

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **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 19 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇, 刘金铜, A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨 斌, 王程亮, 纪维红, 等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花, 郭 聪, 张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉, 徐 军, 雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉, 王晓娟, 李媛媛, 等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福, 赵 鑫, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, 等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春, 黄 炎, 李德生, 等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏, 吴庆明, 董海燕, 等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红, 关进科, 黎大勇, 等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛, 刘金亮, 黄杰灵, 等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊, 陈友铃, 孙伶俐, 等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃, 孙伶俐, 武蕾蕾, 等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤, 施翔, 孙海菁, 等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰, 王晓伟, 赵 康, 等 (6074)
- 极端干旱区多枝怪柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东, 王明慧, 李卫红, 等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣, 夏江宝, 杨吉华, 等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红, 郭小平, 赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富, 张尚炬, 张立华, 等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才, 陈步峰, 邹志谨, 等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军, 曲来叶, 马克明, 等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超, 付婷婷, 赵维维, 等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰, 周 勇, 李 夏, 等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟 焕, 王雪宏, 佟守正, 等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张 雯, 魏 虹, 孙晓灿, 等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华, 孙冬婧, 林建勇, 等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙, 范航清, 李宗善, 等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平, 吴永胜, 张 欣, 等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩 路, 席琳乔, 王家强, 等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗 宁, 石培礼, 蔺 婧, 等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨 帆, 王志春, 王云贺, 等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华, 李 炯, 旷远文, 等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华, 赵 静, 王 凯, 等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙, 单秀娟, 周志鹏, 等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜, 张雪萍, 张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃, 陈晓倩, 吴文珊, 等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚, 任大川, 夏 涛, 等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良, 崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬, 信忠保, 覃云斌, 等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅, 王仲良, 王 堃, 等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩, 霍治国, 马玉平, 等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银, 刘 洋, 熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟, 布仁仓, 刘宏娟, 等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴, 王秋风, 何念鹏, 等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生, 喻 华, 冯文强, 等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 马军杰, 张 禹, 等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰, 陈 敏, 杨伟锋, 等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华, 王晓丽, 王 媛, 等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹, 吕瑜良, 徐 丽, 等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔, 狄晓艳, 王孟本, 等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯, 周宝同, 汪亚峰, 等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清, 李笑诺, 杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华, 叶士琳, 程 煜, 等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧, 岳文泽, 张云堂, 等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 464 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 55 * 2013-10



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区, 它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物, 它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖, 并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是, 生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明, 凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一, 在水分极度匮乏的荒漠生态系统, 它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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/stxb201306091491

俄有浩, 霍治国, 马玉平, 徐芸皎. 中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性. 生态学报, 2013, 33(19): 6295-6302.

E Y H, Huo Z G, Ma Y P, Xu Y J. The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6295-6302.

中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性

俄有浩, 霍治国*, 马玉平, 徐芸皎

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 利用北方 18 个农业气象观测站春小麦主要发育期和气象观测等资料, 通过相关性分析等方法, 研究了北方春小麦生育期间气候和发育期变化特点及发育期变化区域差异性形成原因。结果表明, 我国北方春小麦生长季普遍增温, 大部分观测站春小麦生育期间和灌浆期的平均气温显著升高, 有效积温显著增加, 生育期显著缩短。然而, 稳定通过 0 °C 初日没有显著提前, 表明增温主要发生在生长季后期。春小麦主要发育期和生育期与不同生育阶段的平均气温和有效积温的相关性分析表明, 后期增温并没有完全显著提前成熟期, 春小麦生育期缩短是播种期推迟和成熟期提前共同作用的结果。春小麦生育期间的平均气温与生育期的相关性比有效积温与生育期的相关性更高, 能更好地定量刻画北方春小麦生长发育客观规律。春小麦品种改良变换、播种期调整以及其它适应性措施的实施以及措施实施程度在区域上的差异性, 是春小麦生育期变化区域差异的主要原因。北方春小麦生长发育的区域性差异是各自适应气候变化的结果。

关键词: 春小麦; 生育期; 发育期; 全球变暖; 气候适应性

The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China

E Youhao, HUO Zhiguo*, MA Yuping, XU Yunjiao

Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: Changes in climate have had a significant impact on crop growth and development across China. However, the responses in crop phenology and growing duration to climate change were regionally diverse, especially in northern China where spring wheat is planted as the staple crop. This study explored the time trends and characteristics of the changes in climate variables as well as the phenology and growing duration of spring wheat. The correlations between these variables have also been examined to find the reasons for the regional diversity of spring wheat growth and development in response to climate change, based on the spring wheat phenology data set and meteorology derived from 18 agricultural meteorological observation stations and the use of correlation analysis methods. The results show that the annual average air temperatures during February to August, which represent the thermal resource availability for the spring wheat growing season, have a significant warming trend since 1980, with the largest increase in temperature measured as 0.78 °C/decade. However, the initial dates of more than zero Celsius degree have not become significantly earlier. In response to these characteristics of changes in climate, the planting and seedling dates have not become significantly earlier, showing some significant and slight delay in some stations and slight advancement in others. The annual average temperatures and growing degree days, from planting to maturity and grain filling stages have increased significantly, indicating that regional warming in northern China mainly occurs during the reproductive growth stage rather than in vegetative growth stage. Due to the delay and advancement in planting dates in some stations, the growing duration during the growing period has decreased significantly.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2010CB951302); 国家自然科学基金资助项目 (41275115)

收稿日期: 2013-06-09; **修订日期:** 2013-07-22

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

in 10 stations and slightly decreased in the other stations. However, the results of correlation analyses show that the correlation coefficients between planting dates and growing durations are noticeably higher than that between the maturity dates and growing duration, suggesting a greater influence from changes in planting date on the growing duration when compared to maturity date. There are stronger correlations between growing duration and annual average temperature than between growing duration and growing degree days, indicating that the relationship between the annual average temperature and growing duration can better describe the principal process of spring wheat growth and development than the relationship between growing degree days and growing duration. Along with global warming, the measures implemented for climate adaptation, such as cultivar improvement, adjustment of planting dates and others, as well as the regional differences in performance, have caused the regional diversity in the changes to spring wheat growth and development. The regional diversity of changes in growth and development has been the result of adaptation to climate change over the past decades.

Key Words: spring wheat; growing duration; phenology; global warming; climatic adaptation

中国春小麦种植区主要分布在新疆、甘肃、青海、宁夏、内蒙古、吉林、黑龙江等北方中高纬度和较高海拔的地区。这些地区是响应全球气候变暖的最敏感区域^[1]。研究表明,近 50 a 来,我国东北、华北、西北东部和西部平均气温增幅分别为 1.55、1.44、0.98 和 0.91 °C,均高于全国增幅水平的 0.87 °C^[2]。气候变暖增加了北方春小麦种植地区热量资源,改变了降水变率和降水量的空间分布模式,延长了春小麦潜在生长季,对北方作物种植制度、种植布局以及春小麦生长发育进程和产量等产生了很大影响^[3-7]。然而,对部分地区春小麦生长发育响应气候变化的研究表明,随着气候变暖,春小麦的播种期、成熟期等主要发育期和生育期出现了不同的变化程度和趋势。一些区域春小麦播种期提前,而有些区域播种期推迟,春小麦成熟期和生育期的变化趋势和变化程度也表现出较大的区域差异性^[4-10]。春小麦发育期和生育期是反映春小麦生长发育进程的主要指标,它们除了受种植区气候资源和气象条件等因素影响外,还受品种的遗传改良和栽培与管理技术等社会经济因素影响。在我国北方普遍增温的背景下,春小麦生长发育的区域差异性是否具有普遍性?影响北方春小麦的生长发育区域差异变化的主要因素是什么?本文以北方 18 个农业气象观测站春小麦主要发育期观测资料和气象要素观测资料为依据,分析 20 世纪 80 年代以来春小麦种植区气候变化特点及其与春小麦生育期变化相关性,研究北方春小麦种植区气候变化对春小麦生育期变化的区域差异性形成原因,为北方作物种植布局、春小麦生产和气候适应性措施的实施提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 数据及来源

自 20 世纪 80 年代以来,中国气象局在全国布设了 600 多个农业气象观测站,主要开展当地主栽作物品种的发育期及作物生长状况观测。在春小麦种植区布设了 50 多个主要针对春小麦的农业气象观测站。然而,由于当地作物种植结构和布局的调整和变动,主栽作物品种经常发生变化,造成部分春小麦观测站的观测对象发生改变,观测数据中断或终止。本研究从我国北方春小麦主要分布区收集到观测数据连续、具有典型代表性的 18 个农业气象观测站的春小麦主要发育期数据和日最高气温、日最低气温、日平均气温等气象要素数据。10 个观测站的数据自 1980 年至今,8 个观测站数据时间为 1992—2012 年。所有数据来自中国气象局国家气象信息中心。农业气象观测站主要信息见表 1。

1.2 数据处理与分析

发育期数据主要包括播种期、出苗期、分蘖期、拔节期、抽穗期、开花期、乳熟期和成熟期等日期。将播种期和成熟期等关键发育期转换为日序,并计算得到生育期日数。根据 1980—2012 年 2—8 月逐日平均气温,利用五日滑动平均法,得到逐年稳定通过 0 °C 初日,并计算逐年 2—8 月的平均气温作为春小麦生长季平均气温。根据播种期、开花期、成熟期及其逐日平均气温,计算 18 个观测站逐年的春小麦灌浆期间和全生育期间平均气温;根据播种期至成熟期和相应期间日平均气温,计算各站逐年播种期至成熟期的有效积温。计算有效积温采用的小麦生物学下限温度为 5.0 °C。

根据以上数据,统计分析了 18 个观测站 1980—2012 年春小麦生长季平均气温和稳定通过 0 °C 初日变化及趋势,春小麦灌浆期间平均气温、全生育期间平均气温和播种期、成熟期变化及趋势。进行了播种期与稳定通过 0 °C 初日、成熟期与灌浆期平均气温、成熟期与播种期、生育期与播种期、生育期与成熟期、生育期与生育期间平均气温以及生育期与生育期间有效积温等要素的相关性分析,统计显著性检验采用双尾 *t* 检验。数据统计与分析采用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 等软件完成。

2 结果与分析

2.1 春小麦主要发育期及生育期变化

播种期:大部分站的春小麦播种日期为 3 月中旬,但库尔勒播种期较早,平均在 2 月下旬,阿勒泰和昭苏较迟,平均为 4 月中旬。18 个观测站播种期变化趋势分析表明,中卫和平罗站播种期显著提前,分别通过 0.01 和 0.05 信度显著性检验,线性拟

合的提前倾向率分别为 3.2 和 2.3 d/10a。奇台、库尔勒、哈密、敦煌、永宁、格尔木等 6 个站的播种期表现为不显著性提前。而阿勒泰、酒泉、武威、武川和诺木洪 5 个站的播种期显著推迟,变化趋势通过 0.05 和 0.01 信度显著性检验,线性拟合的推迟倾向率最大为 13.0 d/10a,最小为 1.4 d/10a。昭苏、库尔勒等其余 5 个站播种期不显著性推迟(表 2)。

表 1 农业气象观测站信息
Table 1 The general information of agro-meteorological observation stations

站名 Stations	经度/(°) Longitude	纬度/(°) Latitude	海拔/m Altitude	数据期 Data periods	供水方式 Irrigation/rainfed
阿勒泰	88.0833	47.7333	736.9	1992—2012	灌溉
昭苏	81.1333	43.1500	1854.6	1992—2012	灌溉
奇台	89.5667	44.0167	794.2	1992—2012	灌溉
库尔勒	86.1333	41.7500	932.7	1992—2012	灌溉
哈密	93.5167	42.8167	737.9	1992—2012	灌溉
敦煌	94.6833	40.1500	1139.6	1981—2009	灌溉
酒泉	98.4833	39.7667	1478.2	1981—2012	灌溉
张掖	100.433	38.9333	1483.7	1981—2012	灌溉
武威	102.667	37.9167	1531.9	1981—2012	灌溉
定西	104.617	35.5833	1897.5	1986—2012	雨养
同心	105.900	36.9833	1345.2	1989—2012	雨养
中卫	105.183	37.5333	1226.8	1981—2012	灌溉
永宁	106.250	38.2500	1117.9	1981—2012	灌溉
平罗	106.550	38.9000	1099.9	1981—2012	灌溉
临河	107.417	40.7500	1040.8	1992—2012	灌溉
武川	111.450	41.1000	1597.5	1992—2012	雨养
格尔木	94.9000	36.4167	2809.2	1980—2012	灌溉
诺木洪	96.4167	36.4333	2791.4	1980—2010	灌溉

表 2 春小麦生长季平均气温及生长发育期变化
Table 2 Variability of the average temperature and phenology during spring wheat growing period

站名 Stations	生长季平均气温 Average Temp during growing season /(°C/10a)	> 0℃ 初日 Initial date of >0℃ /(d/10a)	灌浆期平均气温 Average Temp during grain filling stage /(°C/10a)	生育期间 平均气温 Average Temp during growing period /(°C/10a)	生育期间 有效积温 Growing degree days /(°C/10a)	播种期 Planting date /(d/10a)	成熟期 Maturity date /(d/10a)	生育期 Growing duration /(d/10a)
阿勒泰	0.17	-1.4	0.22	0.98 *	-21.3	6.9 *	-2.2	-9.1 **
昭苏	0.45 **	-2.0	1.68 **	0.77	3.8	0.2	-14.8 **	-15.1 **
奇台	0.11	-0.1	0.03	0.33	27.6	-1.7	-2.2	-0.5
库尔勒	0.34 **	-4.5 **	1.24 **	1.46 *	141.8 **	-0.1	-0.6	-2.1
哈密	0.23	0.4	1.02 **	0.17	1.0	-3.6	-3.9 *	-0.3
敦煌	0.56 **	-2.7	1.24 **	0.68	48.5	-2.6	-4.9 *	-2.3
酒泉	0.41 **	-0.2	0.65 **	1.09 **	66.2 **	4.7 *	-1.6	-6.3 **
张掖	0.59 **	-0.2	1.03 **	0.80 **	55.6 **	0.7	-3.5 **	-4.2 **
武威	0.78 **	-1.2	0.89 **	0.89 **	54.9 **	1.4 *	-3.5 **	-4.9 **
定西	0.84 **	-1.3	0.70 **	0.89 **	71.6 **	1.5	-2.5	-4.0 **
同心	0.42 **	0.2	0.73 **	0.77 **	58.2 **	2.3	-0.8	-2.8 *
中卫	0.48 **	0.5	0.70 **	0.18	47.7 **	-3.2 **	-1.7 **	1.2
永宁	0.66 **	-0.3	0.88 **	0.89 **	98.5 **	-0.1	-0.2	-0.2
平罗	0.54 **	-0.4	0.56 **	0.18	22.6 *	-2.3 *	-2.7 **	-0.4
临河	0.41 *	-1.3	0.36	0.26	-16.9	1.4	-2.6 **	-4.0 *
武川	0.45 **	-1.2	0.58	0.88 *	75.1 *	5.0 *	2.2	-2.9
格尔木	0.60 **	-1.3	0.7 **	0.47 **	46.5 **	-0.5	-3.2 **	-2.7 *
诺木洪	0.55 **	-0.9	1.66 **	1.45 **	35.3 *	13.0 **	-7.7 **	-20.7 **

** 为通过 0.01 显著性检验,* 为通过 0.05 显著性检验,-表示提前或缩短,+表示推迟、延长或增加

成熟期:大部分站点春小麦成熟日期为 7 月下旬,但库尔勒成熟期较早,平均在 6 月下旬,昭苏成熟期最迟,平均为 8 月底。18 个观测站成熟期变化趋势结果表明,除了武川站成熟期有不显著延迟趋势外,其余各站成熟期都表现为提前,其中,昭苏、张

掖、武威、中卫、平罗、临河、格尔木和诺木洪等 8 个站的成熟期显著提前,并通过 0.01 信度显著性检验,线性拟合的提前倾向率分别为 14.8、3.5、3.5、1.7、2.7、2.6、3.2 和 7.7 d/10a。哈密和敦煌站成熟期提前变化趋势通过 0.05 信度显著性检验。阿勒泰等 7 个站成熟期提前趋势不显著(表 2)。

生育期:春小麦从播种到成熟的日数为生育期。区域上,诺木洪生育期最长,多年平均为 161.9 d($n=21$),阿勒泰最短,多年平均为 102.8 d($n=32$)。生育期变化趋势结果显示,仅有中卫的生育期变化趋势表现为不显著性延长,线性拟合的延长倾向率为 1.2 d/10a,其余各站生育期都表现出缩短的变化趋势,其中,阿勒泰、昭苏、酒泉、张掖、武威、定西和诺木洪 7 站缩短的变化趋势最显著,均通过 0.01 信度显著性检验,线性拟合的缩短倾向率分别为 9.1、15.1、6.3、4.2、4.9、4.0 和 20.7 d/10a。同心、临河和格尔木等 3 站缩短变化趋势通过 0.05 信度显著性检验,线性拟合的缩短倾向率分别为 2.8 和 4.0 和 2.7 d/10a。奇台、库尔勒等 7 个站生育期缩短的变化趋势不显著(表 2)。

2.2 春小麦生长季气温变化

北方春小麦播种期最早发生在 2 月中旬(库尔勒),收获期最晚发生在 8 月末(昭苏、诺木洪)。因此,2 月至 8 月为北方春小麦的生长季。根据 1980—2012 年 2—8 月生长季的年平均气温变化趋势分析表明,在 18 个农业气象观测站中,海拔最低的阿勒泰、奇台和哈密 3 个站的生长季年平均气温不显著升高(表 2),昭苏、库尔勒、敦煌等 14 个站生长季的年平均气温呈现极显著上升趋势($P<0.01$),临河的生长季年平均气温呈现显著上升趋势($P<0.05$)。气温显著变化的线性拟合倾向率最大为 0.84 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,最小为 0.41 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。表明北方春小麦生长季大部分站点自 1980 年以来处于变暖的环境中。

1980—2012 年日平均气温 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日变化趋势分析表明,仅库尔勒站的 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日表现为极显著性提前趋势($P<0.01$),初日变化曲线的线性拟合倾向率为 4.5 d/10a。阿勒泰、昭苏等 14 个站稳定通过 0°C 初日表现为提前的变化趋势,哈密、同心和中卫等 3 个站的 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日表现为推迟的变化趋势,但变化趋势均不显著(表 2)。表明虽然大部分站点处于变暖的环境中,但是春季增温并不显著。

2.3 春小麦生育期间的气温和有效积温变化

春小麦灌浆期间温度高低对灌浆期长短和成熟期有重要的影响作用。春小麦灌浆期持续时间平均约 30 d。18 个观测站的灌浆期间平均气温变化趋势分析表明,阿勒泰、奇台、临河和武川等 4 个站不显著升高,昭苏等其余 14 个站灌浆期间平均气温显著升高($P<0.01$),最高增温的线性倾向率为 1.66 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (诺木洪)(表 2)。

春小麦从播种到成熟期间的平均气温和有效积温是决定春小麦生长发育的关键气象要素。对 18 个站的春小麦播种至成熟期间平均气温变化趋势分析表明,奇台、哈密、敦煌、同心、平罗、临河等 6 个站生育期间平均气温表现为不显著升高,其余 12 个站生育期间平均气温都呈现显著升高趋势,其中,昭苏、库尔勒、酒泉、张掖、武威、定西、同心、永宁、格尔木和诺木洪等 10 站生育期间平均气温升高趋势通过 0.01 信度显著性检验,阿勒泰和武川的升高趋势仅通过 0.05 信度显著性检验(表 2)。

18 个观测站中,生育期间有效积温定西站最低,多年平均为 1050.2 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ($n=27$),哈密站最高,多年平均为 1687.1 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ($n=21$)。趋势分析表明,大部分站生育期间有效积温呈现升高趋势,其中,库尔勒、酒泉、张掖、武威、定西、同心、中卫、永宁和格尔木等 9 个站为极显著升高趋势($P<0.01$),平罗、武川和诺木洪 3 站为显著升高趋势($P<0.05$)。昭苏、奇台、哈密和敦煌变化不显著,其变化趋势和变化幅度与生育期间平均气温的变化状况相同。而阿勒泰和临河站的有效积温呈现不显著减少的趋势,分析其减少的原因发现主要与生育期减少和 2010—2012 年的平均气温较低有关。

2.4 春小麦发育期变化的相关性分析

春小麦生育期日数由播种期和成熟期决定。播种期主要受播前气温、土壤水分和土壤解冻深度等自然条件和播种机械、劳动力资源、作物品种变化等社会经济因素共同影响。就自然条件而言,一般认为,日平均气温稳定通过 0°C 初日是确定春小麦播种期的主要气象参照指标。播种期与 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日相关性分析表明,仅有奇台、永宁和格尔木等 3 个站的播种期与 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日存在极显著和显著的正相关关系($P<0.01$, $P<0.05$),其它站的播种期与 $>0^{\circ}\text{C}$ 初日没有显著相关性(表 3)。成熟期主要受春小麦品种、播种期、土壤水分、施肥状况、生育前期气温和灌浆期间气温等条件影响。由于缺乏品种、生育期间水分和施肥状况等对发育进程影响的试验数据,仅对灌浆期间平均气温和播种期分别对成熟期影响的相关分析表明,昭苏、武威、中卫、格尔木和诺木洪 5 个站的成熟期与灌浆期间平均气温存在极显著负相关关系($P<0.01$),阿勒泰、奇台、酒泉、张掖和平罗等 5 站成熟期与灌浆期间平均气温存在显著负相关关系($P<0.05$),说明这 10 个站的成熟期受到了灌浆期间温度变化的影响,灌浆期气温升高导致成熟期提前。而库尔勒、哈密、敦煌、定西、同心、永宁、临河和武川等 8 站的灌浆期间平均气温与成熟期相关性不显著,可能的原因一方面由于一些站灌浆期间平均气温没有显著升高,另一方面说明这些站的灌浆期气温不是影响成熟期变化的主要因素。另外,一般而言,播种时间也影响成熟期。成熟期与播种期相关分析表明,中卫和平罗 2 个站的成熟期与播种期存在极显著正相关关系($P<0.01$),阿勒泰、昭苏、库尔勒、哈密、定西、永宁、武川和格尔木等 8 个站的成熟期与播种期存在显著正相关关系($P<0.05$),说明播种期早则成熟期相应较早,播种期推迟则成熟期相应较迟。然而,奇台、敦煌、酒泉、张掖、同心等 5 个站成熟期与播种期的正相关性不显著,武威、临河 2 站的成熟期与播种期为不显著负相关,诺木洪为极显著负相关关系($P<0.01$)。分析播种期与成熟期相关性不显著的原因发现,一方面由于这些站播种期和成熟期变化幅度都较小,另一方面可能与

当年的生育期温度、灌溉时机、品种变化等有关。而播种期与成熟期呈现负相关主要由于整体上这些站播种期推迟和成熟期提前所致,尤其是诺木洪播种期和成熟期都有大幅度显著变化,导致播种期和成熟期呈现极显著负相关关系。

播种期和成熟期共同影响生育期,但是,不同站点播种期和成熟期对生育期的影响程度不同。生育期与播种期和生育期与成熟期相关性分析显示,播种期与生育期存在负相关性,而成熟期与生育期表现出正相关关系。除昭苏和定西 2 个站播种期与生育期的负相关性不显著以外,其余 16 个站的播种期与生育期都存在极显著负相关关系($P<0.01$)。昭苏、武威、定西、临河、格尔木和诺木洪 6 个站的成熟期与生育期都存在极显著正相关关系($P<0.01$),敦煌、张掖和同心 3 个站的成熟期与生育期表现显著正相关关系($P<0.05$),阿勒泰等其余 9 个站的成熟期与生育期相关性不显著(表 3)。说明播种期对生育期变化的影响比成熟期对生育期变化的影响程度更大。

表 3 春小麦发育期变化的相关性(相关系数 R)
Table 3 The correlation coefficients between average temperature and phenology during spring wheat growing period

站名 Stations	播种期与 >0℃初日 Planting date vs Initial date of >0℃	成熟期与灌浆 期平均气温 Maturity date vs average temp. during grain filling stage	成熟期与播种期 Maturity date vs Planting date	生育期与 播种期 Growing duration vs planting date	生育期与 成熟期 Growing duration vs Maturity date	生育期与 平均气温 Growing duration vs average temp. during growing period	生育期与 有效积温 Growing duration vs Growing degree days
阿勒泰	0.361	-0.444 *	0.502 *	-0.693 **	0.275	-0.858 **	0.083
昭苏	0.163	-0.716 **	0.489 *	-0.032	0.856 **	-0.774 **	0.192
奇台	0.816 **	-0.501 *	0.228	-0.34 **	0.367	-0.577 **	0.502 *
库尔勒	0.153	-0.236	0.481 *	-0.921 **	0.05	-0.785 **	-0.446
哈密	0.216	-0.057	0.491 *	-0.72 **	0.405	-0.592 **	0.346
敦煌	0.219	-0.292	0.015	-0.818 **	0.562 *	-0.710 **	0.509 *
酒泉	0.267	-0.494 *	0.134	-0.858 **	0.394	-0.786 **	-0.259
张掖	0.321	-0.508 *	0.376	-0.613 **	0.503 *	-0.816 **	-0.437 *
武威	0.321	-0.494 **	-0.217	-0.663 **	0.859 **	-0.835 **	-0.466 **
定西	0.309	-0.053	0.387 *	-0.377	0.627 **	-0.636 **	-0.210
同心	0.201	-0.402	0.119	-0.855 **	0.444 *	-0.705 **	-0.135
中卫	0.215	-0.460 **	0.503 **	-0.691 **	0.277	-0.547 **	0.191
永宁	0.463 **	-0.107	0.440 *	-0.738 **	0.282	-0.408 *	0.005
平罗	0.322	-0.45 *	0.526 **	-0.675 **	0.273	-0.724 **	0.146
临河	0.202	-0.135	-0.059	-0.857 **	0.565 **	-0.755 **	-0.040
武川	0.295	-0.408	0.523 *	-0.589 **	0.381	-0.488 *	0.092
格尔木	0.427 *	-0.614 **	0.415 *	-0.622 **	0.758 **	-0.489 *	-0.060
诺木洪	0.267	-0.682 **	-0.607 **	-0.942 **	0.839 **	-0.887 **	-0.243

* * 为通过 0.01 信度显著性检验,* 为通过 0.05 信度显著性检验

3 讨论与结论

3.1 气候变暖与春小麦发育期变化

20 世纪 80 年代以来,北方春小麦生长季(2—8 月)均呈现增温趋势,其中,大部分站点 2—8 月平均气温达到极显著升高趋势($P<0.01$)。然而,伴随平均气温普遍升高,稳定通过 0℃初日只表现为不显著性提前,部分站点稳定通过 0℃初日还有推迟的趋势,表明北方春小麦种植区增温的时间主要在生长季后期,大部分站点的灌浆期平均气温呈现极显著增加的变化趋势也证明了这一点。

一般认为,稳定通过 0℃初日和灌浆期平均气温是决定春小麦播种期和成熟期的关键气象因素。北方春小麦种植区稳定通过 0℃初日不为不显著性提前趋势,则播种期也应该表现为不显著性提前。然而,阿勒泰、酒泉、武威、武川和诺木洪等 5 个站的播种期却显著推迟($P<0.05$),昭苏、库尔勒、张掖、定西、同心和临河等 6 个站播种期也有推迟趋势,只有中卫和平罗 2 个站播种期表现为显著提前($P<0.01$, $P<0.05$),奇台、哈密、敦煌、永宁、格尔木等 5 个站的播种期不为不显著提前。播种期与稳定通过 0℃初日相关性分析表明,仅有奇台、永宁和格尔木等 3 个站的播种期与稳定通过 0℃初日存在极显著性正相关关系($P<0.01$),虽然这 3 个站的播种期和稳定通过 0℃初日的变化趋势都不显著。其它 15 个站的春小麦播种期变化没有显著地受稳定通过 0℃初日变化的影响。董智强等研究表明^[11],武川春小麦播种期推迟主要是土壤相对湿度降低所致。然而,除了旱地雨养春小麦播前降水和土壤湿度对播种期有较大影响以外,阿勒泰、酒泉、武威、诺木洪、昭苏、库尔勒、张掖、永宁和临河等观测

站属于灌溉农业区,降水对灌溉农业区春小麦生产的影响程度相对较弱,其播种期的安排主要由播前气温、融化土层深度等因素决定。考察以上播种期推迟的观测站发现,2000 年以来,春小麦播种期间气温的年际变率有增大趋势,尤其是 2003、2010 等年的多次低温寒流,不仅对当年的播种期有影响,也可能对来年春小麦播种期有影响,导致了相应年份的播种期推迟。然而,即使稳定通过 0℃ 初日显著提前的库尔勒,其春小麦播种期也没有显著提前,而稳定通过 0℃ 初日没有显著变化的中卫和平罗,其播种期却表现出显著提前的变化趋势。这些变化特点表明,春小麦播种期改变是多种气候要素的变化与社会、经济条件变化相互作用的结果。影响播种期改变的社会和经济因素可能主要有品种变化、耕作机械化、劳动力资源、播前泡地时机与机会等等。

大部分站的灌浆期平均气温均呈现极显著升高趋势($P<0.01$),但是,对应站的成熟期不完全为显著性提前,许多站的成熟期仅为不显著性提前,而且,成熟期显著提前的站,其灌浆期平均气温不一定显著升高(临河站)。成熟期与灌浆期间平均气温的相关性分析表明,只有 10 个站的成熟期提前是由灌浆期平均气温升高所引起,表明春小麦生长季后期增温并没有完全显著提前成熟期。灌浆期间平均气温显著升高而成熟期没有显著提前的一个可能原因是温度变化没有超过引起成熟期提前的温度阈值。成熟期与播种期相关性分析表明,有大约 50% 站的成熟期与播种期有较高相关性,表明春小麦成熟期变化一方面受播种期影响,另外,灌浆期气温、生长前期热量条件、生长期土壤水分状况和灌溉时机、氮肥使用情况等因素对成熟期有很大的综合影响作用。

3.2 春小麦发育期变化与气候适应性

适应是应对气候变化的永恒主题。随着全球变暖以及全社会对全球变暖问题的高度关注,农业生产在应对全球气候变暖过程中始终在进行气候适应性工作。我国春小麦品种由中晚熟向中早熟渐变^[12]、区域种植结构调整、作物种植区布局以及耕作方式(如免耕法)变化和其它管理措施的实施,都是北方春小麦生产应对气候变化的具体表现。北方春小麦播种期呈现的较大变化,尤其是阿勒泰、酒泉、武川和诺木洪等站播种期较大幅度的显著推迟可能主要是春小麦品种由中晚熟向中早熟变化和其它适应性措施共同作用的结果。在各种气候适应性措施的实施过程中,由于区域之间存在差异以及措施的实施程度不同,造成北方春小麦生长发育过程的区域性差异。

3.3 春小麦生育期变化与热量资源关系

生育期由播种期和成熟期决定,而生育期间热量资源是促进作物生长发育进程的关键气象要素,因此,在水肥比较适宜的条件下,热量资源对成熟期和生育期有重要的影响作用。相关分析结果表明,除了永宁、武川和格尔木 3 个站生育期与播种至成熟期间平均气温为显著负相关外($P<0.05$),其余 15 个站都为极显著负相关($P<0.01$)。然而,生育期与播种至成熟期间有效积温的关系只有武威站为极显著负相关($P<0.01$),张掖为显著负相关($P<0.05$),奇台和敦煌为显著正相关($P<0.05$),其余 14 个站的生育期间有效积温与生育期的相关性都很弱,表现出多样性的相关关系。

区域上,春小麦生育期间的平均气温与生育期的相关性比有效积温与生育期的相关性更强(图 1),生育期与平均气温的关系能更好地定量刻画气温低生育期长、气温高生育期短的北方春小麦生长发育客观规律。造成有效积温与生育期相关性比平均气温与生育期相关性更弱的原因是:定西、同心等地区虽然具有春小麦生长较适宜的气温环境,与相同海拔区域相比理应有较长的生育期,但是可能由于干旱和品种等原因导致成熟期较早,生育期较短,相应地有效积温最低;阿勒泰等地区虽然生育期间有较高的气温环境,但是由于地处高纬度等特殊自然环境中,其播种期最迟,8 月下旬降温较快,导致其生育期最短,气温高和生育期短两者相抵销,其有效积温为中等水平;格尔木和诺木洪的海拔最高,平均气温最低,但是其生育期最长,所以有效积温较高。

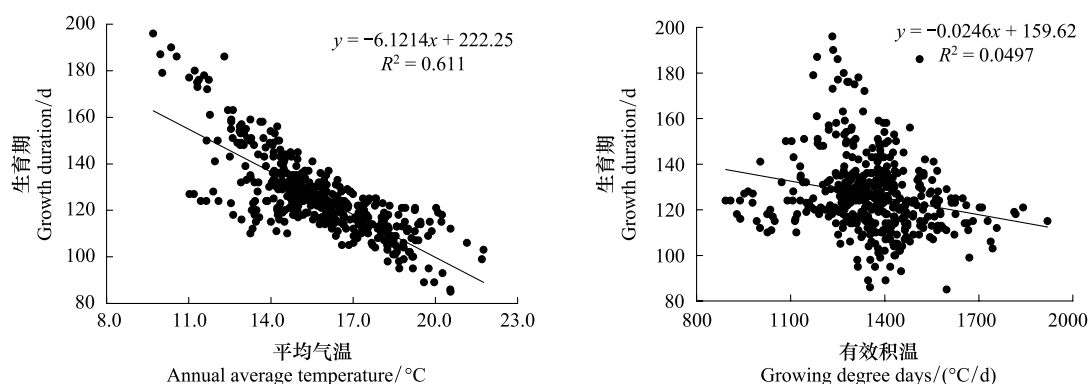


图 1 春小麦生育期与平均气温和有效积温的相关性

Fig.1 The relationship between growing duration with average temperature and growing degree days during growing period

虽然北方春小麦生育期间平均气温与生育期呈现极显著负相关关系,但生育期缩短并不完全是气温升高导致成熟期提前所引起。从生育期与播种期和生育期与成熟期相关性分析结果看出(表3),播种期与生育期显著相关的站比成熟期与生育期显著相关的站更多,相关系数更高,表明播种期对生育期变化的影响比成熟期对生育期变化的影响程度更大。说明大部分站的春小麦生育期缩短主要由于播种期推迟所引起,成熟期提前对生育期缩短的影响程度相对较小。有效积温与生育期相关性较差也说明了这点。

因此,自1980s以来,北方春小麦生育期普遍缩短,生育期缩短是播种期推迟和成熟期提前共同作用的结果。春小麦生育期间的平均气温与生育期的相关性比有效积温与生育期的相关性更高,能更好地定量刻画北方春小麦生长发育客观规律。了解引起生育期缩短的主要原因对于制定北方春小麦生产适宜气候变化的策略有重要意义。

3.4 结论及存在问题

(1)伴随全球气候变暖,我国北方春小麦生长季普遍显著增温,但是,稳定通过0℃初日并没有显著提前,增温的时间主要发生在春小麦生长季后期。以这种气候变化特点为基础的春小麦播种期、成熟期和生育期变化存在显著的区域差异性。

(2)春小麦生育期与生长期间的平均气温虽然呈现极显著负相关关系,但是生育期缩短并不完全是气温升高导致成熟期提前的结果。大部分站的春小麦生育期缩短主要由于播种期推迟所引起,成熟期提前对生育期缩短的影响程度相对较小。春小麦生育期间的平均气温与生育期的相关性比有效积温与生育期的相关性更高,能更好地定量刻画北方春小麦生长发育客观规律。了解引起生育期缩短的主要原因对于制定北方春小麦生产适宜气候变化的策略有重要意义。

(3)春小麦品种变换、播种期调整以及其它适应性措施在实施过程中,由于区域之间存在差异以及措施的实施程度不同,造成春小麦生长发育的区域性差异。北方春小麦生长发育的区域性差异是各自适应气候变化的结果。

(4)由于收集的春小麦观测站点及其资料时间序列有限,分析结果可能与实际的变化趋势有差异,需深入研究。

References:

- [1] Zhang Q, Deng Z Y, Zhao Y D, Qiao J. The impacts of global climatic change on the agriculture in northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1210-1218.
- [2] 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.
- [3] Cui D C. The possible influence of climate getting warming on agricultural production in China. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1992, 13(12): 16-20.
- [4] Cao Y F, Gu Y, Xu J, Zhang L. The influence of climate change on growing period of spring wheat in recent 47 years in Inner Mongolia. *Meteorology Journal of Inner Mongolia*, 2009, (4): 22-25.
- [5] Yao Y B, Wang R Y, Yang J H, Xiao G J, Zhang X Y. Impacts of climatic change on spring wheat growth in a semi-arid region of the Loess Plateau: a case study in Dingxi, Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4225-4234.
- [6] Xiao G J, Zhang Q, Zhang F J, Luo C K, Wang R Y. The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(21): 6588-6593.
- [7] Zhao H, Wang R Y, Wang H L, Yang Q G, Deng Z Y, Xiao G J. Regional diversity in response of spring wheat growth on climate change in arid or semi-arid areas. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(6): 636-641.
- [8] Zhao H, He C Y, Wang R Y, Yang Q G, Deng Z Y, Wang H L. Effects of climate warming on spring wheat growth at different altitudes in northwest arid area. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 20(4): 887-893.
- [9] Liu Y L, Zhang X Y, Liu J, Kang Y L. Impact of climate change on spring wheat yield in yellow river irrigation region of Ningxia. *Advances in Climate Change Research*, 2008, 4(2): 90-94.
- [10] Wang L, Li F X, Xu W X, Li X D, Su W J. Climate warming impacts on spring wheat growth at different altitude regions in Qinghai plateau. *Advances in Climate Change Research*, 2011, 7(5): 324-329.
- [11] Dong Z Q, Pan Z H, An P L, Pan X B, Zhao P Y. Responses of growth period of spring wheat in northern ecotone to Climate Change: A Case of Wuchuan County, Inner Mongolia, China. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2012, 8(4): 265-271.
- [12] Yang W X, Zhang H G, Jie X L. Change characteristic and breeding strategy of spring wheat in Northwest of China. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2004, 13(3): 22-25.

参考文献:

- [1] 张强, 邓振镛, 赵映东, 乔娟. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响. *生态学报*, 2008, 28(3): 1210-1218.
- [2] 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作物的影响及应对措施. *生态学报*, 2010, 30(22): 6278-6288.
- [3] 崔读昌. 气候变暖对我国农业生产的影响与对策. *中国农业气象*, 1992, 13(12): 16-20.

- [4] 曹艳芳, 古月, 徐健, 张立. 内蒙古近 47 年气候变化对春小麦生育期的影响. 内蒙古气象, 2009, (4): 22-25.
- [5] 姚玉碧, 王润元, 杨金虎, 肖国举, 张秀云. 黄土高原半干旱区气候变化对春小麦生长发育的影响——以甘肃定西为例. 生态学报, 2011, 31(15): 4225-4234.
- [6] 肖国举, 张强, 张峰举, 罗成科, 王润元. 增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响. 生态学报, 2011, 31(21): 6588-6593.
- [7] 赵鸿, 王润元, 王鹤龄, 杨启国, 邓振镛, 肖国举. 西北干旱半干旱区春小麦生长对气候变暖响应的区域差异. 地球科学进展, 2007, 22(6): 636-641.
- [8] 赵鸿, 李凤民, 熊友才, 张强, 王润元, 杨启国. 西北干旱区不同海拔高度地区气温变化对春小麦生长的影响. 应用生态学报, 2009, 20(4): 887-893.
- [9] 刘玉兰, 张晓煜, 刘娟, 亢艳莉. 气候变暖对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响. 气候变化研究进展, 2008, 4(2): 90-94.
- [10] 王力, 李凤霞, 徐维新, 李晓东, 苏文将. 青海高原不同海拔高度区小麦生长对气候变暖的响应. 气候变化研究进展, 2011, 7(5): 324-329.
- [11] 董智强, 潘志华, 安萍莉, 潘学标, 赵沛义. 北方农牧交错带春小麦生育期对气候变化的响应: 以内蒙古武川县为例. 气候变化研究进展, 2012, 8(4): 265-271.
- [12] 杨文雄, 张怀刚, 介晓磊. 西北地区春小麦品种更换特点及育种策略. 西北农业学报, 2004, 13(3): 22-25.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.19 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi	LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen	XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve	ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (<i>Syrnaticus reevesii</i>) using infrared camera	ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration	YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve	LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China	LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jiuling, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i>	WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i>	CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress	WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings	YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area	MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells	WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants	TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages	YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta	PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings	SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity	ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO ₂	SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i>	MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i>	ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation	LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi	QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China	YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River	HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau	ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《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 陈利顶

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 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 19 (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	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元