家口和衡水地区,河南省的郑州、平顶山和驻马店地区,以及安徽省的北部地区,而敏感性呈负向敏感的站点有19个,主要分布在山东省以及山西省、河北省和河南省交界地区主要分布在山东省和河北省南部地区(图4)。降水亏缺量对日照时数正向敏感性的气象站点为54个,其中高度敏感的站点30个,中度16个,低度8个,具有较高敏感性较高的站点主要分布在河北省的秦皇岛、承德、张家口、唐山和保定地区,安徽省的北部地区,而具有负向敏感的站点有18个,主要分布在河北省的邢台和邯郸地区和山东省和河北省的邢台和邯郸地区(图4)。降水亏缺量对相对湿度具有正向敏感性呈正向的气象站点为53个,其中高度敏感的站点17个,中度22个,低度14个,具有较高敏感性的站点主要分布在安徽省的北部地区和河南省中北部地区和安徽省的北部地区,而负向敏感性呈负向的站点有19个,主要分布在中部地区。主要分布在中部地区(图4)。对风速具有正向敏感性的气象站点为50个,其中高度敏感的站点22个,中度15个,低度13个,敏感性较高的站点主要分布在河北省的秦皇岛、承德和张家口,天津市以及安徽省的北部地区,负向敏感的站点有22个,主要分布在中南部地区(图4)。

3 结论与讨论

(1)70年代与近10年华北地区全生育期内降水亏缺空间分布的总趋势均表现为:由南向北降水亏缺程度逐减加重,4个不同生育阶段北部地区降水亏缺严重,南部地区降水亏缺相对缓和的趋势。近10年,冬小麦生育期内降水亏缺面积较70年代略有增加。与70年代相比,近10年来华北大部分地区冬小麦生育期内降水亏缺愈加严重。河北省南部保定、石家庄地区,河南省郑州以及山东省济南地区冬小麦全生育期内降水亏缺加重程度明显。

(2)近10年,华北地区冬小麦播种期—返青期内降水亏缺程度自江苏省徐州—河南省许昌一线往北都有所加重,返青期—拔节期内降水亏缺程度有所缓解,只在华北中部地区有所加重,拔节期—抽穗期内亏缺程度加重,只在华北西部山西中部太原地区水分略有盈余,抽穗期—成熟期内降水亏缺有所缓解,西南部地区冬

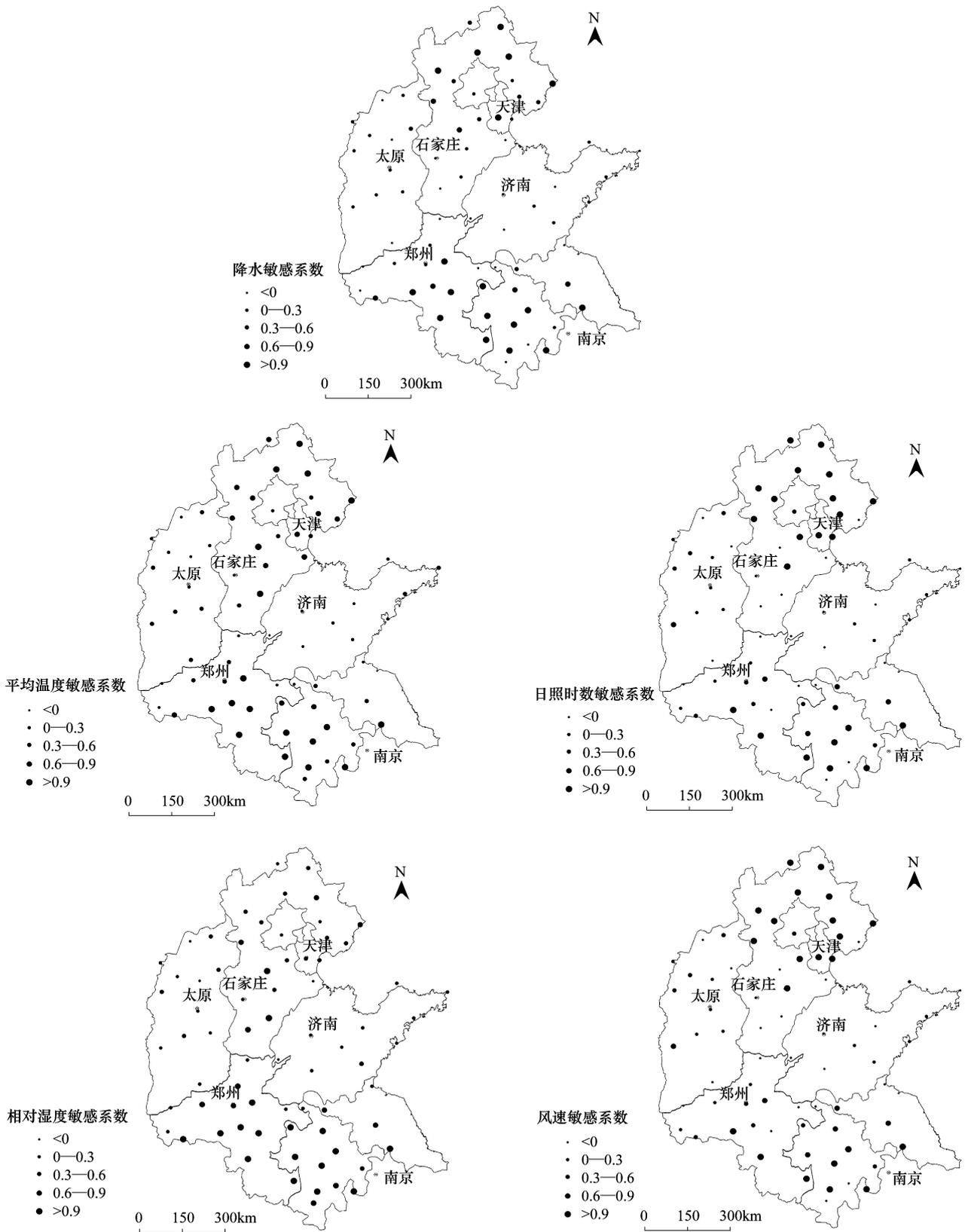


图 4 冬小麦拔节—抽穗期降水亏缺量对影响因素的敏感性格局

Fig.4 Sensitivity of water deficit changes to precipitation, mean air temperature, sunshine hours, relative humidity and wind speed during jointing stage and heading stage of winter wheat

小麦抽穗期—成熟期内干旱加剧,冬小麦抽穗-成熟阶段生殖生长时期,是决定千粒质量的关键期,在这个时段内,生产中应密切关注土壤墒情,做到适时灌溉,才能获得高产。

(3)冬小麦拔节期—抽穗期降水亏缺量对日照时数高度正向敏感站点最多,主要分布在河北省北部地区和南部安徽省,华北地区近48年太阳辐射量减弱^[24],日照时数减少,降水亏缺程度加重,其次是风速,降水盈亏量对温度和降水的高度正向敏感站点最少。

华北区降水量南高北低,而且大部分地区呈现降低的趋势^[25],而冬小麦需水量却呈现北高南低的特点^[15]。本文基于历史气象资料比较研究了华北区两个时间段冬小麦全生育期和各生育期阶段降水亏缺格局变化特征,将为华北区冬小麦调整合理灌溉时期和灌溉定额,达到合理灌溉提供理论指导。另外,在计算冬小麦生育期内需水量时,为了选取一套完整的冬小麦作物系数值,笔者经过思考对比,最终选用《中国主要农作物需水量等值线图研究》^[15]一书中的冬小麦作物系数作为标准作物系数,此值基本能够反映冬小麦不同生育阶段对水分的需求特征。但是,此套数据是基于20世纪90年代初期的试验计算得到,至今已经有近20年的时间,是否能够准确的表征当前作物品种和气候条件下作物需水特征有待进一步研究。

References:

- [1] Yang G Y, Wang L, Wang H. Thinking of food security in China based on regional water resources and land cultivation. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(12): 1-5.
- [2] The State Council of the People's Republic of China. China's food safety plan for medium and long term(2008—2020a). 2008.
- [3] Liu C M. Theory and practice in hydrology water resources research. Beijing: Science Press, 2004: 432.
- [4] Shen Z R, Su R Q. Study on countermeasures of China's agricultural water crisis. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998: 235-242.
- [5] Gleick P H. Climate change, hydrology and water resources, 1989(03).
- [6] Chen Y X, Kang S Z. Theory on deficit irrigation. Beijing: China Water Conservancy and Electricity Press, 1995.
- [7] Kang S Z, Cai H J. Agricultural water management. Beijing: China Agriculture Press, 1996.
- [8] Kang S Z, Liu X M, Xiong Y Z. Research on the model of water uptake by winter wheat root system. *Acta Univ. Boreali-occidentalis*, 1992, 20(2): 5-12.
- [9] Feng J Z, Huang Z C. Regulation of evapotranspiration of spring wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 1995, 21(5): 544-550.
- [10] Howell T A, Steiner J L, Schneider A D, et al. Seasonal and maximum daily evapotranspiration of irrigated winter-wheat, sorghum, and corn-southern high plains. *Trans. ASAE*, 1997, 40(3): 623-634.
- [11] Duan H X. Discussion on the estimating model of crop evapotranspiration. *Shanxi Water Resources*, 2005(6): 83-85.
- [12] Xie X Q. Experimental study for determining evapotranspiration of the field. *Geographical Research*, 1990, 9(4): 94-102.
- [13] Shi H B, Chen Y X, Xu Y. The application of Kriging method for ET₀ optimal contour map in large area irregular sampling system. *Agricultural Efficient Water Use and Water and Soil Environment Protection*. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2000.
- [14] Sun J S, Liu Z G, Zhang J Y. Reference crop evapotranspiration calculation in windy desert area in Inner Mongolia. *Irrigation and Drainage*, 2002, 21(2): 17-20.
- [15] Chen Y M, Guo G S. The contour maps of major crop water requirement in China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1993.
- [16] Shao X M, Yan C R. Study on the pattern of water requirements of main crops and rainfall in the Yellow River Basin. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007, 28(1): 40-47.
- [17] Zhang S J, Zhang Y S, Sui D, Cai F, Wu J W, Ji R P, Chen P S, Liu Q W. Changes in reference evapotranspiration and its causes in Northeast China. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(10): 1750-1761.
- [18] Yang J Y, Mei X R, Liu Q, Yan C R, He W Q, Liu E K, Liu S. Variations in winter wheat growth steps under climate changes in Northern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(6): 623-631.
- [19] Cui D C, Liu H S, Min J R. China major agricultural climate resources atlas. Beijing: China Meteorological Press, 1984.
- [20] Allen R G, Pereira L S, Raes D. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: FAO, 1998.
- [21] Petra Doll, Stefan Siebert. Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resources Research*, 2002, 38(4): 1-8.
- [22] Li Y, Yang X G, Ye Q, Huang W H. Variation characteristics of rice water requirement in middle and lower reaches of Yangtze River during

1961—2007. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(9): 175-183.

- [23] Wang W F. Study on water deficit and drought risk of winter wheat in North of China. Beijing: China Agricultural University.2010.
- [24] Yang J Y, Liu Q, Yan C R, Mei X R. Apatial and temportal variation of solar radiation in recent 48 years in North China. Acta Ecologica Sinica, 2011,31(10):2748-2756.
- [25] Deng Z Y, Wang Q, Zhang Q, Qing J Z, Yang Q G, Yuan Z P, Liu W J, Xu J F. Impact of climate warming and drying on food crops in northern China and the countermeasures. Acta Ecologica Sinica,2010,30(22): 6278-6288.

参考文献:

- [1] 杨贵羽,汪林,王浩.基于水土资源状况的中国粮食安全思考.农业工程学报,2010,26(12):1-5.
- [2] 中华人民共和国国务院.中国粮食安全中长期规划纲要(2008-2020年)全文.2008.
- [3] 刘昌明.水文水资源研究理论与实践——刘昌明文选.北京:科学出版社,2004:432.
- [4] 沈振荣,苏人琼.中国农业水危机对策研究.北京:中国农业科技出版社,1998:235-242.
- [6] 陈亚新,康绍忠.非充分灌溉原理.中国水利水电出版社,1995.
- [7] 康绍忠,蔡焕杰.农业水管理学.北京:中国农业出版社,1996.
- [8] 康绍忠,刘晓明,熊运章.冬小麦根系吸水模式的研究.西北农业大学学报,1992,20(2):5-12.
- [9] 冯金朝,黄子深.春小麦蒸发蒸腾的调控.作物学报,1995,21(5):544-550.
- [11] 段红星.作物蒸散量计算模型探讨.山西水利,2005(6):83-85.
- [12] 谢贤群.测定农田蒸发的试验研究.地理研究,1990,9(4):94-102.
- [13] 史海滨,陈亚新,徐英.大区域非规则采样系统 ETO 的最优等值线图 Kriging 法绘制应用.农业高效用水与水土环境保护.西安:陕西科学技术出版社,2000.
- [14] 孙景生,刘祖贵,张寄阳.风沙区参考作物需水量的计算.灌溉排水,2002,21(2):17-20.
- [15] 陈玉民,郭国双.中国主要农作物需水量等值线图研究.北京:中国农业科技出版社,1993.
- [16] 邵晓梅,严昌荣.黄河流域主要作物的降水盈亏格局分析.中国农业气象,2007,28(1):40-47.
- [17] 张淑杰,张玉书,隋东,蔡福,武晋雯,纪瑞鹏,陈鹏狮,刘庆葵.东北地区参考蒸散量的变化特征及其成因分析.自然资源学报,2010,25(10):1750-1761.
- [18] 杨建莹,梅旭荣,刘勤,严昌荣,何文清,刘恩科,刘爽.气候要素变化背景下华北地区冬小麦生育期变化特征研究.植物生态学报,2011,35(6):623-631.
- [19] 崔读昌,刘洪顺,闵谨如.中国主要农作物气候资源图集.北京:气象出版社,1984.
- [22] 李勇,杨晓光,叶清,黄晚华.1961—2007年长江中下游地区水稻需水量的变化特征.农业工程学报,2011,27(9):175-183.
- [23] 王文峰.北方地区冬小麦水分亏缺及干旱风险评估[D].北京:中国农业大学.2010
- [24] 杨建莹,刘勤,严昌荣,梅旭荣.近48年华北地区太阳辐射量时空格局的变化特征.生态学报,2011,31(10):2748-2756
- [25] 邓振镛,王强,张强,倾继祖,杨启国,袁志鹏,刘文婧,徐金芳.中国北方气候暖干化对粮食做的影响及应对措施.生态学报,2010,30(22):6278-6288.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.20 Oct. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koelreuteria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleiblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk
 YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China
 LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method
 HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China
 HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau
 LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai
 TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)
- Resource and Industrial Ecology**
- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent
 ten years of Beijing LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir
 LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)
- Research Notes**
- Dynamics of CO_2 exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park
 CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years
 WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity
 ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

《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,探索生态学奥秘,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

本期责任副主编 宋金明 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 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33 No. 20 (October, 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

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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