

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

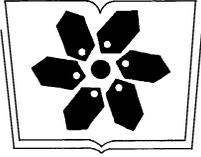
## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 2014

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 34 卷 第 2 期      2014 年 1 月      (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 ..... 龚冬琴, 吕 军 (239)
- 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 ..... 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
- 完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 ..... 许建平, 张小萍, 曾 波, 等 (258)
- 赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 ..... 周 进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
- 盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 ..... 王家利, 王 芳 (282)
- 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 ..... 列淦文, 叶龙华, 薛 立 (294)
- 啮齿动物分子系统地理学研究进展 ..... 刘 铸, 徐艳春, 戎 可, 等 (307)
- 生态系统服务制图研究进展 ..... 张立伟, 傅伯杰 (316)

### 个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 ..... 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
- 不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 ..... 向 芬, 周 强, 田向荣, 等 (337)
- 小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 ..... 王 龔, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
- $K^+$ 、 $Cr^{6+}$  对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 ..... 胡煜峰, 严 涛, 曹文浩, 等 (353)
- 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 ..... 李 超, 彭 赫, 程登发, 等 (359)

### 种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 ..... 孙鹏飞, 单秀娟, 吴 强, 等 (367)
- 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 ..... 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
- 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 ..... 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
- 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 ..... 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
- 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 ..... 康婷婷, 高 苹, 居为民, 等 (410)
- 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 ..... 曹 阳, 杨 婕, 熊 伟, 等 (421)
- 黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 ..... 张丽娟, 姜春艳, 马 骏, 等 (430)
- 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 ..... 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
- 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 ..... 刘 纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

### 景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 ..... 徐建文, 居 辉, 刘 勤, 等 (460)

我国西南地区风速变化及其影响因素 .....	张志斌, 杨莹, 张小平, 等 (471)
青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 .....	曹生奎, 陈克龙, 曹广超, 等 (482)
基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 .....	曹黎明, 李茂柏, 王新其, 等 (491)

**研究简报**

荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 .....	刘任涛, 柴永青, 徐坤, 等 (500)
跨地带土壤置换实验研究 .....	靳英华, 许嘉巍, 秦丽杰 (509)
SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例 .....	魏冲, 宋轩, 陈杰 (517)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 288 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 29 \* 2014-01



**封面图说:** 高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家, 主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣, 但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量和生产力的最重要贡献者, 也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示, 水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子, 光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

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

DOI: 10.5846/stxb201305060937

曹阳, 杨婕, 熊伟, 武永峰, 冯灵芝, 杨晓光. 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析. 生态学报, 2014, 34(2): 421-429.

Cao Y, Yang J, Xiong W, Wu Y F, Feng L Z, Yang X G. Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 421-429.

# 1961—2010 年潜在干旱对我国 夏玉米产量影响的模拟分析

曹 阳<sup>1</sup>, 杨 婕<sup>2,\*</sup>, 熊 伟<sup>1</sup>, 武永峰<sup>1</sup>, 冯灵芝<sup>1</sup>, 杨晓光<sup>2</sup>

(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. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要:**玉米是我国重要的粮食和饲料作物, 旱灾是玉米生产中常见的气象灾害。采用 CERES-Maize 作物模拟模型, 模拟了 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的时空变化趋势, 并分析了其与大气环流因子间的关系, 以期了解我国 50 年来夏玉米受旱的变化情况, 并为干旱的研究方法提供一些参考。结果表明: (1) 1961—2010 年我国夏玉米的潜在产量损失呈略微下降的趋势, 不同时期表现不同, 其中 20 世纪 60 年代、90 年代表现为上升趋势。(2) 在过去 50 年里, 我国夏玉米潜在旱灾损失中心有向东北移动的趋势, 华北地区受旱程度的减轻和东北地区受旱程度的增强是造成损失中心移动的主要原因。(3) 我国夏玉米潜在旱灾产量损失中心的经纬度和影响我国夏季降水的北极涡、副热带高压系统的部分指数具有显著的相关关系。当北极涡在生长季前期或同期偏小、偏弱时, 我国夏玉米潜在旱灾产量损失中心将偏东、偏北, 而副热带高压系统影响更为复杂。

**关键词:**夏玉米; 作物模型; 干旱; 北极涡; 副热带高压

## Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010

CAO Yang<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>2,\*</sup>, XIONG Wei<sup>1</sup>, WU Yongfeng<sup>1</sup>, FENG Lingzhi<sup>1</sup>, YANG Xiaoguang<sup>2</sup>

1 Institute of Environment and Sustainable Development for Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 School of resources and environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China

**Abstract:** Maize is one of the most important crops in China, both as human food and livestock feed. However, drought has become the key climate disaster affecting the maize production recently, particularly in northern part of the country, a primary maize cultivation area in China. The temporal and spatial changes of drought impact on maize have therefore aroused more and more concerns. Most previous studies investigated the drought impacts through climate indices methods, such as SPI, which usually neglected the crop responses to different degrees of drought stresses and the different drought-resistant characteristics between crop genotypes. This study assessed the potential impacts of past drought anomaly (1961—2010) on yield of summer maize, using a process-based crop model, CERES-Maize. The model was driven with the daily weather data and soil data based in every 50 km × 50 km grid. The output of model included the rainfed yield and irrigated yield in grid, if and only if which grew summer maize. The yield difference between the irrigated and rainfed was defined as the potential yield loss caused by drought. And we used the anomaly percentage of potential yield loss to reflect the interannual and interdecadal variation of estimated impact of drought on summer maize yield. Then we calculated the location of the drought

**基金项目:** 973 资助项目 (2012CB9559-04, 2010CB951599-04); 国家自然科学基金资助项目 (41171094); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (2013BH038)

**收稿日期:** 2013-05-06; **修订日期:** 2013-11-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jy4739@sina.com

affecting center from 1961 to 2010, which were divided in 5 decades (1960s: 1961—1970, 1970s: 1971—1980, 1980s: 1981—1990, 1990s: 1991—2000, 2000s: 2001—2010). At last, we examined the relationships between estimated yield impacts and recorded indices of atmosphere circulation, to understand the underlying drivers of past drought risks. The indices were averaged over the summer maize prior growing-season (Nov-Apr) and growing-season (May-Oct) respectively. Our results demonstrate: (1) the irrigated yield exhibited a slight and insignificant ( $P>0.05$ ) decrease from 1961 to 2010, while the rainfed yield exhibited a slight and insignificant ( $P>0.05$ ) increase. So the potential yield loss in summer maize due to past drought anomaly exhibited a slight and insignificant ( $P>0.05$ ) decrease, suggesting a decreased drought risk for summer maize production in China. But the potential yield loss experienced a significant increase ( $P<0.05$ ) in the past two decades (1960s, 1990s), indicating a temporal fluctuation of the risk. (2) The cultivation area with a largest estimated loss in production due to drought experienced a clear northeastern move during the past 50 years, because the production loss decreased in north China while increased in northeast China with the changes in precipitation and temperature patterns. Besides, the period of 1960s—1970s and 1990s—2000s had the largest drift of the drought affecting center. (3) Estimated yield loss and location of the main drought affecting area demonstrated significant ( $P<0.05$ ) correlations to a few atmosphere indices related to North Pole Vortex and subtropical high system. A weaker North Pole Vortex before or during the maize growing season associated with a less serious drought effect with affecting center located in further northern and eastern areas, *vice versa*. Subtropical high system also affected the drought risk for summer maize, but differed with indices.

**Key Words:** summer maize; crop model; drought; north polar vortex; subtropical high system

中国是世界上受气象灾害危害最严重的国家之一, 每年因各种气象灾害造成的直接经济损失达上千亿元, 其中干旱是我国影响区域最广、发生最频繁、对作物产量影响最重的气象灾害之一, 1950—2001 年我国平均每年受旱面积占全国气象灾害受灾总面积的 56.2%<sup>[1]</sup>, 以 2011 年为例, 我国农作物受灾面积合计 32470.5 km<sup>2</sup>, 绝收面积 2891.7 km<sup>2</sup>, 其中干旱的受灾面积就有 16304.2 km<sup>2</sup>, 绝收 1505.4 km<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。

玉米是我国重要的粮食和饲料作物, 在我国农业生产中占有相当的比重, 2011 年, 玉米超越水稻成为我国播种面积最大的作物, 总产量也仅次于水稻居第二位。旱灾是玉米生产中常见的气象灾害, 2003 年夏季干旱导致法国的玉米产量较 2002 年减少 30%, 2009 年我国玉米产量因干旱而较 2008 年减产了约 7.5%。近年来, 受气候变化以及人类活动的综合影响, 干旱发生的频率和强度有增加趋势, 50 年一遇或百年一遇的灾害发生频率上升, 影响区域增多, 造成的损失加重。因此, 研究干旱灾害对我国玉米生产的影响对合理指导玉米生产的减灾、防灾, 对稳定玉米产量有重要的指导意义和作用。

长期以来, 国内外学者围绕干旱对玉米的影响开展了大量的研究<sup>[3-6]</sup>, 建立和发展了多种干旱评价

指标, 为干旱的评价与研究提供了有效工具。然而目前大多数的干旱指标都是建立在气象和气候干旱上, 如标准化降水指数 SPI<sup>[7]</sup>、作物水分亏缺指数等<sup>[8-10]</sup>, 但是这些指标往往忽略了作物的不同生长阶段对水分胁迫的不同反应。部分基于农业干旱建立的干旱指数, 如帕默尔干旱指数 PDSI<sup>[11]</sup> 和作物水分指数 CMI<sup>[12]</sup> 等, 也有一定局限性, Meyer 指出帕默尔干旱指数 PDSI 和作物水分指数 CMI 并不能反映出关键生育期的短期干旱对玉米产量的影响<sup>[13]</sup>。

作物模拟模型借助计算机手段, 能够对作物各种生长过程进行综合的数值模拟。本研究尝试借助作物模拟模型来分析 1961—2010 年干旱灾害对我国夏玉米产量的影响, 并结合大气环流指数分析大气环流因子与干旱之间的关系, 以期了解我国 50 年来夏玉米生产受干旱的影响及其变化情况, 并为干旱的研究方法提供一些参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 作物模型的选择和校准

本研究选用了 DSSAT 系列作物模型中的玉米模型 CERES-Maize, 有关文献对此进行了详细描述<sup>[14]</sup>。为了解模型模拟效果, 先后利用空间分布的农业气象试验数据对模型进行了站点和区域尺度校

准和验证(过程和结果详见文献<sup>[15-16]</sup>),验证结果表明,校准后,模型不仅对站点尺度的单季作物模拟效果较好,而且在区域尺度上也可以反映出产量的时间和空间变化趋势<sup>[15]</sup>。

## 1.2 1961—2010 年全国玉米单产的模拟

利用校准后的模型,模拟了 1961—2010 年我国玉米单产。模型先后进行了两次模拟,除水分管理分别设为雨养和灌溉两种模式(选择自动灌溉方式,即当土壤有效含水量小于 80% 时进行定量灌溉,每次 20 mm)之外,其余输入参数均保持一致。其中雨养条件下的模拟结果表示有水分胁迫下的玉米单产,灌溉模式下的模拟结果表示无水分胁迫的玉米单产。而两者之间的差值在一定程度上可以反映出干旱造成的产量损失。

模拟中的天气数据来自于国家气候中心处理的 1961 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日 50 km×50 km 各格点的天气数据,包括日最高气温、日最低温度、日平均温度、日降水量和日太阳辐射量。

土壤数据,是按照面积权重法,由全国土壤分布图网格化而得(网格分辨率 50 km×50 km),每个网格作为数据收集和模型运行的最小单位<sup>[15]</sup>。原始土壤数据来源于中国农业科学院农业资源和农业区划研究所提供的 1:100 万空间数据库,借助于 GIS 选取与每个实验站相一致的土种,并确定每个网格上玉米的种植面积<sup>[16]</sup>。本文只研究了干旱对我国主

要玉米种植区夏玉米生产的影响,只对种植夏玉米的网格进行了模拟和分析。图 1 显示了我国夏玉米种植的区域范围(图 1)。

模拟中的肥料管理设为无胁迫状态,管理和品种数据由区域校准过程确定。

## 1.3 数据处理和分析方法

### 1.3.1 潜在的干旱造成的产量损失

本文将一段时期内能对玉米产量造成影响的水分胁迫定义为潜在的干旱,而整个玉米生育期内因水分胁迫导致的产量损失定义为由潜在的干旱造成的产量损失(以下简称潜在产量损失)。

$$Y_L = (y_{Irr} - y_{Rain}) \times S \quad (1)$$

式中, $Y_L$ 为某网格的潜在产量损失, $y_{Irr}$ 为模型模拟的该网格灌溉玉米单产, $y_{Rain}$ 为模型模拟的该网格雨养玉米单产, $S$ 为该网格的夏玉米的种植面积。

### 1.3.2 潜在的干旱灾害的识别

一定程度以下的干旱并不一定形成旱灾,旱灾是一定强度和持续时间下发生的偶发性自然灾害。例如我国很大一部分夏玉米种植区处于半干旱区,生育期内的降水量并不能完全满足玉米生长发育的需求,因此许多地区的潜在产量损失常年都很大,但是这并不能说明当地每年都发生了旱灾。为了剥离出旱灾造成的产量损失,采用计算每个网格每年的潜在产量损失的距平百分率。

$$D = \frac{Y_L - \bar{Y}_L}{\bar{Y}_L} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $D$ 为每个网格上每年的潜在产量损失对应该点 50a 时间序列的距平百分率, $\bar{Y}_L$ 为该格点上 50a 的平均潜在产量损失,然后对  $D$  进行标准化处理。

$$D' = \frac{D - \bar{D}}{s_i} \quad (3)$$

$D'$ 表示经标准化处理的距平百分率, $\bar{D}$ 为该网格上 50a 的平均距平百分率, $s_i$ 为标准差。

当  $D' > 0$  时,表明当年因潜在的干旱造成的减产大于多年平均损失,属欠收年份;当  $D' < 0$  时,表明当年因潜在的干旱造成的减产少于多年平均损失,属丰产年份。

因此只有当  $D' > 0$  时,才认为该网格在该年确实受到了干旱灾害的影响,并视当这种产量损失为由旱灾造成的潜在的产量损失。当  $D' < 0$  时,则认为该年该网格没有受旱灾影响。这种只考虑由旱灾造成

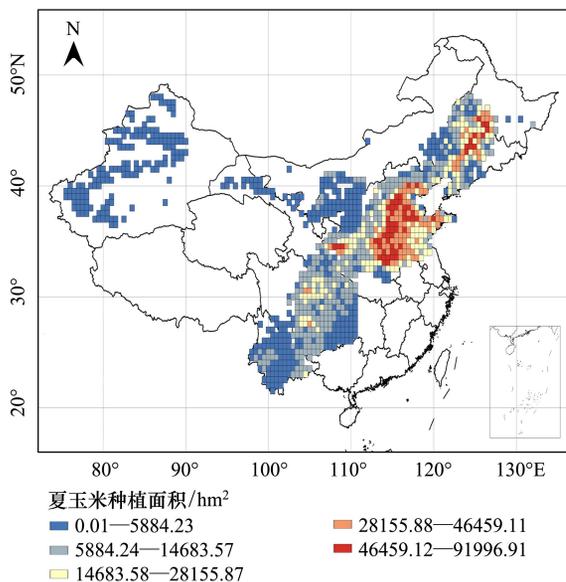


图 1 研究中夏玉米种植分布及各网格夏玉米种植面积示意图  
Fig.1 Distribution of summer maize plantation and planting area in grids

的潜在产量损失距平百分率可以在一定程度上反映出该网格旱灾对玉米生产的影响。

### 1.3.3 潜在旱灾造成的产量损失中心位置的计算

潜在旱灾造成的产量损失中心位置 ( $D' > 0$  时的产量损失中心位置) 的年际和年代际变化反映了我国夏玉米生产中旱灾发生发展的时、空间变化情况, 其经纬度由式(4)计算得出:

$$\begin{aligned} \text{Lon} &= \sum \left( \frac{D'_i}{\sum D'_i} \cdot \text{lon}_i \right) \\ \text{Lat} &= \sum \left( \frac{D'_i}{\sum D'_i} \cdot \text{lat}_i \right) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, Lon、Lat 为每年潜在旱灾造成的产量损失中心的经度和纬度,  $\text{lon}_i$ 、 $\text{lat}_i$  为各网格的经纬度,  $D'_i$  为旱灾的网格的距平百分率,  $\sum D'_i$  为当年各旱灾网格距平百分率之和。

### 1.3.4 潜在旱灾造成的产量损失中心位置与大气环流的关系

旱灾的发生与当时的气候条件密切相关, 考虑大气环流因子对我国温度、降水的影响具有半年至 1a 的滞后问题, 分别计算了潜在旱灾造成的产量损失中心的经度、纬度与夏玉米生长期(当年 5 月—10 月)和生长季前期(前一年 11 月—当年 4 月)大气环流指数间的相关关系(大气环流指数采用国家气候中心气候系统诊断预测室每月更新的 74 项环流特征量<sup>[17]</sup>)。

本文中的数据分析和制图主要由 Excel 2010 和 ArcGIS10 完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 潜在产量损失的时空变化

我国 50 年来夏玉米产量的模拟结果及其变化趋势如图 2 所示。结果表明, 1961—2010 年我国夏玉米灌溉和雨养总产量随着年份发生波动, 部分年际变化相似(两者的相关系数 0.429, 达极显著水平)。但从两者的线性趋势来看, 50a 的灌溉总产量呈下降趋势, 相对时间序列的斜率为  $-3 \times 10^{-4}$ ; 而雨养总产量的斜率为  $4 \times 10^{-5}$ , 呈上升趋势, 可见 50 年间灌溉和雨养总产量之间的差距有所缩小, 但减小的幅度并不明显(图 2)。

进一步分析全国夏玉米潜在产量损失的年际变

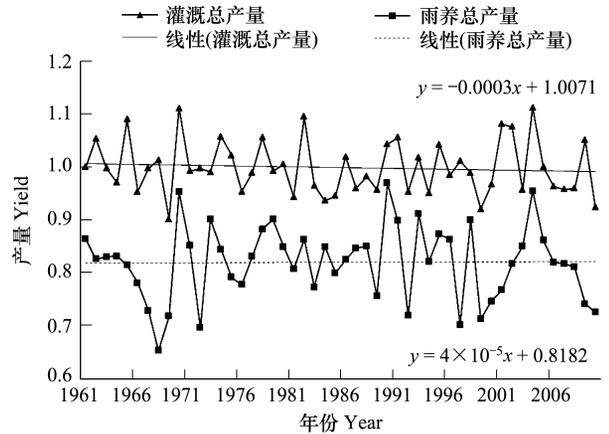


图 2 1961—2010 年我国夏玉米灌溉、雨养相对产量的年际变化, 以 1961 年夏玉米灌溉产量为基准值 1

Fig.2 The interannual variation of the sum of rainfed yield and irrigated yield of the China Summer Maize during 1961 to 2010, with setting the irrigated yield in 1961 as 1

化(图 3)。潜在干旱导致的产量损失总体上呈现略微下降趋势(斜率:  $-2.6 \times 10^{-3}$ ), 但各时段变化不同(将每 10 年划分一个时段, 即 1961—1970 年、1971—1980 年、1981—1990 年、1991—2000 年、2001—2010 年), 其中在 1961—1970 年、1991—2000 年呈现上升趋势, 其余都是下降趋势, 而最近的 2001—2010 年, 虽然潜在产量损失较高, 仅次于 1961—1970 年, 但仍表现为下降的趋势(图 3)。

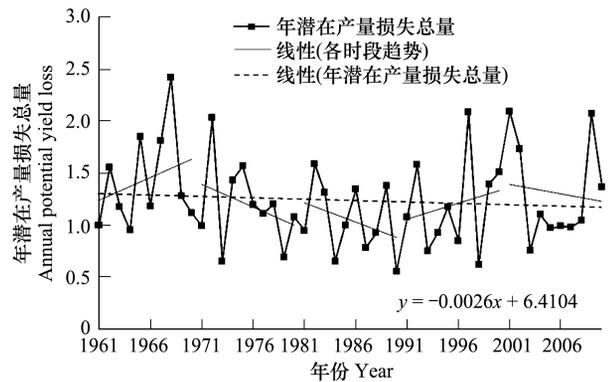


图 3 1961—2010 年我国夏玉米潜在产量损失的年际变化, 以 1961 年的损失量为基准值 1

Fig.3 The interannual variations of the potential yield loss during 1961 to 2010, with setting the value in 1961 as 1

5 个时段, 各网格潜在产量损失距平百分率的空间分布见图 4(图为该网格每个时段的平均值)。由图 4 可以看到, 在 1961—1970 年, 潜在产量损失距平百分率较高的区域主要集中在我国的华北平原(主要有河南、河北、山西等省)、黄土高原地区, 其潜

在产量损失距平百分率值也明显高于其他年份。由于这里是夏玉米的主产区,所以导致该时期全国的潜在产量年平均损失量居 50a 间之最。1971—1980 年,高值区明显处于西南及东北的东北部地区,而华北及黄土高原地区已明显降低,全国的潜在产量损失量也呈下降的趋势。到了 1981—1990 年,各省市

的潜在产量损失总量进一步下降,达到 50 年最低。1991—2000 年山东半岛和黄土高原又出现高值区域,全国潜在产量损失有了一定的回升。在 2001—2010 年,东北地区出现了明显的潜在产量损失距平高值区域,全国潜在产量损失也高于 1991—2000 年。

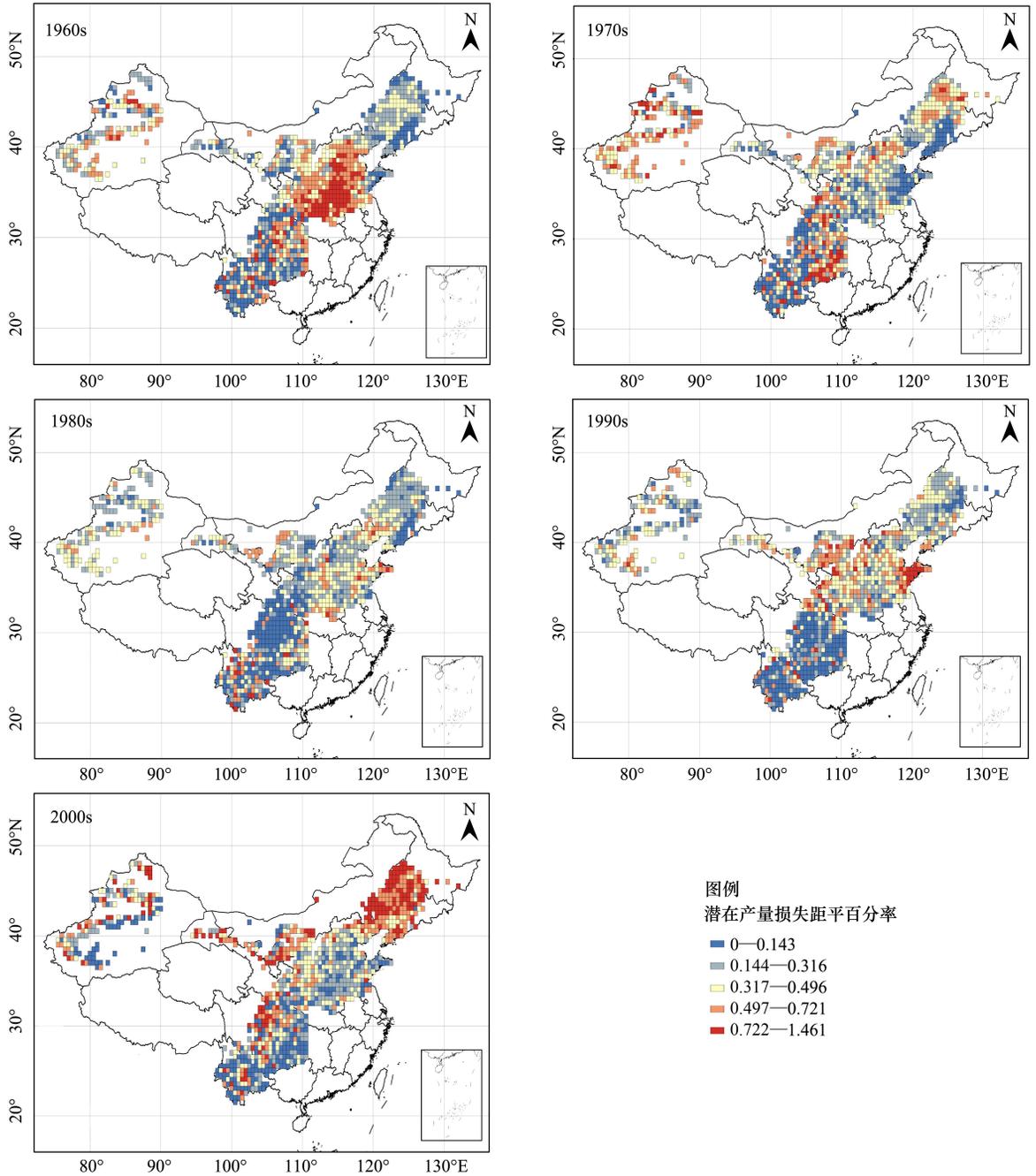


图 4 各时段标准化后潜在产量损失距平百分率的空间分布

Fig.4 Spatial patterns of estimated production loss anomaly due to drought, for different decades

结合图 3 和图 4 可见,夏玉米主产区(如华北平原)潜在产量损失的变化是导致全国潜在产量损失

变化的主要原因,此外,值得注意的是华北地区自 1961—1970 年后受干旱的影响明显降低,而东北地

区则在 2001—2010 年受干旱的影响达到历史最高,这可能与气候变化导致的降水和温度的空间变化有关,与华北和东北地区相比,西南和西北地区变化不大(图 4)。

综上所述,在过去 50 年中,由于雨养总产量的上升和灌溉总产量的下降,我国夏玉米的潜在产量损失量在 50 年间总体上呈现略微下降的趋势,各时段表现的趋势不同,1961—1970 年、1991—2000 年呈现上升趋势,其余时段都是下降趋势;从地域上来看,华北地区夏玉米自 1961—1970 年时段起受旱程

度有所减轻,而东北地区夏玉米受旱则呈增加的趋势,西南和西北地区变化不大。

## 2.2 潜在旱灾造成的产量损失中心位置的空间变化

潜在旱灾造成的产量损失中心的经度和纬度在 1961—2010 年间都呈现出增加的趋势(图 5),其中纬度的增加更明显,50 年间约北移了 3 个纬度,东移约 2 个经度,说明在这 50 年间潜在旱灾造成的产量损失中心总体上呈现向东北方向移动的趋势(图 5)。

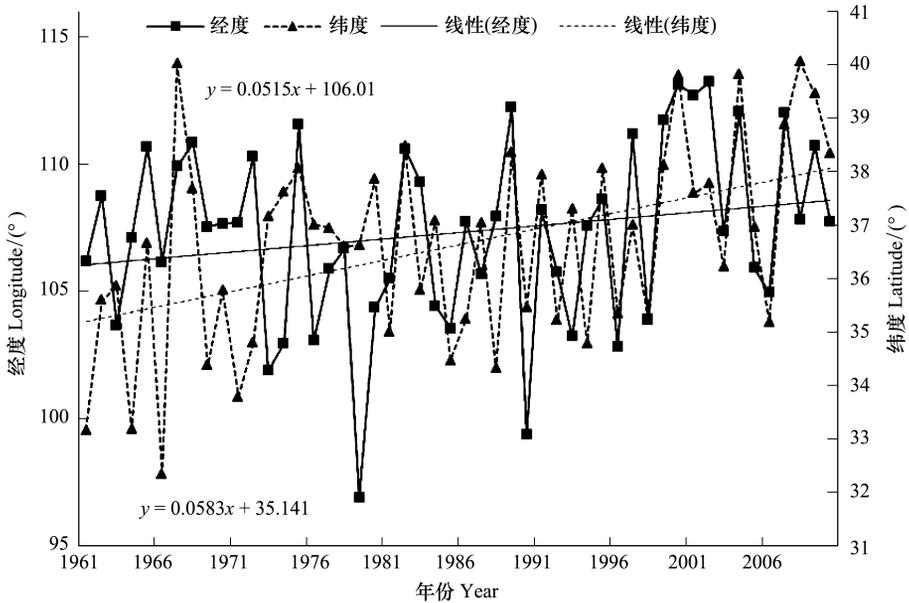


图 5 潜在旱灾产量损失中心位置经度和纬度在 1961—2010 年的变化情况

Fig.5 Change in location (latitude and longitude) of the drought affecting center from 1961 to 2010

从空间位移图(图 6)上可以看出,50 年间的潜在旱灾造成的产量损失中心主要集中在东经 105°—110°,北纬 35°—39°,地处陕甘宁等地区,该地区正是我国旱灾严重频发区域,十年九旱,生态环境恶劣。1961—2010 年间,潜在旱灾导致的产量损失中心位置在不同时段发生变化,经向上大致保持向北移动的趋势,其中 1961—1980 年和 1991—2010 年位移较大,北跳超过了 1 个纬度,1971—2000 年位移较小,中心在北纬 36°至 37°间徘徊。在纬向上,1971—1980 年是个突变点,1961—1980 年先向西移动了约 3 个经度,1971—1980 年后则一直保持向东移动,1961—1980 年和 1991—2010 年两个时段位移幅度相对较大,与经向上的移动一致(图 6)。

可见 1961—1980 年和 1991—2010 两个时段是我国夏玉米受旱灾影响空间格局变动最剧烈的时

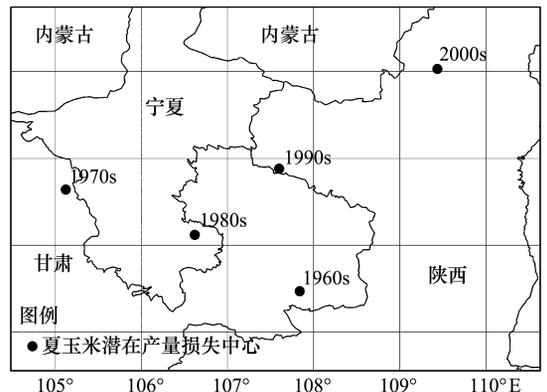


图 6 1961—2010 年我国夏玉米潜在旱灾产量损失中心位置的年代际位移情况

Fig.6 Change in location of the drought affecting center from 1961 to 2010

期,结合图 4 分析可以发现,1961—1970 年和

2001—2010 年在华北、东北分别发生了严重干旱,可能是导致潜在产量损失中心剧烈移动的主要原因,1961—1970 年我国华北地区旱灾严重,这就导致中心偏向东南,而后随着华北地区旱灾程度的减轻和东北地区旱灾程度的增强,造成了潜在旱灾产量损失中心向东北方向移动。

综上所述,在过去 50 年里我国夏玉米潜在旱灾损失中心有向东北移动的趋势,1961—1980 年和 1991—2010 年所发生的两次最大位移都与同期华北和东北地区受旱程度的剧烈变化有关。

### 2.3 潜在旱灾产量损失中心位置与大气环流的关系

干旱灾害的发生与气候环境密切相关,尤其是

降水量的多寡。影响我国降水的大气环流因子多而复杂,在这方面前人做了很多研究<sup>[18-21]</sup>,指出副热带高压、北极涡是对我国夏季降水影响较大的 2 组因子,且大气环流因子对我国温度、降水的影响具有半年至 1 年的滞后效应。

了解潜在旱灾产量损失中心与大气环流的关系,对减灾和防灾具有重要的指导意义。分别计算了潜在产量损失中心的经度、纬度与夏玉米生长期(当年 5—10 月)和生长季前期(前一年 11 月—当年 4 月)74 项环流指数间的相关关系,并挑选出其中相关性显著的一些因子,结果见表 1。

表 1 夏玉米生育前期(11 月—4 月)、同期(5 月—10 月)部分大气环流指数与潜在旱灾产量损失中心经纬度相关关系

Table 1 Correlation coefficients between atmospheric indices during the summer maize prior growing-season (Nov—Apr) or growing-season (May—Oct) with the location (latitude and longitude) of drought affecting center

大气环流因子 Atmospheric Indices		相关系数 Correlation coefficients			
		生长季前期(11 月—4 月) Prior growing-season (Nov—Apr)		生长季同期(5 月—10 月) Growing-season (May—Oct)	
		经度 Longitude	纬度 Latitude	经度 Longitude	纬度 Latitude
副热带高压因子 Subtropical High System Indices	北非副高面积指数	0.1196	0.2137	0.0983	0.3663 **
	大西洋副高面积指数	-0.0442	-0.3064 *	0.0793	0.0828
	北非副高强度指数	0.0776	0.1308	0.1100	0.3025 *
	大西洋副高强度指数	-0.0557	-0.3026 *	0.1157	-0.0231
	北半球副高脊线	0.0381	0.0437	0.3222 *	0.1577
	北非大西洋北美副高脊线	-0.0110	-0.1471	0.3189 *	0.1948
	东太平洋副高脊线	-0.1449	-0.3365 *	0.1136	0.1463
	大西洋副高脊线	-0.0907	-0.3710 **	0.3164 *	0.1843
	南海副高脊线	-0.1631	-0.1435	-0.2277	-0.4291 **
	太平洋副高脊线	0.1106	0.1507	0.3081 *	0.1063
	东太平洋副高北界	-0.1467	-0.3685 **	0.0449	0.1076
	大西洋副高北界	-0.1820	-0.4571 **	0.1056	-0.0441
	南海副高北界	-0.2470	-0.1501	-0.2354	-0.4205 **
北极涡因子 North Polar Vortex Indices	亚洲区极涡面积指数	-0.3604 **	-0.3066 *	-0.1171	-0.2682
	北美区极涡面积指数	-0.0726	-0.4608 **	-0.0787	-0.1024
	大西洋欧洲区极涡面积指数	-0.2880 *	-0.4683 **	-0.3322 *	-0.0568
	北半球极涡面积指数	-0.3092 *	-0.5396 **	-0.2358	-0.1834
	亚洲区极涡强度指数	-0.2320	-0.4247 **	-0.0303	-0.3001 *
	太平洋区极涡强度指数	0.0800	-0.0347	-0.3078 *	-0.3946 **
	北美区极涡强度指数	-0.0700	-0.0626	-0.0188	-0.2773 *
	北半球极涡强度指数	-0.0635	-0.2219	-0.1695	-0.3720 **
	北半球极涡中心强度	0.1390	0.1239	0.0829	0.3809 **
小计 Subtotal	达显著水平/个	3	11	6	9
	其中极显著水平/个	1	7	0	6

\* 代表该值通过了 0.05 的显著性检验,达显著水平; \*\* 表示该值通过了 0.01 的显著性检验,达极显著水平

由表 1 可以看出潜在旱灾产量损失中心的经纬度和夏玉米生长季前期、同期的北极涡和副热带高压系统的部分指数具有显著的相关关系。就时段而

言,潜在旱灾产量损失中心的经、纬度与生长季同期大气环流指标的关系更相关,与之相关的指数比生长季前期的要多(显著指标数量多 3 个)。就经、纬

度而言,大气环流指数与损失中心纬度的相关关系明显强于与经度的相关关系(显著指标多 11 个,极显著指标多 12 个)。就两类环流因子而言,北极涡系列指数中与潜在旱灾产量损失中心相关性更强,有 4 个指数与中心的经度和纬度同时相关(而副热带高压系列则缺乏这种指数),尤其在生长季前期(11 月—4 月),北极涡系列指数与中心的相关关系表现更好,具有显著相关的指数有 5 个,其中 3 个指数与中心的经纬度同时相关(表 1)。

进一步来看,北极涡相关的系列指数与潜在旱灾产量损失中心生长季前期和同期基本呈负相关关系(仅北半球极涡中心强度与同期中心纬度呈正相关),这表明北极涡在夏玉米生长季前期或同期偏大偏强时,我国夏玉米潜在产量损失偏西、偏南,反之北极涡在生长季前期或同期偏小偏弱时,我国夏玉米潜在产量损失中心偏东、偏北。结合前面的结果,若我国东北地区夏玉米受旱严重时,潜在产量损失中心将偏东、偏北,其原因可能与北极涡影响我国夏季降雨有关,已有的研究指出冬季或夏季北极涡收缩时,我国东北夏季气温偏高,降水偏少<sup>[22]</sup>。受气候变暖的影响,近年来北极涡系列指数都呈现不同程度的下降趋势<sup>[17]</sup>,如果按照这种趋势,未来东北地区夏玉米受旱灾的影响将会进一步增大,因此加强东北地区夏玉米的减灾、防灾工作,稳定和保障东北地区夏玉米产量是值得关注的重大问题。

而副热带高压指数影响更为复杂,在副热带高压系列指数中,大西洋和东太平洋的副高指标,在生长季前期与产量损失中心的纬度呈负相关关系,这说明在生长季前期,当大西洋、东太平洋的副高强度偏强、范围偏大、位置偏北时,我国夏玉米潜在旱灾产量损失中心的位置将会偏南。而在生长季同期,副热带高压系列指数则与中心经度呈现正相关关系,表明当北非副高、大西洋副高、太平洋副高等北半球副高脊线偏北时,夏玉米潜在旱灾产量损失中心位置将偏东。此外,在生长季同期影响损失中心纬度变化的主要是副热带高压中的北非副高和南海副高,表现为当北非副高偏强、偏大,南海副高位置偏南时,夏玉米产量损失中心位置将偏北移动。这些结论也与现有的关于副热带高压的研究结果较一致<sup>[21]</sup>。

### 3 结论和讨论

#### 3.1 结论

本文从宏观的角度利用作物生长模拟模型,模拟了我国 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的时空变化趋势,并结合大气环流指数分析大气环流因子与干旱之间的关系,结果表明:

(1) 由于雨养总产量的上升和灌溉总产量的下降,1961—2010 年我国夏玉米的潜在产量损失呈现略微下降的趋势,如果按每 10a 一个时段来看,在 1961—1970 年、1991—2000 年呈现上升趋势,其余时段则是下降趋势。

(2) 在过去 50 年里,我国夏玉米潜在旱灾产量损失中心有向东北移动的趋势,华北地区受旱程度的减轻和东北地区受旱程度的增强是造成损失中心移动的主要原因。

(3) 潜在旱灾产量损失中心的经纬度和影响我国夏季降水的北极涡、副热带高压系统的部分指数具有显著的相关关系,尤其是与损失中心的纬度。当北极涡在生长季前期或同期偏小、偏弱时,我国夏玉米潜在旱灾产量损失中心将偏东、偏北。而副热带高压系统影响更为复杂,当大西洋、东太平洋的副高强度偏强、范围偏大、位置偏北时,我国夏玉米潜在旱灾产量损失中心的位置将会偏南,当北非副高、大西洋副高、太平洋副高等北半球副高脊线偏北时,产量损失中心位置将偏东。当北非副高偏强、偏大,南海副高位置偏南时,夏玉米产量损失中心位置将偏北移动。

#### 3.2 讨论

研究尝试借助作物模拟模型来分析干旱对作物产量的影响,这种方法利用了作物模型能以日为步长模拟作物生长发育过程和产量的优势,弥补了各类干旱指标法忽略作物在不同生长阶段对水分胁迫的反应不同的缺点。但是由于在模型模拟的设置中,只考虑了水分的差异(只设置雨养和充分灌溉两种情况),且没有考虑实际灌溉补给,因此本研究的结果也只是针对干旱的可能造成的潜在影响而言。

在研究过程中作了一些简化问题的处理,如肥料管理设为无胁迫状态,管理和品种数据由 1998 实验数据进行区域校准过程确定,忽略了夏玉米种植面积的一年际变化等,还比如,研究只考虑了我国夏季

降水影响较大的副热带高压、北极涡 2 组因子,而实际冬、春雨雪对土壤的底墒情况影响对作物生长也有不可忽视作用,这些简化处理都会导致研究还存在一定的不确定性,研究结果还比较初步,主要是用于反映干旱可能造成影响的趋势变化,而与实际生产的旱情发生还需要进一步吻合。

因此本文主要是一种研究干旱的方法探讨和尝试,希望能对已有的研究结果作已补充,为今后的研究提供参考,目前研究还存在一定的不确定性,今后随着研究深入,将会逐步降低。

## References:

- [ 1 ] Wang C Y. Research Progress of Major Agricultural Meteorological Disasters. Beijing: Chinese Meteorological Press, 2007.
- [ 2 ] National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook 2012. [ 2013-02-20 ]. <http://www.stats.gov.cn>.
- [ 3 ] Weerathaworn P, Thiraporn R, Soldati A, Stamp P. Yield and agronomic characters of tropical maize (*Zea mays* L.) cultivars under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1992, 168(5): 326-336.
- [ 4 ] Zhang J Q. Risk assessment of drought disaster in the maize-growing region of Songliao Plain, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2004, 102(2): 133-153.
- [ 5 ] Sun J S, Xiao J F, Duan A W, Zhang S M, Zhang J Y. The effect of water consuming law and water stress on growth, development and yield of summer maize. *Journal of Maize Sciences*, 1999, 7(2): 45-48.
- [ 6 ] Bai L P, Sui F G, Sun Z H, Ge T D, Lü Y Y, Zhou G S. Effects of soil water stress on morphological development and yield of maize. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1556-1560.
- [ 7 ] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales//Preprints, 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim: American Meteorological Society, 1993: 179-184.
- [ 8 ] Zhang Y H, Lü H Q, Li S. Applicability of crop water deficit index in agricultural drought monitoring. *Meteorological Science and Technology*, 2008, 36(5): 596-600.
- [ 9 ] Qi S H, Zhang Y P, Niu Z, Wang C Y, Zheng L. Application of water deficit index in drought monitoring in china with remote sensing. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 367-372.
- [ 10 ] Liu B J, Shao D G, Shen X P. Advances in researches on the spatial-temporal features of crop water requirement. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(5): 258-264.
- [ 11 ] Palmer W C. Meteorological drought. U. S. Department of Commerce, Weather Bureau Research Paper No.45, Washington D.C. 1965: 1-58.
- [ 12 ] Palmer W C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 1968, 21(4): 156-161.
- [ 13 ] Meyer S J, Hubbard K G, Wilhite D A. The relationship of climatic indices and variables to corn (maize) yields; a principal components analysis. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1991, 55(1/2): 59-84.
- [ 14 ] Jones J W, Hoogenboom G, Porter C H, Boote J B, Batchelor W D, Hunt L A, Wilkens P W, Singh U, Gijsman A J, Ritchie J T. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 2003, 18(3/4): 235-265.
- [ 15 ] Xiong W, Lin E D. Performance of CERES-Maize in regional application. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 20(1): 3-7.
- [ 16 ] Xiong W, Lin E D, Yang J, Li Y C. Comparison of two calibration approaches for regional simulation of crop model. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2140-2147.
- [ 17 ] The Office of Climate System Diagnostics and Prediction, National Climate Centre. 74 Circulation Characteristics. [ 2013-02-21 ]. <http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/cn/download.htm>.
- [ 18 ] Huang J Y, Liu K, Zhao X Y. The influence of subtropical high indexes and polar vortex indexes on the summertime precipitation in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2004, 28(4): 517-526.
- [ 19 ] Lian Y, Shen B Z, Gao Z T, Sui B. Correlation of drought development tendency on China's climate transition zone and activity of East Asia summer monsoon and polar vortex. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(5): 740-749.
- [ 20 ] Zhang H D, Lu W S, Gao S T, Zhang Y S. Influence of the North Polar vortex activity on the contemporaneous and subsequent air temperature in China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2006, 29(4): 507-516.
- [ 21 ] Zhang H D, Jin R H, Zhang Y S. Relationships between summer northern polar vortex with sub-tropical high and their influence on precipitation in North China. *Journal of Tropical Meteorology*, 2008, 24(4): 417-422.
- [ 22 ] Gu S N, Yang X Q. Variability of the northern circumpolar vortex and its association with climate anomaly in China. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2006, 26(2): 135-142.

## 参考文献:

- [ 1 ] 王春乙. 重大农业气象灾害研究进展. 北京: 气象出版社, 2007.
- [ 2 ] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2012. [ 2013-02-20 ]. <http://www.stats.gov.cn>.
- [ 5 ] 孙景生, 肖俊夫, 段爱旺, 张淑敏, 张寄阳. 夏玉米耗水规律及水分胁迫对其生长发育和产量的影响. *玉米科学*, 1999, 7(2): 45-48.
- [ 6 ] 白莉萍, 隋方功, 孙朝晖, 葛体达, 吕银燕, 周广胜. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响. *生态学报*, 2004, 24(7): 1556-1560.
- [ 8 ] 张艳红, 吕厚荃, 李森. 作物水分亏缺指数在农业干旱监测中的适用性. *气象科技*, 2008, 36(5): 596-600.
- [ 9 ] 齐述华, 张源沛, 牛铮, 王长耀, 郑林. 水分亏缺指数在全国干旱遥感监测中的应用研究. *土壤学报*, 2005, 42(3): 367-372.
- [ 10 ] 刘丙军, 邵东国, 沈新平. 作物需水时空尺度特征研究进展. *农业工程学报*, 2007, 23(5): 258-264.
- [ 15 ] 熊伟, 林而达. CERES-Maize 区域应用效果分析. *中国农业气象*, 2009, 20(1): 3-7.
- [ 16 ] 熊伟, 林而达, 杨婕, 李迎春. 作物模型区域应用两种参数校准方法的比较. *生态学报*, 2008, 28(5): 2140-2147.
- [ 17 ] 国家气候中心气候系统诊断预测室. 74 项环流特征量. [ 2013-02-21 ]. <http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/cn/download.htm>.
- [ 18 ] 黄嘉佑, 刘珂, 赵昕奕. 副高、极涡因子对我国夏季降水的影响. *大气科学*, 2004, 28(4): 517-526.
- [ 19 ] 廉毅, 沈柏竹, 高枫亭, 隋波. 中国气候过渡带干旱化发展趋势与东亚夏季风、极涡活动相关研究. *气象学报*, 2005, 63(5): 740-749.
- [ 20 ] 张恒德, 陆维松, 高守亭, 张友姝. 北极涡活动对我国同期及后期气温的影响. *南京气象学院学报*, 2006, 29(4): 507-516.
- [ 21 ] 张恒德, 金荣花, 张友姝. 夏季北极涡与副热带高压的联系及对华北降水的影响. *热带气象学报*, 2008, 24(4): 417-422.
- [ 22 ] 顾思南, 杨修群. 北半球绕极涡的变异及其与我国气候异常的关系. *气象科学*, 2006, 26(2): 135-142.

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage ..... GONG Dongqin, LÜ Jun (239)
- Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain ..... SUN Caizhi, YAN Xiaolu, ZHONG Jingqiu (247)
- Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions ..... XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)
- A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ..... ZHOU Jin, CHEN Guofu, ZHU Xiaoshan, et al (269)
- Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes ..... WANG Jiali, WANG Fang (282)
- Effects of ozone stress on major plant physiological functions ..... LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)
- The current progress in rodents molecular phylogeography ..... LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)
- The progress in ecosystem services mapping: a review ..... ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

- Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress ..... LIU Zhengxiang, ZHANG Huaxin, YANG Xiuyan, et al (326)
- Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats ..... XIANG Fen, ZHOU Qiang, TIAN Xiangrong, et al (337)
- Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance ..... WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)
- Effects of  $K^+$  and  $Cr^{6+}$  on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* ..... HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)
- Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field ..... LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary ..... SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)
- Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea ..... SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)
- Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China ..... CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei, et al (390)
- Effect of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng ..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)
- The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province ..... KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)
- Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 ..... CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei, et al (421)
- Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ..... ZHANG Lijuan, JIANG Chunyan, MA Jun, et al (430)

- Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China .....  
 ..... LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
- Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China .....  
 ..... LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain ... XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
- Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China .....  
 ..... ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
- Characteristics of soil carbon density distribution of the *Kobresia humilis* meadow in the Qinghai Lake basin .....  
 ..... CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
- Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai ..... CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
- Research Notes**
- Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial *Caragana intermedia* plantations with age in desert steppe .....  
 ..... LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
- The experimental study on trans-regional soil replacement ..... JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
- Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou  
 Reservoir Area ..... WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

# 《生态学报》2014 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,280 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 34 卷 第 2 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

**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

