

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

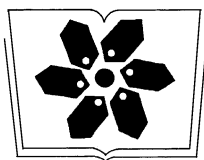
中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

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 31 卷 第 19 期

2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

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

俄有浩,施茜,马玉平,郭建平,肖正璐. 未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响. 生态学报, 2011, 31(19): 5542-5552.

E Y H, Shi Q, Ma Y P, Guo J P, Xiao Z L. The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5542-5552.

未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响

俄有浩^{1,*}, 施 茜², 马玉平¹, 郭建平¹, 肖正璐³

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

3. 甘肃省庆阳市农业科学研究院, 庆阳 745000)

摘要:利用区域气候模式 PRECIS 输出的未来 A2 和 B2 气候情景及基准气候时段逐日资料,选择生态环境极其脆弱的黄土高原为研究区,分析了未来 10a 黄土高原气候变化特征及其对主要农作物和生态环境的影响。结果表明,未来 10a,黄土高原光热资源增加,降水量减少。增温将对冬小麦和春玉米产量影响较大,对马铃薯产量的影响程度可能较小,但降水量减少对主要农作物的产量都有较大影响。在主要作物品种不发生较大变化的前提下,作物生育期太阳辐射和积温增加可能导致生育期需水量增加 10%—15%,冬小麦、春玉米和马铃薯的播期分别延迟或提前 1—3d,收获期提前 1—2d,生育期缩短 3—5d,可能引起冬小麦和春玉米气候产量下降 50%—100%。未来 10a,降水量减少可能导致草地盖度的增幅下降和人工林地稀疏化,引起黄土高原片状水力侵蚀程度下降。但突发性暴雨洪水和土地利用现状改变可能增强切沟溯源冲蚀能力,增加了黄土高原水土流失和农田及道路被冲毁的风险。

关键词:黄土高原;气候变化;农业气候资源;生态环境;土壤水蚀

The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade

E Youhao^{1,*}, SHI Qian², MA Yuping¹, GUO Jianping¹, XIAO Zhenglu³

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Qingyang Academy of Agricultural Sciences, Qingyang 745000, China

Abstract: By using the daily data derived from the Regional Climate Model-PRECIS on the climate scenario of A2 and B2 and on the base-line climatic period, the characteristics and the impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in the next decade were analyzed. The result showed that in the next decade, the solar radiation and accumulated temperature are going to increase, but, the precipitation is going to reduce. The increase of air temperature will maybe more impact both on winter wheat and summer maize, while less impact probably on potato. The yield of major staple crops, however, will be impacted largely by the decrease of precipitation. On the condition of the breeds not to be changed, the increase of solar radiation and accumulated temperature will likely induce increase of crop water requirement 10%—15%, sowing delay 1—3 days of winter wheat, early sowing 1—3 days of summer maize and potato, early harvest 1—2 days and decrease of duration 3—5 days of winter wheat, summer maize and potato, resulting in 50%—100% decline of climate yield both in winter wheat and potato. In the next decade, the coverage of grassland in Loess Plateau will reduce and the artificial forest density will decline. The decrease of precipitation and vegetation change will probably cause decline of sheet erosion degree. However, the probability of head-cut gully erosion will increase because of extreme event of precipitation and land use/cover change. The risk of water and soil loss is increasing in Loess Plateau.

基金项目:全球变化研究国家重大科学研究计划资助项目(2010CB951302)

收稿日期:2011-06-20; **修订日期:**2011-07-11

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

Key Words: the Loess Plateau; climate change; agroclimatic resources; eco-environment; soil water erosion

近 50 多年来,以气温和 CO_2 浓度增加为主要特征的气候变化已经给我国农业生产和生态环境带来了重大影响。IPCC 第四次评估报告指出,未来全球地表温度将继续升高,极端天气/气候事件与气象灾害的频率和强度继续增大,未来气候变化对我国农业生产和生态环境还将产生严重影响^[1-2]。基于区域气候模式 PRECIS 输出的未来 A2 和 B2 气候情景^[3]逐日资料及基准气候时段逐日气象资料开展的气候变化背景下中国农业气候资源演变趋势分析与预测结果显示^[4],未来 40a(2011—2050 年),我国农业气候资源变化特征为:全国范围而言,大部分区域的太阳辐射量增加 1—500 MJ/m^2 ,积温增加 1—800 $^{\circ}\text{C}$,日平均气温稳定通过 0、3、5、10 $^{\circ}\text{C}$ 和 15 $^{\circ}\text{C}$ 的初日提前、终日延迟,平均无霜期增加 1—40d,潜在蒸散量增加 1—200mm,降水量增加 1—50mm,部分区域降水量增加 100—200mm。然而,在以固原、西峰、延安和太原等为中心的黄土高原大部分区域,未来 40a,在热量资源增加的同时,降水量有减少的趋势。尤其是 2011—2020 年,降水量将减少 1—50mm,一些区域降水量减少量达到 50—100mm,降水量表现出与全国大部分区域相反的变化趋势。黄土高原是我国主要的自然地理区域单元,其承载着重要的区域社会经济作用及生物多样性保护、水土保持和荒漠化控制等生态功能。黄土高原也是我国主要的雨养旱作农业分布区,水资源短缺,生态环境极其脆弱,水资源是制约区域农业生产、产业结构布局 and 生态良性发展的关键因素。未来 10a,如果热量资源增加 3%—5%,降水量减少 10%—15%,气候变化对黄土高原农业生产和生态环境将产生何种程度的影响?随着我国极端天气/气候事件与灾害的频率和强度的增大,极端暴雨或洪水等天气对黄土高原土壤侵蚀和生态环境将产生怎样的影响?因此,预测分析黄土高原未来农业气候资源变化特点及其对农业生产和生态环境的影响,对于及早制定黄土高原应对气候变化的管理和适应性措施具有重要意义。

A2 和 B2 情景分别是 IPCC 提出的未来 100a 全球温室气体排放‘国内/区域资源情景’和‘区域可持续发展情景’。本文采用许吟隆等利用区域气候模式 PRECIS 输出的未来 40a(2011—2050 年) A2 和 B2 气候情景及基准气候时段(1961—1990 年)逐日降水、太阳总辐射、平均气温、平均风速、相对湿度等要素的格点资料(Grid: 50km $\times$ 50km),通过逐日累积和 FORTRAN 程序计算,得到日平均气温稳定通过 0、3、5、10 $^{\circ}\text{C}$ 和 15 $^{\circ}\text{C}$ 的年太阳总辐射、积温、降水和蒸散发等要素的格点数据,选择生态环境极其脆弱并且农业气候资源变化在未来气候变化情景下具有突出区域表现特点的黄土高原为研究区,应用 GIS 空间插值方法,获得未来 10a(2011—2020 年)黄土高原太阳总辐射、积温、降水和蒸散发等要素的空间分布数据,分析已经到来的 21 世纪第二个 10a 黄土高原农业气候资源的变化特征,研究气候变化对黄土高原农业生产和生态环境的影响,为制定黄土高原应对气候变化的管理和适应性措施提供决策依据,同时,也为基于不同 SRES 情景气候变化模拟结果的区域性验证提供参考。

1 未来 10a 黄土高原农业气候资源变化特征

农业气候资源指对农业生产有用的气候条件,是影响农作物生长发育和产量形成的最主要外界因素之一。农业气候资源主要包括光能资源、热量资源、水资源等。不同界限温度期间我国农作物生长表现和农业气候资源变化特征具有较大差异性。根据我国农业气候资源和物候变化特点,日平均气温大于 0 $^{\circ}\text{C}$ 的持续期一般称为农耕期,可代表一个区域植物可能生长期或生长季;日平均气温大于 3 $^{\circ}\text{C}$ 的持续期为喜凉作物的生长期;日平均气温大于 5 $^{\circ}\text{C}$ 的持续期称为植物的生长期;日平均气温大于 10 $^{\circ}\text{C}$ 的持续时期称为喜温作物的生长期或作物活跃生长期;日平均气温大于 15 $^{\circ}\text{C}$ 的持续期为喜温作物的活跃生长期。限于篇幅,以下只对 0 $^{\circ}\text{C}$ 和 10 $^{\circ}\text{C}$ 两个界限温度的农业气候资源变化特点进行展示与描述。根据 PRECIS 模拟数据的计算和空间分布结果,得出未来 10a(2011—2020 年)日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 A2 和 B2 气候情景下黄土高原光、热、水等农业气候资源变化特征。

1.1 太阳辐射量变化特征

基准气候时段(1961—1990 年),黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间太阳辐射量分别为 3000—

4500 MJ/m²和 1500—3000 MJ/m²。与基准气候时段太阳辐射量相比,A2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间大部分区域太阳辐射量将增加 50—100 MJ/m²,黄土高原西部的固原、兰州、岷县等区域太阳辐射量将增加 150—250 MJ/m²。日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间大部分区域太阳辐射量将增加 50—100 MJ/m²;西部的兰州、岷县等边缘区域太阳辐射量将增加 350—400 MJ/m²(图 1)。B2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间绝大部分区域太阳辐射量将增加 150—250 MJ/m²。日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间中西部以榆林—延安—西峰—岷县—西宁—银川为边界的区域太阳辐射量将增加 300—400 MJ/m²;延安和榆林以东区域太阳辐射量将增加 200—250 MJ/m²(图 2)。

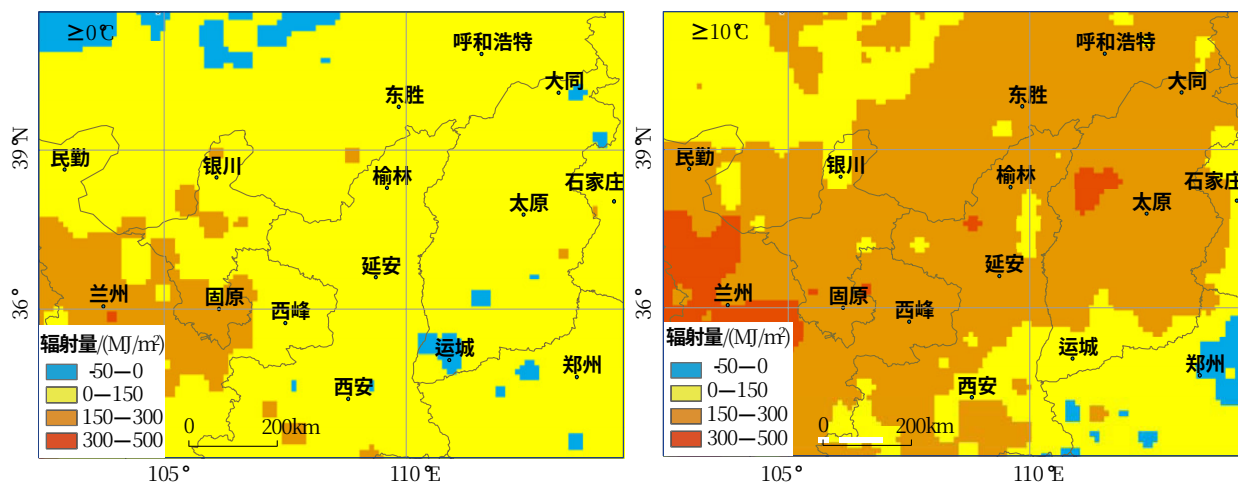


图 1 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 A2 情境下太阳辐射变化量

Fig. 1 Solar radiation variation on scenario A2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C

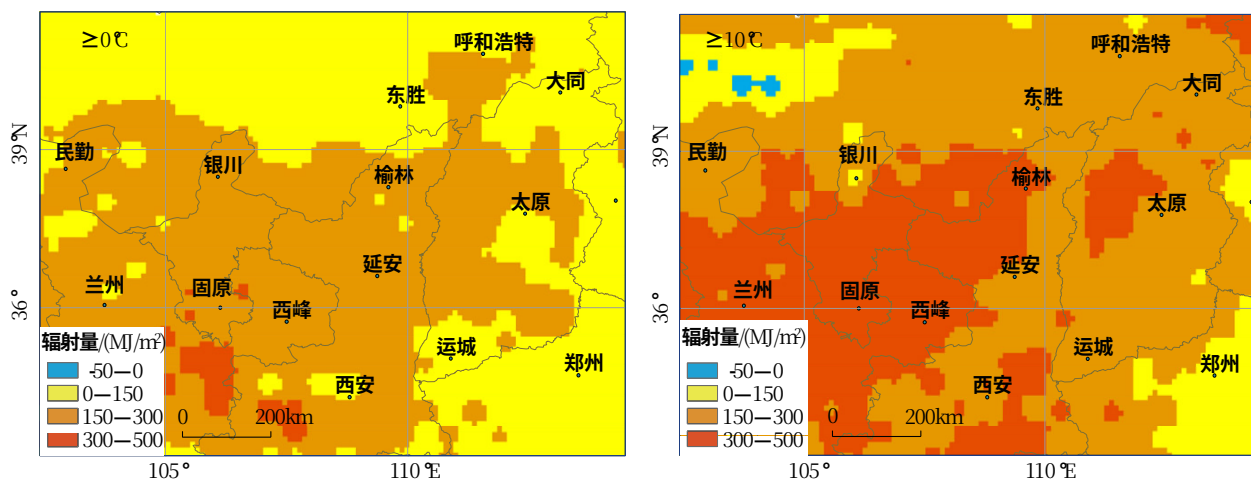


图 2 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 B2 情境下太阳辐射变化量

Fig. 2 Solar radiation variation on scenario B2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C

1.2 积温变化特征

基准气候时段,黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温分别为 2500—4500 $^{\circ}\text{C}$ 和 1500—3500 $^{\circ}\text{C}$ 。与基准气候时段积温相比,A2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间积温将增加 200—250 $^{\circ}\text{C}$ 。日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间大部分区域积温将增加 250—290 $^{\circ}\text{C}$;长城沿线和兰州、岷县等西部边缘区域积温增加 300—350 $^{\circ}\text{C}$ (图 3)。B2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间几乎所有区域积温将增加

300—350℃。日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间大部分区域积温将增加 350℃左右,榆林、延安、西峰等中部地区积温将增加 430—450℃(图 4)。

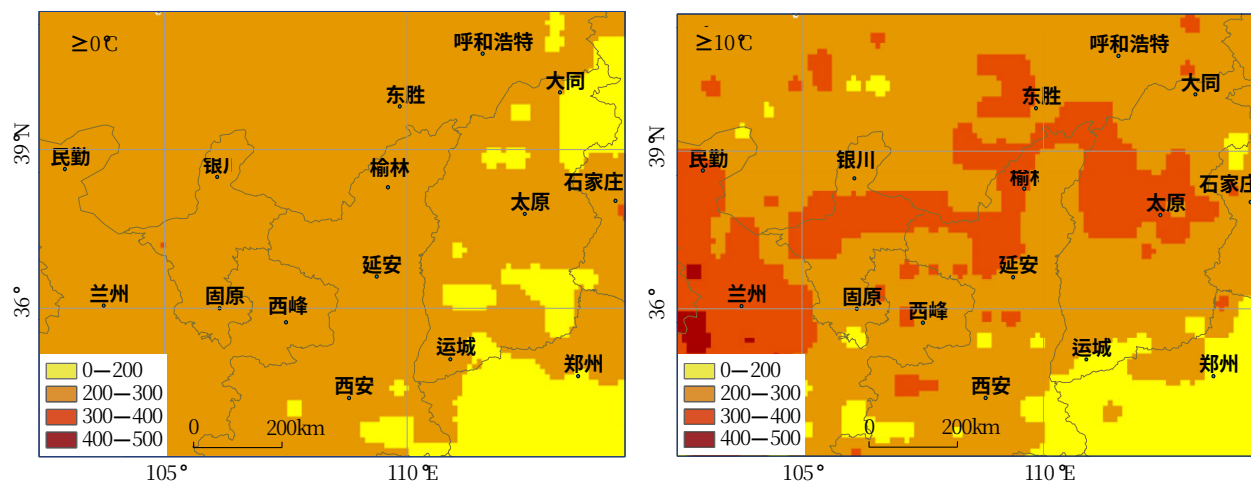


图 3 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 A2 情境下积温变化量

Fig. 3 Accumulated temperature variation on scenario A2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C

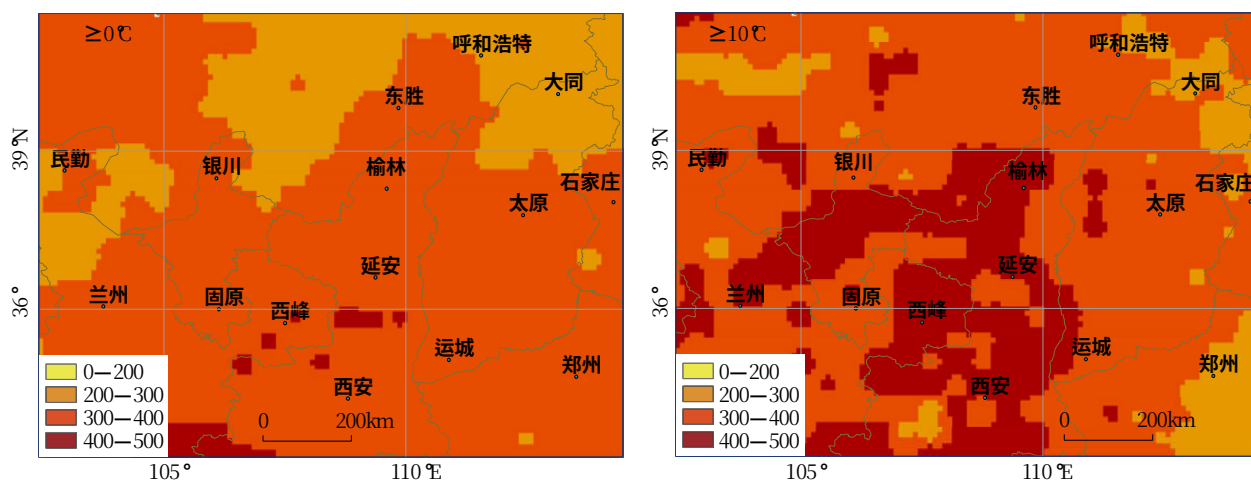


图 4 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 B2 情境下积温变化量

Fig. 4 Accumulated temperature variation on scenario B2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C

1.3 蒸散量变化特征

黄土高原属于半干旱和半湿润地区,潜在蒸散量大。基准气候时段,黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间潜在蒸散量分别为 400—900mm 和 400—700mm。与基准气候时段蒸散量相比,A2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间中西部区域潜在蒸散发将增加 50—80mm,山西区域内潜在蒸散发增加较少,为 30—50mm。日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间大部分区域蒸散发增加 50—90mm,中部较小区域增加 100mm 左右(图 5)。B2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间几乎所有区域蒸散发增加 50—90mm,日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间沿兰州—固原—西峰—延安—榆林—银川区域内蒸散发将增加 100—120mm,其余地区蒸散发将增加 70—100mm(图 6)。

1.4 降水量变化特征

降水量少、年际变率大和降水时空分布不均是黄土高原降水的基本特点。基准气候时段,黄土高原的日

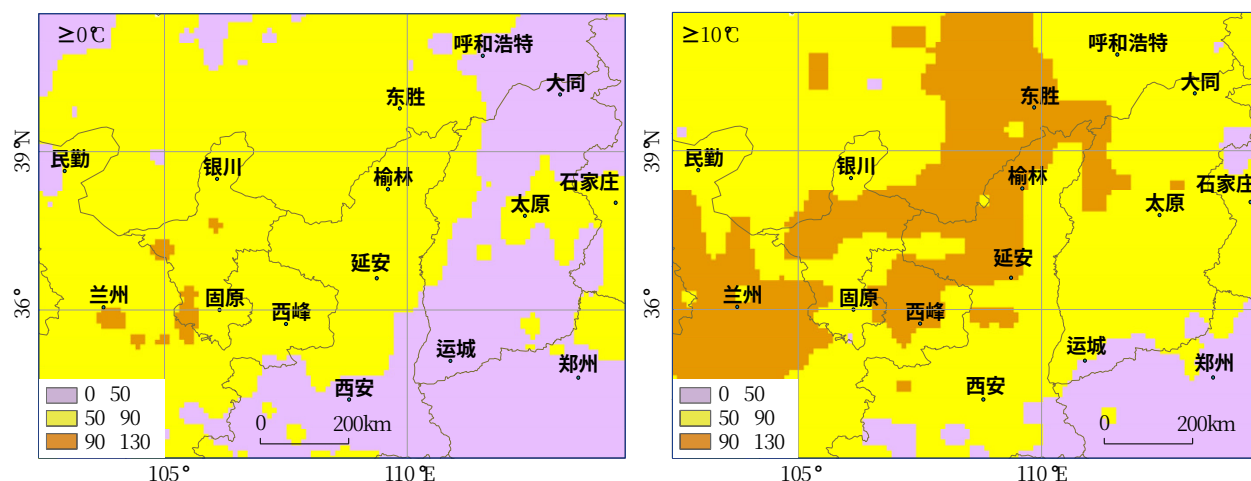


图5 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 A2 情境下蒸散发变化量

Fig. 5 Evapotranspiration variation on scenario A2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C

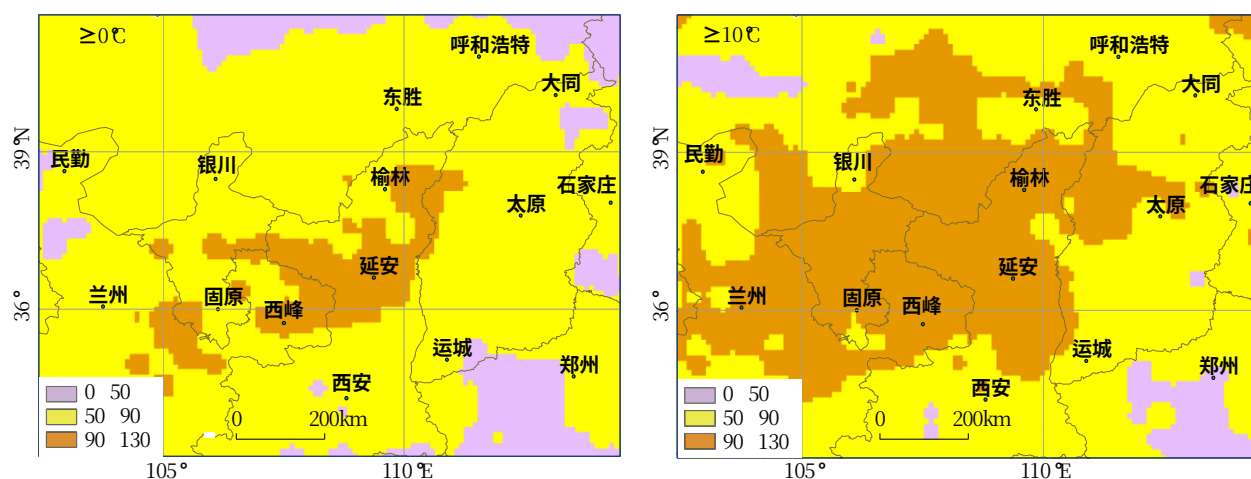


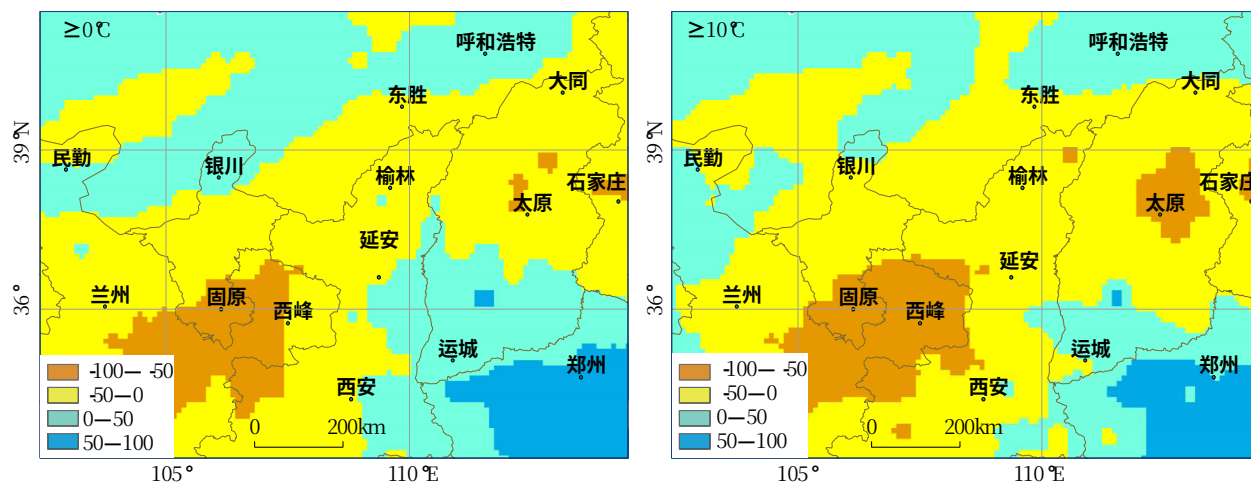
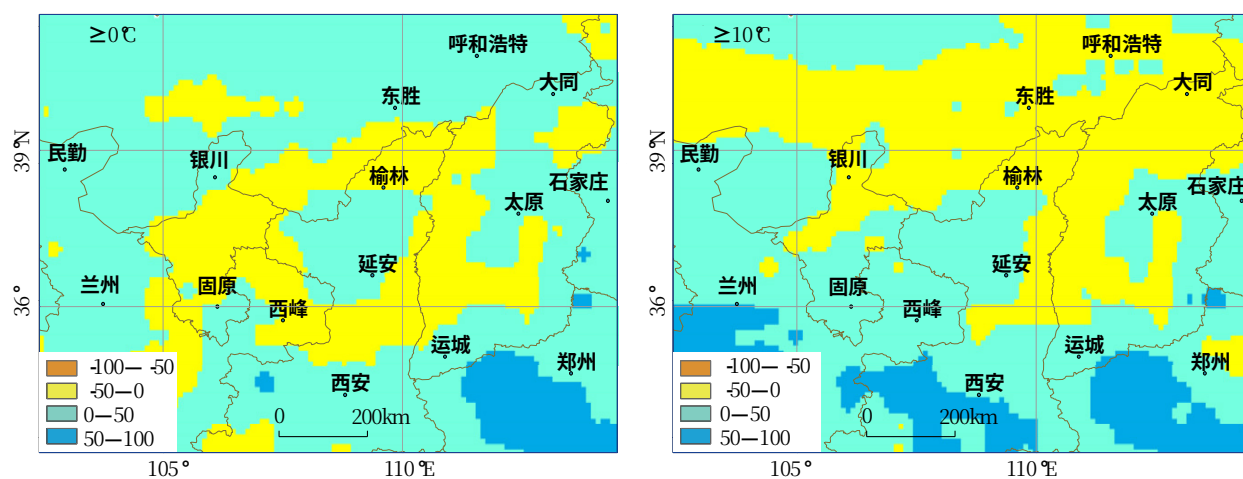
图6 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 B2 情境下蒸散发变化量

Fig. 6 Evapotranspiration variation on scenario B2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C

平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间降水量分别为 250—700mm 和 200—550mm。与基准气候时段降水量相比, A2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间降水量以减少为主, 其中, 六盘山及其两侧的陇东和陇西高原降水量将减少 50—100mm, 其它区域降水量减少 10—50mm。日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间降水量也仍然以减少为主, 其中, 六盘山及其两侧的陇东和陇西高原和太原地区降水量将减少 50—100mm, 其他区域降水量减少 10—50mm (图 7)。B2 气候情景下黄土高原的日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间降水量有增加的区域, 也有减少的区域, 其中, 中部地区降水量以减少为主, 减少 5—20mm, 黄土高原边缘区域降水量以增加为主, 增加量 5—30mm。日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间黄土高原北部边缘区域降水量将减少 10mm 左右, 其它区域降水量将增加 10—30mm (图 8)。

2 未来 10a 气候变化对黄土高原农业生产的影响

黄土高原是我国主要的雨养旱作农业分布区, 主要种植冬小麦、春小麦、春玉米、马铃薯、荞麦、莜麦、谷子、黍子等粮食作物。水资源是制约该地区农业生产最主要的因素之一。PRECIS 模式模拟结果显示, 未来 10a, A2 和 B2 两种气候情景下黄土高原光热资源变化与全国范围的光热资源变化特点相同, 呈增加趋势。光热资源增加和界限温度的初日提前及终日延迟, 引起潜在蒸散量增加, 无霜期延长, 对作物生育期的长短有较

图 7 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 A2 情境下降水量变化Fig. 7 Precipitation variation on scenario A2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C 图 8 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间 B2 情境下降水量变化Fig. 8 Precipitation variation on scenario B2 when mean daily temperature more than 0°C and 10°C

大影响。但是,与全国范围降水量变化特点相反,未来 10a 黄土高原降水量以减少为主要变化趋势,尤其在 A2 气候情景下,六盘山及其两侧的陇东及陇西高原和太原地区降水量将减少 50—100mm,减少幅度至少达到 9%—18%。在 B2 气候情景下,黄土高原中部和北部降水量也将减少 1—50mm。黄土高原农业气候资源变化表现出水热增减的逆向变化特点。未来 10a 气候变化对不同生态习性的作物产生的影响表现各不相同。

2.1 冬小麦

冬小麦是耐寒性较强的作物。黄土高原冬小麦生育期 240—270 d,全生育期需水量为 350—450mm,需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 1900—2200 $^{\circ}\text{C}$ 。

近 50a 来,黄土高原 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温平均增加了 403.3 $^{\circ}\text{C}$,降水量平均减少 45.7mm。以 20 世纪 60 年代为基础,积温平均每 10a 增加 101 $^{\circ}\text{C}$,降水量平均每 10a 减少 11.4mm(1961—2010 年 20 个代表站点数据)。但是,不同年代积温增加幅度差异较大,70 年代较 60 年代 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温增加 68 $^{\circ}\text{C}$,80 年代较 70 年代增加 1.0 $^{\circ}\text{C}$,90 年代较 80 年代增加 176 $^{\circ}\text{C}$,2001—2010 年比 90 年代增加 158 $^{\circ}\text{C}$,明显增温开始于 1996 年。近 50a 来的积温增加导致冬小麦播种期推后 4—8 d,收获期提前 3—5d,全生育期缩短 6—9d,冬小麦气候产量下降

125.7%^[5-6]。随着气候暖干化的发展,冬小麦的种植界限不断北扩西移,过去冬小麦不能越冬的黄土高原西部和北部,如甘肃陇西黄土高原、宁夏中西部、河套平原等地区近 10a 来都在推广种植冬小麦。

未来 10a, A2 和 B2 情景下黄土高原 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温增加幅度达到 200—300 $^{\circ}\text{C}$,局部区域增幅甚至达到 400—450 $^{\circ}\text{C}$ 。10a 的积温增加幅度有可能接近过去 50a 的积温增加幅度。随着热量资源不断增加和降水减少,黄土高原冬小麦生育期潜在蒸散发将可能增加 30—100mm,生育期需水量将可能增加 20—80mm。根据过去 50a 气候变化对冬小麦生产的影响趋势,未来 10a,在现有冬小麦品种不发生较大变化前提下,黄土高原冬小麦生育期可能再缩短 3—5d,需水量增加 10%—15%,气候产量将可能下降 50%—100%。适宜种植范围将逐步在黄土高原扩大,并向较高海拔地区发展。

2.2 春玉米

黄土高原春玉米全生育期 140—150d,需水量 435—600mm,全生育期需要 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 2400—2800 $^{\circ}\text{C}$ 。由于黄土高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温基本都高于 2800 $^{\circ}\text{C}$,积温对玉米生长基本没有限制作用,水分成为黄土高原春玉米生长发育最主要的限制因子。

近 50a 来,黄土高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温平均增加了 374 $^{\circ}\text{C}$,以 20 世纪 60 年代为基础平均每 10a 增加 93.5 $^{\circ}\text{C}$, (1961—2010 年 20 个代表站点数据)。其中,70 年代较 60 年代 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加 62 $^{\circ}\text{C}$,80 年代比 70 年代积温增加 31 $^{\circ}\text{C}$,90 年代比 80 年代积温增加 149 $^{\circ}\text{C}$,2001—2010 年比 90 年代积温增加 132 $^{\circ}\text{C}$,积温显著增加开始于 1996 年。根据 1991—2005 年黄土高原西部春玉米生长观测研究结果,积温增加导致春玉米播种期提前 1—2d,生育期缩短 8—12d,气候产量变化主要受治于降水多少与干旱程度状况^[7-8]。

未来 10a, A2 情景下黄土高原大部分区域 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加幅度达到 200—300 $^{\circ}\text{C}$,中部和西部部分区域积温增加幅度达到 300—400 $^{\circ}\text{C}$ 。B2 情景下大部分区域 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温可能增加 300—400 $^{\circ}\text{C}$,中部部分区域可能增加 400—500 $^{\circ}\text{C}$ 。未来 10a 部分区域 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加幅度可能超过近 50a 的积温增加幅度。温度增加和降水量减少,导致春玉米蒸散发增加、用水量减少,最终影响春玉米气候产量。根据过去 50a 气候变化对春玉米生产的影响趋势,未来 10a,黄土高原春玉米播种期将可能再提前 1—2d,生育期可能缩短 5—8d,气候产量波动变化将主要受降水量减少的状况而定。另外,随着积温增加和春玉米播种期提前,适宜春玉米生长季延长,春玉米品种可能向中晚熟变化。

2.3 马铃薯

马铃薯是喜温凉、耐干旱的作物,适宜于我国西北冷凉半干旱半湿润气候区种植。马铃薯全生育期 150—160d,需 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温 2000—3000 $^{\circ}\text{C}$ 。生育期需水量 350—450mm。据研究,现蕾至开花期是马铃薯营养生长和生殖生长的关键期(5—6 月份)。这时期降水量与气候产量呈显著性正相关。马铃薯气候产量与块茎膨大期(7—8 月份)平均气温呈显著负相关,温度愈高,减产幅度愈大^[9]。根据黄土高原过去 50a 气象数据分析显示(1961—2010 年 20 个代表站点数据),全年中 2 月份增温幅度最大,平均月增温 3.9 $^{\circ}\text{C}$,增幅达到 103%,3 月份和 11 月份增温幅度次之,增幅为 80%左右,1 月和 12 月份增温幅度为 35%左右,5—9 月份增温幅度很小,为 1%—7.5%,8 月份甚至降温 0.8 $^{\circ}\text{C}$ 。如果气温变化按照现有的模式发展,未来 10a 积温增加对马铃薯块茎膨大期的不利影响作用有限。在现蕾至开花期降水保证的情况下,温度增加对马铃薯的生产可能产生有利影响。然而,由于降水量变化在时间和空间上具有极大的不确定性,如果降水量减少主要发生在马铃薯现蕾至开花期,就会对马铃薯生产产生重大影响。根据预测结果, A2 气候情景下,黄土高原日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间降水量将减少 50mm 左右,局部区域甚至减少 50—100mm。B2 气候情景下,黄土高原北部降水量减少 20—50mm,南部区域降水量有可能增加 1—50mm。如果未来 10a 降水量减少主要发生在马铃薯的现蕾至开花期,马铃薯的产量将受到很大影响,气候产量减产幅度可能达到 30%—50%。因此,未来 10a 黄土高原马铃薯气候产量主要受生育期降水量变化的影响,尤其是现蕾至开花期降水量变化对马铃薯产量有很大影响。另外,增温对马铃薯的播种期、种植范围和种植海拔高度可能还将产生影响,导致马铃薯播期继续提前,种植范围更加扩大并进一步向较高海拔区推进。

3 未来 10a 气候变化对黄土高原生态环境的影响

黄土高原生态环境的突出特点是地表破碎,沟壑纵横,塬、梁、峁和沟谷等黄土地貌广泛分布,植被稀疏,水土流失严重,旱涝灾害频繁,生态环境脆弱。

未来 10a,随着热量资源增加和降水量减少,以及由于气象灾害的突发性和不确定性等因素的增加,气候变化对黄土高原的地表植被生长和水土流失可能产生较大影响。

3.1 对地表植被生长的影响

由于自然气候条件和历史上人为活动等因素影响,黄土高原植被表现为盖度低、生长缓慢,滥砍、过牧等程度严重。1998 年以来,随着退耕还林还草工程和禁牧措施的实施,黄土高原土地利用结构和植被盖度发生很大变化。原有的一些坡耕地转变为草地,过牧草地的植被得到一定程度恢复。NDVI 平均增加 4.5%,黄土塬、黄土峁、梁状黄土丘陵等典型黄土地貌区 NDVI 增加 10% 以上^[10],局部区域草地和林地面积分别扩大 9.8% 和 15.6%,耕地减少 23.8%^[11]。

在人为干预作用下,黄土高原的植被盖度虽然有很大程度提高,但是,近 10a 来植被变化动态监测结果显示,植被盖度及空间分布仍然主要受降水量大小决定^[10]。未来 10a,太阳辐射量增加和气温升高将导致植被蒸散量增加。植被蒸散量增加和降水量减少共同作用将引起土壤水分含量下降。根据相关研究,过去几十年来黄土高原的人工植被建设导致土壤干层出现,引起了比较严重的土壤干化问题^[12],土壤水分条件极不利于植被的生长,尤其不利于人工林生长和发展。未来 10a,在不利的植被生长土壤环境和气候暖干化变化的趋势下,黄土高原植被生长将可能受到很大程度的影响,草地盖度的增加幅度将可能下降,人工林地可能稀疏化,人工林生长可能会受到抑制。

3.2 对水土流失的影响

黄土高原的土壤水蚀主要类型有切沟溯源侵蚀和片状(面状)侵蚀。黄土高原水土流失的程度主要取决于地表植被状况、侵蚀类型和降水特征等因素。近 50a 来,黄土高原植被状况较好的区域,其水土流失主要表现为暴雨引起的切沟溯源侵蚀,在植被状况较差的区域,其水土流失表现为暴雨面状侵蚀和切沟溯源侵蚀。未来 10a,从区域空间上而言,在现有植被盖度条件下,降水量减少可能会减轻黄土高原面状水力侵蚀程度,但与植被对降水量减少的反馈影响程度有关。然而,切沟溯源侵蚀状况比较复杂,不同的土地利用状况和降水特征对切沟溯源侵蚀的程度有很大影响。未来 10a,虽然年降水量有可能减少,但是,随着极端天气/气候事件与气象灾害的频率和强度的增大,黄土高原突发性暴雨和洪水引起的切沟溯源侵蚀程度有可能增加。另外,随着黄土高原新农村建设和村村通硬化面公路建设,道路和庭院等人工集水面扩大,集流路径延长,集流的切沟溯源冲刷能力增强,黄土高原切沟溯源冲刷引起水土流失和冲毁道路的风险在增加。

4 讨论与结论

4.1 A2 和 B2 气候情景中的不确定性问题

政府间气候变化委员会(IPCC)排放情景特别报告(SRES)中提出的 A2 排放情景是以人口持续增长、新技术发展缓慢、资源消耗利用并注重区域性合作为特征的未来发展可能模式,是一种高排放情景。B2 排放情景是考虑人口缓慢增长、区域可持续发展的未来变化情景^[1]。未来气候情景设计是气候模拟、气候变化影响评估等工作的基础,是当前开展气候变化影响评估研究的主要及有效选择^[2]。利用 A2 和 B2 气候情景较好地模拟和展示了全国未来气候变化状况,但是,由于数据、方法、区域差异和情境选择等方面的原因,使得利用 A2 和 B2 气候情景模拟和分析气候变化对黄土高原农业生产和生态环境的影响的结果仍然有许多不确定性。

首先,A2 和 B2 气候情景存在不确定性。目前,我国大部分的模拟和预测评估研究都利用 A2 和 B2 气候情景的原因,是由于 B2 气候情景被认为是与我国未来发展状况最接近的情景,而 A2 气候情景是高排放条件下可能最坏的发展状况的情景^[13]。由于 SRES 中提出的几种气候情景是对未来 100a 全球温室气体排放的预估情景,在未来 100a 内,不同时间和不同区域,A2 和 B2 气候情景存在一定的区域差异性和不确定性。在未来几十年,尤其是未来 10—20a,黄土高原地区(如:山西、陕北、甘肃东部、宁夏南部、内蒙古南部等地区)可

能仍然是以资源型为主的社会经济发展模式,可能更接近 A2 气候情景,或处于 A2 和 B2 气候情景之间的社会经济情景。气候情景的不确定性对分析与预测结果的准确性有一定程度影响。

其次,在利用 A2 和 B2 气候情景开展预测与分析过程中,空间数据的准确性、空间数据处理方式、模型区域化应用中尺度转换和数据的损失等问题也存在不确定性^[13]。这些不确定性也直接影响分析与预测评估结果的准确性。

近百年来,全球增温已经是不争的事实。近 50 多年来,增温和降水量减少在中国西北地区(93 °E 以东)表现比较明显^[14-15]。虽然 A2 和 B2 气候情景中存在许多不确定性因素,但是,利用 A2 和 B2 气候情景预测和分析的结果与黄土高原气候变化的趋势基本一致。说明这些不确定性并不影响预测和分析结果的可能性。

4.2 黄土高原作物品种变化与适应性问题

上述分析结果是基于农作物品种和生态系统的适应性保持不变的前提下开展的。事实上,农作物和人工及天然植被适应气候变化是一个永恒的主题,不论过去、现在还是将来。作物通过自主调节生理机能和改变遗传性状等方式不断适应气候变化。同时,人为作用通过改善作物的生理生态特性(例如;耗水量、光合作用、生育期、抗旱性等)和改变作物品种达到适应气候变化和满足人类需求的目的,并且,人为作用在适应气候变化方面比作物自身具有更强的敏感性和超前性。例如,作物品种、种植结构、种植范围和耕作方式等方面的较快变化是人为作用比作物自身适应气候变化具有更强的敏感性和超前性的体现。因此,作物不断通过自主适应和被动适应在逐渐应对气候变化。这些适应和应对过程是渐进式的。从这个意义上说,上述气候变化对黄土高原农业生产影响的分析结果是相对的,即,在未来 10a,黄土高原热量资源增加和降水减少引起的作物生育期缩短和气候产量下降等变化可能会被作物品种变化和生理生态特性改变而掩盖,生育期和气候产量等并不表现出明显的缩短和下降等变化。但是,并不表示气候变化对该地区的农业生产和生态环境没有影响,只是这些影响被逐渐的变化与适应过程所替代。

4.3 黄土高原农业生产和生态环境保护与恢复的适应性对策

在 A2 和 B2 气候情景下,未来 10a 黄土高原气候变化最突出的特点是热量资源增加和降水量减少。作为半干旱半湿润地区,降水量少且年际变率大。水资源本身就是制约黄土高原农业生产和生态环境建设的关键因素。在未来 10—20a,对农业生产和生态环境建设而言,降水量继续减少无疑是雪上加霜。另外,黄土高原又是世界上水土流失最严重的地区之一。随着极端天气/气候事件与气象灾害的频率和强度的增大,突发性暴雨和洪水引起水土流失和冲毁道路的风险在增加。

因此,黄土高原在应对气候变化过程中,需要清醒认识自身的区域自然环境及其变化特点。在农业生产和生态建设方面,建议发展具有地方特色的多品种、多模式、多元化的种养业,以减缓和应对气候变化不确定性对单一模式农业生产的冲击和影响。例如,在黄土高原可耕种的川、塬、峁等耕地上,种植豆类、谷子、粟子、莜麦、荞麦、马铃薯等特色杂粮和经济作物。同时,积极开展多流域、多站点、密集式的雨水集流工程和小流域治理。例如,根据地形特点,建设密集的集雨池、拦洪坝等,以减缓水土流失,增加作物和人工植被灌溉水源。充分利用地形起伏形成的立体光热资源和雨水自流灌溉潜力,生产多种绿色、环保、有机农产品,建设和恢复可持续发展的生态环境。

4.4 结论

基于过去 50a 黄土高原气候变化趋势和区域气候模式模拟结果对比分析,得出以下结论:

(1) 未来 10a,黄土高原光热资源增加,降水量减少 10%—15%,气候将以暖干化为主要变化趋势。在 A2 和 B2 气候情景下,日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间,太阳辐射将增加 50—250 MJ/m²,积温增加 200—300℃,蒸散发增加 50—100mm。与全国大部分区域降水量有增加趋势不同,日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间,黄土高原降水量减少 10—100mm,减少的中心区域位于陇东陇西高原和太原盆地。

(2) 光热资源增加有助于扩大黄土高原作物种植范围,延长作物适宜生长季,提高作物复种指数。但光热资源增加必然增大作物田间蒸散量,再叠加降水量减少的可能,黄土高原干旱风险程度将可能增大。

(3) 未来 10a, 黄土高原冬小麦播种期可能进一步推迟 2—3d, 收获期提前 1—2d, 生育期可能再缩短 3—5d, 需水量将增加 10%—15%, 气候产量下降 50%—100%, 适宜种植范围将逐步在黄土高原扩大。春玉米播种期将可能再提前 1—2d, 生育期可能缩短 5—8d, 气候产量波动变化将主要受生育期降水量时空分布变化而定。随着积温增加和春玉米播种期提前, 适宜春玉米生长季延长, 春玉米品种可能向中晚熟变化。增温对马铃薯产量的影响程度可能较小, 对马铃薯的播种期、种植范围和种植海拔高度可能产生一定影响, 导致马铃薯播期继续提前, 种植范围更加扩大。马铃薯的气候产量将主要受生育期降水量变化的影响, 尤其是现蕾至开花期降水量变化对马铃薯产量有很大影响。

(4) 气候暖干化变化趋势下, 未来 10a, 黄土高原植被生长将可能受到很大程度的影响, 草地盖度的增加幅度将可能下降, 人工林地可能稀疏化, 人工林生长可能会受到抑制。植被覆盖和土地利用状况变化可能导致黄土高原片状水力侵蚀程度下降, 突发性暴雨和洪水引起的切沟溯源冲蚀能力增强, 黄土高原切沟溯源冲蚀引起水土流失和冲毁道路的风险在增加。

References:

- [1] Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L, IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] National Assessment Report on Climate Change. Beijing: Science Press, 2007.
- [3] Xu Y L, Huang X Y, Zhang Y, Lin W T, Lin E D. Statistical analyses of climate change scenarios over China in the 21st Century. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1(2): 80-83.
- [4] Guo J P. The Evolutive Trend of Chinese Agroclimatic Resources on the Background of Climate Change. Beijing: China Meterological Press, 2010.
- [5] Deng Z Y, Zhang Q, Pu J Y, Liu D X, Guo H, Zhao H, Wang Q F, Wang H L. The impact of climate warming on crop planting and production in northwestern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3760-3768.
- [6] Zhang M C, Duan J S, Li Z, Huang B, Zhang H N. Impact of climate warming on crop growth and climate productivity in plain area of the Loess Plateau. *Resources Science*, 2006, 28(6): 46-50.
- [7] Deng Z Y, Zhang Q, Ning H F, Liang D S, Wang Q, Xu J Q, Wang J S. Influence of climate warming and drying on crop eco-climate adaptability in Northwestern China. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(3): 633-639.
- [8] Yao X Y, Pu J Y, Yao R X, Qiao Y J. Assessment of maize water adequacy in Loess Plateau of Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(22): 6242-6248.
- [9] Zhang Q, Yang X W, Huang C Y. Impact of climatic variation in Maize productive capacity in the Loess Plateau area in recent 30 years. *Agrometeorology Meteorology*, 1995, 16(6): 19-23.
- [10] Liu Z H, Guo W L, Yang Q K, Guo Y F, Zhu X X, Li R. Vegetation cover changes and their relationship with rainfall in different physiognomy type areas of Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation*, 2011, 9(1): 16-23.
- [11] Li J R, Sun B P, Ling X, Guo J Y. Study on land use and dynamic changes of vegetation cover in and after the project of returning farmland to forests-taking the Ansai County as example. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2010, 31(3): 130-135.
- [12] Wang L, Shao M A. Soil desiccation under the returning farms to forests on the Loess Plateau. *World Forestry Research*, 2004, 17(4): 57-60.
- [13] Xiong W, Ju H, Xu Y L, Lin E D. The Threshold of temperature increase due to climate change for Chinese agriculture and its uncertainties. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(1): 70-76.
- [14] Guo M P, Wang Z W, Qin A M, Fan Y L. Changes in precipitation in Northwest China over the last 54 years. *Arid Zone Research*, 2009, 26(1): 120-125.
- [15] Jin L Y, Fu J L, Chen F H. Spatial differences of precipitation over Northwest China during the last 44 years and its response to global warming. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(5): 567-572.

参考文献:

- [2] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007.
- [3] 许吟隆, 黄晓莹, 张勇, 林万涛, 林而达. 中国 21 世纪气候变化情景的统计分析. *气候变化研究进展*, 2005, 1(2): 80-83.

- [4] 郭建平. 气候变化背景下中国农业气候资源演变趋势. 北京: 气象出版社, 2010.
- [5] 邓振镛, 张强, 蒲金涌, 刘德祥, 郭慧, 赵鸿, 王全福, 王鹤龄. 气候变暖对中国西北地区农作物种植的影响. 生态学报, 2008, 28(8): 3760-3768.
- [6] 张谋草, 段金省, 李宗, 黄斌, 张红妮. 气候变暖对黄土高原区农作物生长和气候生产力的影响. 资源科学, 2006, 28(6): 46-50.
- [7] 邓振镛, 张强, 宁惠芳, 梁东升, 王强, 徐金强, 王劲松. 西北地区气候暖干化对作物气候生态适应性的影响. 中国沙漠, 2010, 30(3): 633-639.
- [8] 姚小英, 蒲金涌, 姚茹莘, 乔艳君. 甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估. 生态学报, 2010, 30(22): 6242-6248.
- [9] 张强, 杨贤为, 黄朝迎. 近 30 年气候变化对黄土高原地区玉米生产潜力的影响. 中国农业气象, 1995, 16(6): 19-23.
- [10] 刘志红, 郭伟玲, 杨勤科, 郭艳芬, 朱小祥, 李锐. 近 20 年黄土高原不同地貌类型区植被覆盖变化及原因分析. 中国水土保持科学, 2011, 9(1): 16-23.
- [11] 李锦荣, 孙保平, 凌侠, 郭建英. 退耕还林工程前后土地利用与植被盖度动态变化研究——以安塞县为例. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 130-135.
- [12] 王力, 邵明安. 黄土高原退耕还林条件下的土壤干化问题. 世界林业研究, 2004, 17(4): 57-60.
- [13] 熊伟, 居辉, 许吟隆, 林而达. 气候变化对中国农业温度阈值影响研究及其不确定性分析. 地球科学进展, 2006, 21(1): 70-76.
- [14] 郭慕萍, 王志伟, 秦爱民, 范永铃. 54 年来中国西北地区降水量的变化. 干旱区研究, 2009, 26(1): 120-125.
- [15] 靳立亚, 符娇兰, 陈发虎. 近 44 年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应. 地理科学, 2005, 25(5): 567-572.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yonghan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distrubution of <i>Platyclusus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元