

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 15 期 Vol.31 No.15 **2011**

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 31 卷 第 15 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目 次

- 地面节肢动物营养类群对土地覆被变化和管理扰动的响应..... 李锋瑞,刘继亮,化伟,等 (4169)
- 两种书虱微卫星富集文库的构建及比较..... 魏丹丹,袁明龙,王保军,等 (4182)
- 菲律宾蛤仔 EST-SSRs 标记开发及不同地理群体遗传多样性..... 闫喜武,虞志飞,秦艳杰,等 (4190)
- 菲律宾蛤仔大连群体不同世代的遗传多样性..... 虞志飞,闫喜武,杨霏,等 (4199)
- 玻璃温室与田间栽培小麦幼穗分化的比较..... 姜丽娜,赵艳岭,邵云,等 (4207)
- 施用有机肥环境下盐胁迫小麦幼苗长势和内源激素的变化..... 刘海英,崔长海,赵倩,等 (4215)
- 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..... 姚玉璧,王润元,杨金虎,等 (4225)
- 不同耕作模式下稻田水中氮磷动态特征及减排潜力..... 冯国禄,杨仁斌 (4235)
- 大田环境下转 Bt 基因玉米对土壤酶活性的影响..... 颜世磊,赵蕾,孙红炜,等 (4244)
- 短期淹水培养对水稻土中地杆菌和厌氧粘细菌丰度的影响..... 朱超,Stefan Ratering,曲东,等 (4251)
- 气候变化背景下广东晚稻播期的适应性调整..... 王华,陈新光,胡飞,等 (4261)
- 长期封育对不同类型草地碳贮量及其固持速率的影响..... 何念鹏,韩兴国,于贵瑞 (4270)
- 黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力..... 刘迎春,王秋凤,于贵瑞,等 (4277)
- 植物叶表面的润湿性及其生态学意义..... 石辉,王会霞,李秧秧 (4287)
- 长白山北坡主要森林群落凋落物现存量月动态..... 郑金萍,郭忠玲,徐程扬,等 (4299)
- 古尔班通古特沙漠及周缘 52 种植物种子的萌发特性与生态意义..... 刘会良,宋明方,段士民,等 (4308)
- 吉首蒲儿根的繁殖生态学特性及其濒危成因..... 邓涛,陈功锡,张代贵,等 (4318)
- 栖息地永久性破坏的比例对物种多度稳定值影响的迭代算法..... 时培建,戈峰,杨清培 (4327)
- 喷施多效唑提高麻疯树幼苗耐盐性的生理机制..... 毛轶清,郑青松,陈健妙,等 (4334)
- 阿尔山落叶松主要蛀干害虫的种群空间生态位..... 袁菲,骆有庆,石娟,等 (4342)
- 2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制..... 沈慧梅,吕建平,周金玉,等 (4350)
- 中华稻蝗长沙种群的生活史及其卵滞育的进化意义..... 朱道弘,张超,谭荣鹤 (4365)
- “518”油桃主要害虫与其捕食性天敌的关系..... 施晓丽,毕守东,耿继光,等 (4372)
- 青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化..... 张洪芝,吴鹏飞,杨大星,等 (4385)
- 青海可鲁克湖水鸟季节动态及渔鸥活动区分析..... 张国钢,刘冬平,侯韵秋,等 (4398)
- 排放与森林碳汇作用下云南省碳净排放量估计..... 刘慧雅,王铮,马晓哲 (4405)
- 北京城市生态占水研究..... 柏樱岚,王如松,姚亮 (4415)
- 专论与综述**
- 植物水分传输过程中的调控机制研究进展..... 杨启良,张富仓,刘小刚,等 (4427)
- 环境介质中的抗生素及其微生物生态效应..... 俞慎,王敏,洪有为 (4437)
- 自然生态系统中的厌氧氨氧化..... 沈李东,郑平,胡宝兰 (4447)
- 研究简报**
- 山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系..... 张莹,吕振波,徐宗法,等 (4455)
- 新疆乌伦古湖浮游甲壳动物的季节演替及与环境因子的关系..... 杨丽丽,周小玉,刘其根,等 (4468)
- 不同施肥与灌水量对槟榔土壤氮挥发的影响..... 卢丽兰,甘炳春,许明会,等 (4477)
- 学术信息与动态**
- 水土资源保持的科学政策:全球视野及其应用——第 66 届美国水土保持学会国际学术年会述评..... 卫伟 (4485)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-08



封面图说: 塞罕坝地处内蒙古高原南缘向华北平原的过渡带,地势分为坝上、坝下两部分。解放初期,这里是“飞鸟无栖树,黄沙遮天日”的荒原沙丘,自 1962 年建立了机械化林场之后,塞罕坝人建起了 110 多万亩人工林,造就了中国最大的人工林林场。这是让人叹为观止的落叶松人工林海。

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

姚玉璧,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.

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.

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

姚玉璧^{1,2,*}, 王润元¹, 杨金虎², 肖国举³, 张秀云²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州 730020;

2. 甘肃省定西市气象局, 定西 743000; 3. 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 银川 750021)

摘要:利用黄土高原半干旱区春小麦生长发育定位观测资料、加密观测和对应平行气象观测资料,分析气候变化对春小麦生长发育的影响,以及春小麦穗干重生长与气象条件的关系。结果表明,研究区域降水量年际变化呈下降趋势,降水量变化曲线线性拟合倾向率为 $-15.796\text{ mm}/10\text{a}$ 。降水量存在 3 a、6 a 的年际周期变化。气温年际变化呈上升趋势,气温变化曲线线性拟合倾向率为 $0.362\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。作物生长季干燥指数呈显著上升趋势,干燥指数变化曲线线性拟合倾向率为 $0.12/10\text{a}$,20 世纪 90 年代初至 2009 年明显趋于干旱化。春小麦播种到成熟约需 110—130 d,期间 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温为 1500—2000 $^{\circ}\text{C}$,降水量为 150—200 mm,日照时数为 800—1300 h。春小麦在播种后 38 d 开始,穗干重由缓慢生长转为迅速生长阶段;在播种后 50 d,穗干重生长速度最大;播种后 63 d 开始,穗干重生长从迅速生长又转为缓慢生长。对春小麦生长发育全生育期而言,受气候变暖的影响,乳熟—成熟期每 10 a 缩短 2—3 d、全生育期每 10 a 缩短 4—5 d。气温对春小麦产量形成除出苗期和成熟期外,其余为负效应,孕穗期对气温变化十分敏感;降水量的影响函数同热量的影响函数呈反相位分布,除出苗期和成熟期降水量为负效应外,其余时段降水量对春小麦产量形成均为正效应,春小麦拔节—抽穗期对降水量变化十分敏感。

关键词:黄土高原;气候变化;春小麦;生育;穗干重

Impacts of climatic change on spring wheat growth in a semi-arid region of the Loess Plateau: a case study in Dingxi, Gansu Province

YAO Yubi^{1,2,*}, WANG Runyuan¹, YANG Jinhui², XIAO Guojun³, ZHANG Xiuyun²

1 Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, China Meteorological Administration, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China

2 Meteorological Bureau of Dingxi of Gansu Province, Dingxi 743000, China

3 New Technology Application Research and Development Centre of Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract: Spring wheat growth and meteorological condition observational data for a semi-arid region of the Loess Plateau were used to analyze the effects of climatic change on spring wheat growth and the relationship between spring wheat growth and meteorological conditions. The results showed that precipitation displays a descending trend, and changes at a velocity of $-15.796\text{ mm}/10\text{a}$. In addition, an annual periodic change of 3 a and 6 a was observed. The temperature displayed an ascending trend and changed at a rate of $0.362\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$. The aridity index displayed a marked ascending trend and changed at a velocity of $0.12/10\text{a}$. The aridification tendency was significant from the beginning of the 1990s to 2009. The whole

基金项目:国家重点基础研究发展计划全球变化影响下主要作物的脆弱性及评价指标(2010CB951302);国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106029, GYHY200806021);国家自然科学基金重点项目(40830957);甘肃省气象局第五批“十人计划”项目;干旱气象科学研究基金项目(IAM200904、IAM200913)

收稿日期:2010-12-03; 修订日期:2011-04-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yaoyubi@163.com

growth period of spring wheat takes 110—130 days, during which 1500—2000 °C in temperature (all of which should be above 0 °C) should be accumulated, 150—200 mm precipitation and 800—1300 h sunshine duration are required. The results also showed that the dried weight growing velocity became much greater on day 38 after sowing and then decreased on day 63 after sowing. The highest velocity appeared on day 50 after sowing. The interval between the milky stage and maturation displayed a decreasing trend, and changed at a velocity of $-2.874\text{d}/10\text{a}$, that is, it would be shortened by 2—3 days/10a. The interval between the milky stage and maturation was significantly negatively correlated with the average temperature in June and July, and the entire growth period displays a decreasing trend on an annual basis, changing at $-4.117\text{days}/10\text{a}$, that is, it would be shortened by 4—5 days/10a. The entire growth period was significantly correlated with the average temperature from April to July. That is, it would be shortened when the average temperature was ascending. The entire growth period was significantly positively correlated with precipitation during this period; therefore, it would be extended when the precipitation increased. Except for the sowing-seeding stage and the maturation stage, the temperature was negatively correlated with the yield. The boot stage yield was very sensitive to temperature and the sensitive period was about 40—45 d; therefore, the yield will decrease 15—18 g/m² when the ten-day period average temperature increases by 1 °C because of climate warming. The influences of precipitation and temperature are distributed in an in-phase opposition. Except during the seeding stage and maturation stage, the precipitation is positively correlated with the yield, and the yield is very sensitive to precipitation during the jointing and earing stages. The sensitive period is about 50—60 d, and the yield will decrease 14—20 g/m² when the ten-day period precipitation increases by 1 mm. Sunshine hours were positively correlated with the yield in the sowing stage and the maturation stage. The impacts of meteorological factors on spring wheat growth showed an ascending trend, although the yield decreased significantly in 1995a, 1997a and 2007a because of the significant decrease in precipitation that occurred in these periods.

Key Words: the Loess Plateau; climate change; spring wheat; growth; ear dried weight

1906—2005 年,全球地表平均温度上升了 0.74 °C,1956—2005 年升温 0.65 °C。近 50a 变暖的速率 (0.13 °C/10a) 是近 100 a (0.07 °C/10a) 的 2 倍,变暖幅度自 20 世纪 90 年代以来明显加速,1850 年以来最暖的 12 a 中有 11a 出现在 1995—2006 年间,未来 100 a 全球气温可能升高 1.1—6.4 °C。气候变暖可能已对许多自然和生物系统产生了可辨别的影响^[1]。在中高纬度地区,如果局地温度增高 1—3 °C,粮食产量预计会有少量增加;若升温超过这一范围,某些地区农作物产量则会降低^[2]。在美国,1982—1998 年温度渐增造成玉米、大豆产量发生变化^[3]。在菲律宾,1992—2003 年水稻生长季内的干旱月份 (1—4 月) 最低气温每增加 1 °C,水稻产量下降 10%^[4]。在德国,1961—2000 年间气温增加,大田作物的物候期发生了很大变化^[5]。

气候变化将使中国未来农业生产不稳定性增加、产量波动大^[6-8]、种植熟制变化大^[9-10]。由于气温上升,我国的气候生长期已明显增长,平均增长了 10 d 左右,尤其是青藏高原和北方地区^[11-12]。我国黄土高原地区对气候变暖的响应更敏感,对气候变化的适应能力更脆弱,受气候变暖的影响程度会更加严重,所造成的各方面损失也会更加巨大^[13-15]。气候变暖通过对农业气候条件的改变能够影响到包括农作物生长、病虫害、种植面积、气候生产力、产量和品质等在内的各个方面,是目前黄土高原地区发展现代农业所需要考虑的重要科学问题之一^[16-20]。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

试验在甘肃省定西市农业气象试验站进行,该站位于甘肃省中部,属典型的黄土高原半干旱气候区。该站海拔高度 1896.7 m。年平均气温 6.7 °C,最热月 7 月平均气温 18.6 °C,最冷月 1 月平均气温 -7.5 °C;年降水量 386.6 mm;降水集中于夏季 6—8 月,降水量 214.3 mm,占年降水量的 55.4%;春季和秋季降水量基本相当,分别为 81.4、82.2 mm;冬季最少,为 8.7 mm;雨热同季。年太阳总辐射为 5923.8 MJ/m²;年平均日照时数

2433.0 h,最多 2664.0 h,最少 2159.7 h。无霜期平均为 140 d,最长 183 d,最短 99 d。

1.2 研究方法

1986—2009 年连续 24a 进行了春小麦生长发育及产量形成定位观测试验;试验取样地段未灌溉,品种及耕作管理措施与大田相同。观测方法按照中国气象局农业气象观测规范,在春小麦生长发育期取 4 个重复,观测发育期、生长高度、密度、叶面积、叶、茎和穗的生长量、干物质和产量等要素。2007 年增加观测次数,逢 3、5、8、10 日加密观测。同期对比观测气象资料为该站地面气象观测资料。

气候分析资料为该站 1958—2009 年地面气象观测资料。

1.3 统计计算方法

气候要素的趋势系数变化采用一次线性方程表示,其斜率的 10 a 变化称为气候倾向率,可以从气候趋势系数求出气候倾向率^[21],单位为每 10 a 某要素单位。

小波分析是一种时、频多分辨率分析方法,是一个时间和频率的区域变换,因而能有效的从信号中提取信息,通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化。小波基(母波)的种类较多,本文采用有边界 Morlet 小波能量谱分析^[22]。

作物生长季干燥指数将陈明荣干燥度公式修正而得到:

$$G = \frac{C \sum T_{4-7}}{R}$$

式中, G 为作物生长季 4—7 月干燥指数, G 越大说明越干燥,反之 G 越小说明越湿润; $\sum T_{4-7}$ 为作物生长季(4—7 月) $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温; C 为海拔高度订正系数; $C \sum T_{4-7}$ 表示蒸发力。 R 为同期降水量^[23]。

另外,还采用相关分析、通径分析、积分回归、Cubic 函数和 Logistic 生长曲线等统计分析方法。

2 气候变化特征

2.1 降水量变化

研究区域降水量年际变化呈下降趋势,降水量变化曲线线性拟合倾向率为 $-15.796 \text{ mm}/10\text{a}$ (图 1),降水量 Cubic 函数呈波动变化,方程为 $y = 0.0009x^3 - 0.0556x^2 - 0.9898x + 440.92$ (y 为降水量 Cubic 拟合值, x 为年代序列,起始值为 1),其线性化后的相关系数 $R=0.297$,通过 $\alpha=0.05$ 检验。

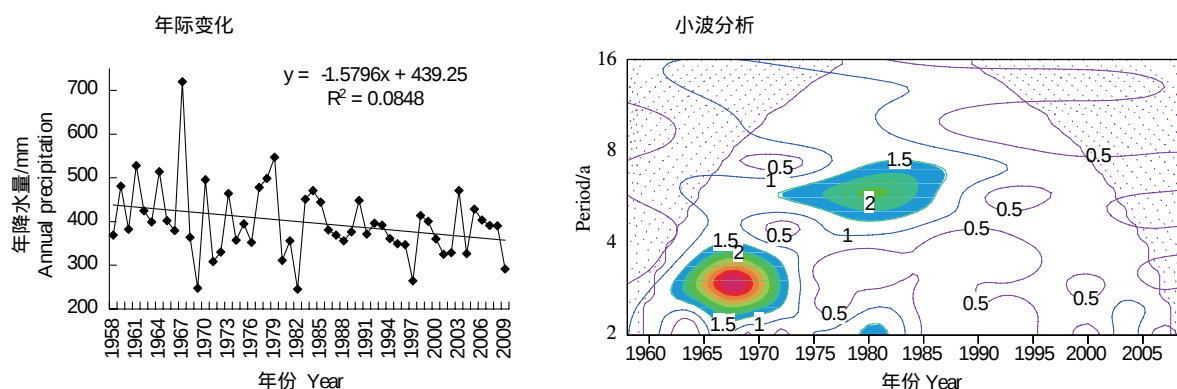


图 1 研究区降水量变化曲线

Fig.1 Annual Precipitation change Curve in the study area

降水量距平百分率的年际变率较大,最多年份达 86.3%,最少年份在 -36.4% ,一般在 $-36\%—36\%$ 之间,其中 1959—1967 年以偏多为主、1994—2002 年为少雨时期。若定义年降水距平百分率 $R^* \geq 60\%$ 为特多, $60\% > R^* \geq 20\%$ 为偏多, $20\% > R^* > -20\%$ 为正常, $-20\% \geq R^* > -60\%$ 为偏少, $R^* \leq -60\%$ 为特少。则年降水量特多的是 1967 年,偏多的是 1959、1961、1964、1973、1977—1979、1984、2003 年,偏少的是 1969、1971、1982、

1997、2009 年。其余年份 $20\% > R^* > -20\%$,均在正常范围内变化。

就年代际降水距平百分率而言,20 世纪 60 年代偏多最多,为 15.8%,1958—1960 年和 70 年代次之,80 年代略多,90 年代及其后持续偏少(表 1)。降水量年代际变幅 60 年代最大,变异系数为 28.3%;70 年代次之,变异系数为 21.3%。

用有边界小波能量谱分析方法对降水量的年际周期振荡特征进行分析,由图 1 可见,研究区域降水量存在 3a、6a 的年际周期变化,3a、6a 周期振荡分别在 1965—1970、1975—1985 年为中心的局部时段内周期振荡最强,其余时段周期振荡较弱。

表 1 研究区各年代降水距平百分率、气温距平

Table 1 Every decadal anomaly percent of precipitation and temperature departure in the study area

要素 Factor		1958—1960	20 世纪 60 年代 1960s	20 世纪 70 年代 1970s	20 世纪 80 年代 1980s	20 世纪 90 年代 1990s	2001—2009
降水量	距平百分率 Anomaly percent/%	6.3	15.8	4.6	0.8	-5.4	-3.5
Precipitation	变异系数 Coefficient of variability/%	14.9	28.3	21.3	17.2	11.6	14.8
气温	距平 Departure/℃	0.0	-0.5	-0.4	-0.2	0.5	1.3
Temperature	变异系数 Coefficient of variability/%	3.8	6.6	5.9	6.8	8.5	4.6

按气象通常的季节划分(3、4、5 月为春季,6、7、8 月为夏季,9、10、11 月为秋季,12、1、2 月为冬季),由表 2 研究区各季节降水量倾向率可见,降水在秋季递减率最大,递减率为 -8.054 mm/10a,春小麦生长季 4—7 月和夏季次之、分别为 -6.069 mm/10a、-4.363mm/10a,春季递减率较小,为 -3.677mm/10a,而冬季呈略增趋势。降水量季节变幅夏季最大,变异系数达 55.5%;春季次之,变异系数为 45.2%;秋季最小,变异系数为 26.1%。表明,研究区域降水量秋季明显减少。

2.2 气温变化

气温年际变化呈显著上升趋势,气温变化曲线线性拟合倾向率为 0.362 ℃/10a(图 2)。气温 Cubic 函数呈先降后升型,方程为 $y = -0.00003x^3 + 0.0038x^2 - 0.0979x + 0.1778$,其线性化后的相关系数 $R=0.869$,通过 $\alpha=0.01$ 检验。对 Cubic 函数求一阶导数,令 $dy/dx=0$,求得 1973 年为气温 Cubic 函数最小值即转折点,1973 年后气温 Cubic 函数上升。

年平均气温距平 1958—1960 年、20 世纪 50 年代、60 年代、70 年代、80 年、90 年代、2001—2009 分别为 0.0、-0.5、-0.4、-0.2、0.5、1.3℃。可见从 60 年代开始年代际距平依次上升,2001—2009 年气温距平最大,达 1.3℃。90 年代平均气温变幅最大,变异系数为 8.5%,80 年代次之,变异系数为 6.8%。

表 2 研究区各季节降水量、气温倾向率

Table 2 The ration of trend precipitation and temperature in seasons in the study area

要素 Factor		年 Year	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	生长季(4—7 月) Growth period
降水	倾向率	-15.76	-3.677	-4.363	-8.054	0.200	-6.069
Precipitation	Ration of trend/(mm/10a)						
	变异系数	20.5	45.2	55.5	26.1	41.9	28.3
	Coefficient of variability/%						
气温	倾向率	0.362	0.274	0.300	0.356	0.521	0.321
Temperature	Ration of trend/(℃/10a)						
	变异系数	11.2	11.9	4.8	12.3	-22.0	6.1
	Coefficient of variability/%						

根据世界气象组织(WMO)规定:正距平大于或等于两个标准差为异常暖;负距平小于或等于两个标准差为异常冷。正距平大于或等于一个标准差划分为暖年;负距平小于或等于一个标准差划分为冷年。研究区域异常暖年为 2002、2006—2007、2009 年;暖年为 1997、1999—2001、2003—2005、2008 年,其中暖年和异常暖年

均出现在 1997 之后;异常冷年为 1967 年,冷年为 1970、1976—1977、1983—1984 年。

由表 2 研究区各季节气温倾向率可见,冬季气温增加倾向率最大,达 0.521 ℃/10a,秋、夏季次之,分别为 0.356 ℃/10a、0.300 ℃/10a;春季倾向率较小,为 0.274 ℃/10a;春小麦生长季 4—7 月气温明显增暖,倾向率为 0.321 ℃/10a。气温季节变幅冬季最大,变异系数达 22.0%;秋季次之,变异系数为 12.3%;夏季最小,变异系数为 4.8%。

2.3 作物生长季干燥指数变化

研究区域作物生长季干燥指数变化呈显著上升趋势(图 2),干燥指数变化曲线线性拟合倾向率为 0.12/10a。干燥指数 Cubic 函数呈波动增加,方程为 $y = 0.00001x^3 - 0.0007x^2 + 0.0237x + 1.9649$,其线性化后的相关系数 $R = 0.352$,通过 $\alpha = 0.01$ 检验。

1959—1967 年为相对湿润期,20 世纪 70 年代末至 80 年代干湿交替,90 年代初至 2009 年趋于暖干化,干燥指数明显上升。

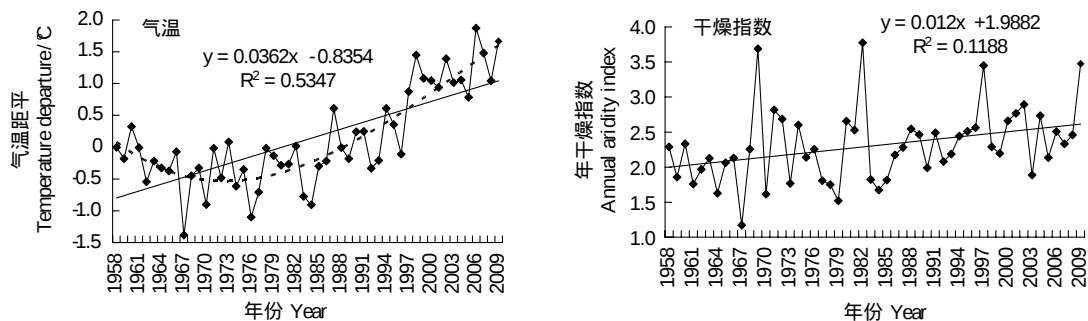


图 2 研究区气温距平、干燥指数年际变化曲线

Fig. 2 Interannual change curve of temperature departure and aridity index in the study area

3 春小麦生长发育状况变化及其与气候变化的关系

3.1 春小麦生长发育期变化

3.1.1 春小麦生长发育期生态气候条件

研究区域春小麦一般在 3 月中下旬播种,出苗期在 4 月上中旬,三叶期在 4 月下旬,拔节期在 5 月中下旬,孕穗期在 5 月下旬 6 月上旬,抽穗期在 6 月上中旬,开花期在 6 月下旬,乳熟期在 7 月上旬,成熟期在 7 月中旬。播种到成熟期天数为 110—130 d,期间 ≥ 0 ℃ 积温为 1500—2000 ℃,降水量为 150—200 mm,日照时数为 800—1300 h(表 3)。

表 3 研究区春小麦生长发育期生态气候条件

Table 3 Ecoclimate conditions in all growth period of spring wheat in the study area

发育期 Growth stage	间隔天数/d Interval days	≥ 0 ℃ 积温/℃ Accumulated temperature	降水量/mm Precipitation	日照时数/h Sunshine hours
播种—出苗 Sowing-seeding stage	20—30	100—150	10—15	140—200
出苗—三叶 seeding stage-three leaf stage	10—20	100—200	10—20	80—150
三叶—拔节 Three leaf stage-jointing	20—25	250—300	30—40	150—200
拔节—孕穗 Jointing-booting	10—20	150—250	20—30	100—150
孕穗—抽穗 Booting-earring	6—10	100—160	8—15	60—80
抽穗—开花 Earring-flowering	6—10	110—170	10—17	70—80
开花—乳熟 Flowering-milk stage	10—20	180—300	20—30	80—160
乳熟—成熟 Milk stage-maturing	10—15	200—300	25—35	90—150
播种—成熟 Sowing-maturing	110—130	1500—2000	150—200	800—1300

3.1.2 发育期间隔日数与气候变化的关系

图3春小麦生长发育期间隔日数年际变化曲线可见,春小麦乳熟—成熟期间隔日数呈逐年减小的趋势,线线性拟合倾向率为 $-2.874 \text{ d}/10\text{a}$,即每10a缩短2—3 d。乳熟—成熟期间隔日数与6—7月平均气温呈显著的负相关,相关系数 $r = -0.55$,通过 $\alpha = 0.01$ 检验,即6—7月气温升高,春小麦乳熟—成熟期加快。

播种—成熟期的全生育期天数呈逐年减小的趋势,线线性拟合倾向率为 $-4.117 \text{ d}/10\text{a}$,即每10 a缩短4—5 d。播种—成熟期的全生育期天数与4—7月平均气温呈显著的负相关,相关系数 $r = -0.547$,通过 $\alpha = 0.01$ 检验,即4—7月气温升高,春小麦全生育期缩短。全生育期天数与全生育期降水量呈显著正相关,相关系数 $r = 0.604$,通过 $\alpha = 0.01$ 检验,降水量增加,生育期延长。

播种—孕穗期间隔日数也呈逐年减小的趋势,但未通过显著性检验。播种—孕穗期间隔日数与4—5月平均气温呈显著的负相关,相关系数 $r = -0.43$,通过 $\alpha = 0.05$ 检验,即4—5月气温升高,春小麦播种—孕穗期加快。

春小麦出苗期、开花期、抽穗期呈波动提前趋势,但年际变化曲线线性拟合趋势未通过显著性检验。

由此可见,影响春小麦生育期的主导气象因子是气温,气候变暖,气温增高,导致春小麦乳熟—成熟期每10 a缩短2—3 d、全生育期每10 a缩短4—5 d,其生物学机理是气温增高使春小麦生殖生长加快,导致全生育期缩短。

3.2 春小麦穗干重生长发育特征

春小麦生物量在每一个生育期内的动态生长呈“缓慢生长—积极生长—缓慢生长”的生长过程。它的特点是开始生长较为缓慢,以后随着时间的推移,在某一段时间内增长速度很快,当达到某一阶段后,增长速度又趋于缓慢,直至最后停止生长。图4是春小麦穗干重生长发育曲线,其变化符合Logistic生长曲线^[24],可用Logistic生长曲线方程拟合,拟合方程为:

$$y = \frac{108.229}{1 + e^{(5.137 - 0.102x)}}$$

其线性化后复相关系数为 $R = 0.958$,方差分析 $F = 227.234$,通过 $\alpha = 0.01$ 信度检验。

对春小麦穗干重生长拟合函数求一阶导数,可得穗干重生长速度函数为:

$$v = -\frac{dy}{dx} = \frac{kbe^{a-bx}}{(1 + e^{a-bx})^2} = \frac{11.04e^{(5.137 - 0.102x)}}{(1 + e^{(5.137 - 0.102x)})^2}$$

对生长速度函数求一阶导数,令 $\frac{dv}{dx} = 0$,可求得 $x = 50.4 \approx 50 (\text{d})$ 时,穗干重生长速度最大为: $v_{\max} = 2.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。即在播种后的第50天,穗干重生长速度最大可达 $2.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

对穗干重生长速度函数求二阶导数得:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{d^3y}{dx^3} = kb^3 e^{a-bx} \frac{1 - 4e^{a-bx} + e^{2a-2bx}}{(1 + e^{a-bx})^4}$$

令 $\frac{d^2v}{dx^2} = 0$,即 $1 - 4e^{a-bx} + e^{2a-2bx} = 0$,求函数的两个特征点,解得:

$$x_1 = \frac{a - \ln(2 + \sqrt{3})}{b} = 37.5 \approx 38 (\text{d}), x_2 = \frac{a - \ln(2 - \sqrt{3})}{b} = 63.3 \approx 63 (\text{d})$$

式中, x_1 表示穗干重由缓慢生长转为积极生长的转折时间, x_2 表示由积极生长转为缓慢生长的转折时间。

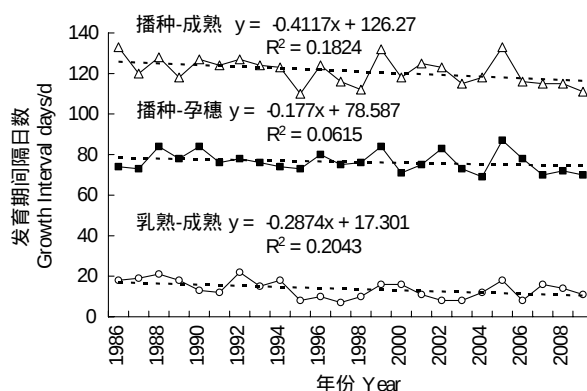


图3 春小麦发育期间隔日数的年际变化曲线

Fig.3 Curve of growth interval days of spring wheat

即穗干重生长从播种后 38d 开始,由缓慢生长转为迅速生长阶段,从播种后 63d 开始,其生长从迅速生长又转为缓慢生长。穗干重迅速生长期为 25 d。

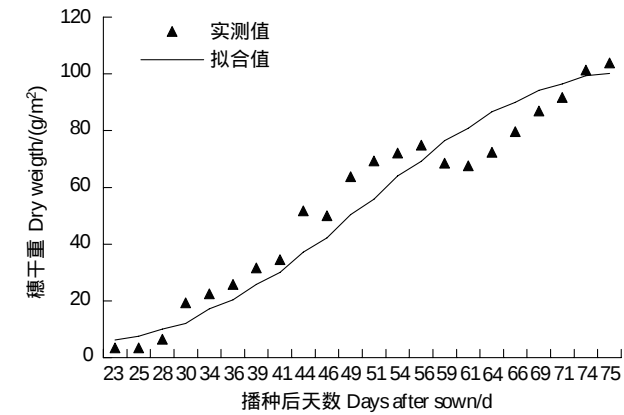


图 4 春小麦穗干重生长发育曲线
Fig. 4 Curve of growth of ears dried weight

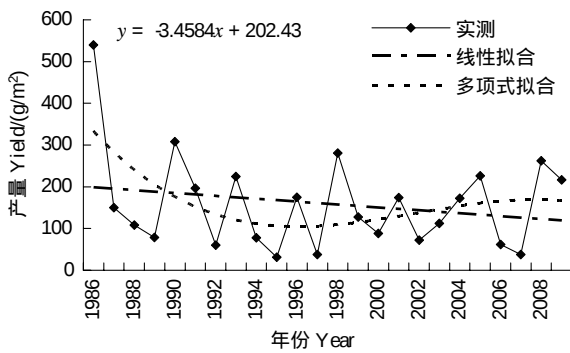


图 5 春小麦产量年际变化曲线
Fig. 5 Curve of annual spring wheat yields

3.3 春小麦产量与气候变化的关系

春小麦产量年际变化曲线呈波动下降趋势,倾向率为 $-34.584.54\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot(10\text{a})^{-1}$, Cubic 函数呈波动下降,方程为 $y = -0.0818x^3 + 4.1463x^2 - 61.721x + 391.01$ $R^2 = 0.2484$,其线性化后的复相关系数 $R=0.498$ 通过 $\alpha=0.01$ 检验。

表 4 不同气候因子影响春小麦产量的相关系数与直接通径系数
Table 4 Correlation coefficients and direct path coefficients of spring wheat yields against different climatic factors

气候要素 Climate factor	生长季降水量 Precipitation of growth period/mm	3—5 月降水量 Precipitation in March to May/mm	5 月降水量 Precipitation in May /mm	5 月下旬— 6 月上旬气温 Temperature in May last ten-day to the frist ten-day of June /℃	5 月下旬— 6 月上旬日照 Sunshine in May last ten-day to the frist ten-day of June/h
相关系数 Correlation coefficient	0.376	0.441	0.428	-0.494	-0.469
直接通径系数 Direct path coefficients	-0.156	0.502	-0.213	-0.105	0.065

表 4 可见,春小麦产量与全生育期 3—7 月降水量呈正相关,相关系数 $r=0.376$,通过 $\alpha=0.05$ 检验,与 3—5 月降水量相关系数更大,相关系数 $r=0.441$,通过 $\alpha=0.05$ 检验;与 5 月下旬—6 月上旬气温呈负相关,相关系数 $r=-0.494$,通过 $\alpha=0.05$ 检验;与 5 月下旬—6 月上旬日照也呈负相关,相关系数 $r=-0.469$,通过 $\alpha=0.05$ 。

统计分析表明产量波动主要受气象条件影响,其它干扰因素均未通过显著性信度检验。春小麦生长季气候变暖,气温升高,降水减少,不利于研究区域春小麦产量形成。

春小麦产量与其生长季 3—7 月降水量、3—5 月降水量、5 月降水量、5 月下旬—6 月上旬气温、5 月下旬—6 月上旬日照呈显著相关,为明确各气候因子分别对春小麦产量的直接贡献大小并确定关键气候因子,将各气候因子与产量作通径分析,结果显示气候因子的作用由大到小依次为:3—5 月降水量>5 月降水量>3—7 月降水量>5 月下旬—6 月上旬气温>5 月下旬—6 月上旬日照。其中 3—5 月降水量、5 月降水量的直接通径系数远大于其它气候因子。

可见,研究区域 5 月是春小麦需水关键期,5 月降水量是关键影响因子;夏季高温则是春小麦生育及产量形成的主要限制因子。

3.4 气象要素对春小麦产量形成的影响及敏感性

3.4.1 热量的影响及敏感性

从图6春小麦产量与旬气温积分回归影响函数 $a(t)$ 值曲线可以看出,由于气候变暖,除播种—出苗期和成熟期外,其余时段热量充足,气温对春小麦产量形成成为负效应,气温升高 1°C ,产量降低 $10\text{--}18\text{ g/m}^2$ 。孕穗期产量形成对气温变化十分敏感,旬平均气温每升高 1°C ,春小麦产量降低 $15\text{--}18\text{ g/m}^2$,敏感期约 $40\text{--}50\text{ d}$ 。播种—出苗期热量不足,气温对春小麦产量形成成为正效应,且影响量较大,旬平均气温每升高 1°C ,春小麦产量可增加 $16\text{--}19\text{ g/m}^2$ 。

3.4.2 降水量的影响及敏感性

从图6春小麦产量与旬降水量积分回归曲线可以看出,除出苗期和成熟期降水量对春小麦产量形成成为负效应外,其余时段降水量对春小麦产量形成均为正效应,在春小麦拔节—抽穗期产量形成对降水量变化十分敏感,旬降水量每增加 1 mm ,春小麦产量可增加 $14\text{--}20\text{ g/m}^2$,敏感期约 $50\text{--}60\text{ d}$ 。之后影响减弱,成熟期降水量对春小麦产量形成又转为负效应,此时段降水过多,不利春小麦增产。

3.4.3 光照的影响及敏感性

从图6春小麦产量与旬日照时数积分回归曲线可以看出,播种期和成熟期日照时数对春小麦产量形成成为正效应;旬日照时数每增加 1 h ,春小麦产量增加 $10\text{--}20\text{ g/m}^2$,敏感期约 $10\text{--}20\text{ d}$ 。一般而言,在其它生态气候条件适宜时,光照增加光合作用加快,对植物发育应为正效应。但当某一时段日照时数增多时,相应时段常常表现为降水减少的状况,由于水分不足影响产量形成,故出现在部分时段日照时数对春小麦产量形成成为负效应的现象。

3.5 春小麦产量气候模型

分析春小麦生长关键时段、关键气象因子对其产量的影响,依据积分回归及相关分析结果,建立春小麦产量气候模型:

$$Y = 682.752 + 0.720R_{3-5} - 17.170T - 1.825S$$

式中, Y 为春小麦产量; R_{3-5} 为春小麦生育期3—5月降水量; T 为春小麦生育期5月下旬—6月上旬气温; S 为5月下旬—6月上旬日照时数;

复相关系数 $R=0.588$,方差分析 $F=3.522$,通过 $\alpha=0.05$ 信度检验。

4 结论

(1)研究区域降水量年际变化呈下降趋势,降水量变化曲线线性拟合倾向率为 $-15.796\text{ mm}/10\text{ a}$ 。降水量存在 3 a 、 6 a 的年际周期变化,周期振荡分别在 $1965\text{--}1970$ 、 $1975\text{--}1985$ 年为中心的局部时段内周期振荡最强,其余时段周期振荡较弱。降水量在秋季递减率最大,递减率为 $-8.054\text{ mm}/10\text{ a}$ 。气温年际变化趋势呈显著上升趋势,气温变化曲线线性拟合倾向为 $0.362^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。1973年之后持续上升。作物生长季干燥指数变化呈显著上升趋势,干燥指数变化曲线线性拟合倾向率为 $0.12/10\text{ a}$,1959—1967年为相对湿润期,20世纪70年代末至80年代干湿交替,90年代初至2009年趋于暖干化,干燥指数明显上升。

(2)春小麦生长发育受气候变暖,气温增高的影响,乳熟—成熟期每 10 a 缩短 $2\text{--}3\text{ d}$ 、全生育期每 10 a 缩短 $4\text{--}5\text{ d}$,其生物学机理是气温增高使春小麦生殖生长加快,导致全生育期缩短。春小麦穗干重生长分析表明,春小麦在播种后 38 d 开始,穗干重由缓慢生长转为迅速生长阶段,在播种后 50 d ,穗干重生长速度最大可达 $2.8\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。播种后 63 d 开始,穗干重生长从迅速生长又转为缓慢生长。迅速生长期为 25 d 。

(3)由于气候变暖,除播种—出苗期和成熟期外,其余时段热量充足,气温对春小麦产量形成成为负效应,

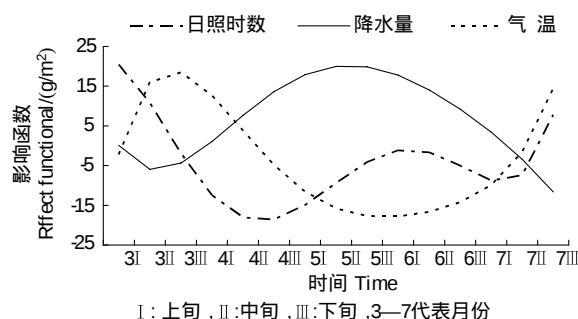


图6 春小麦产量与旬气象要素积分回归曲线

Fig. 6 Curve of integral regression between spring wheat yields and ten-day period average meteorological factor

孕穗期产量形成对气温变化十分敏感,旬平均气温每升高 1 °C,春小麦产量降低 15—18 g/m²,敏感期约 40—50 d。而降水量对春小麦产量形成的影响函数曲线同热量的影响函数曲线呈反相位分布,除出苗期和成熟期降水量对春小麦产量形成成为负效应外,其余时段降水量对春小麦产量形成均为正效应,拔节—抽穗期产量形成对降水量变化十分敏感,旬降水量每增加 1 mm,春小麦产量可增加 14—20 g/m²,敏感期约 50—60 d。播种期和成熟期日照时数对春小麦产量形成成为正效应。

(4)在气候变暖的背景下,气象条件对春小麦生长发育和产量形成影响的不确定性因素增加,影响增大。如 1995 年、1997 年和 2007 年因生育期降水量显著下降,导致春小麦产量明显减产。

References:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Lobell D B, Asner G P. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. *Science*, 2003, 299 (5609): 1032-1032.
- [4] Peng S B, Huang J L, Sheehy J E, Laza R C, Visperas R M, Zhong X H, Centeno G S, Khush G S, Cassman K G. Rice yield decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 2004, 101 (27): 9971-9975.
- [5] Chmielewski F M, Müller A, Bruns E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961—2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 121 (1/2): 69-78.
- [6] Lin E D. Simulation on Influence of Global Climate Change on Agriculture in China. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1997: 1-20.
- [7] Qin D H. Facts, impact, adaptation and mitigation strategy of climate change. *Bulletin of National Science Foundation of China*, 2003, 17 (1): 1-3.
- [8] Zhang J P, Zhao Y X, Wang C Y, He Y. Effects of climate change on winter wheat growth and yield in North China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (7): 1179-1184.
- [9] Wang F T. Impacts of climate change on cropping system and its implication for agriculture in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 11 (4): 407-415.
- [10] Li J, Gao P, Chen Y C, Chen H, Yang T M, Huang J F, Jin Z F, Peng D L. Relationships between farming system and effective accumulated temperature in East China. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27 (3): 361-368.
- [11] Ren G Y, Xu Y. Observed and projected climate changes. *Science & Technology Review*, 2004, 7: 10-16.
- [12] Xu M Z, Ren G Y. Change in growing season over china; 1961—2000. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2004, 15 (3): 306-312.
- [13] Yao Y B, Deng Z Y, Wang R Y, Wang Y R, Pu J Y, Zang X Y. The influence of climate changes on potato growth in Gansu Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24 (3): 16-20.
- [14] Yao Y B, Dong A X, Wang R Y, Pu J Y, Zang X Y. Affected the frangibility of potato growing of Semi-arid region over the Northwest China under climate change. *Advance in Earth Sciences*, 2007, 22 (Supl.): 48-54.
- [15] Yao Y B, Wang Y R, Li Y H, Zhang X Y. Climate warming and drying and its environmental effects in the Loess Plateau. *Resources Science*, 2005, 27 (5): 146-152.
- [16] 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.
- [17] Deng Z Y, Zhang Q, Pu J Y, Liu D X, Guo H, Zhao H, Wang Q F, Wang H L. The impact of climatic warming on crop planting and production in northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (8): 3760-3768.
- [18] Wang R Y, Zhang Q, Wang Y L. Response of corn to climate warming in arid areas in Northwest China. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46 (12): 1387-1392.
- [19] Liu D X, Dong A X, Deng Z Y. Impact of climate warming on agriculture in Northwest China. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20 (1): 119-125.
- [20] Pu J Y, Yao X Y, Deng Z Y, Yao Y B, Wang W T, Zhang M C. Impact of climate warming on winter rape planting in Gansu Province. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32 (9): 1397-1401.

- [21] Wei F Y. Statistic Diagnose and Foreshadow Technology in Present Climate. Beijing: Meteorological Press, 2007: 175-181.
- [22] Wu H B, Wu L. Methods for Diagnosing and Forecasting Climate Variability. Beijing: Meteorological Press, 2005: 208-244.
- [23] Deng Z Y, Qiu H M, Li H D. Development of Climate and Agriculture in the East of Gansu. Beijing: China Meteorology Press, 2000: 32-34.
- [24] Deng Z Y. The Study of Agriculture Meteorology in the Arid Area. Beijing: China Meteorology Press, 1999: 287-293.

参考文献:

- [6] 林而达. 全球气候变化对中国农业影响的模拟. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 1-20.
- [7] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策. 中国科学基金, 2003, 17(1): 1-3.
- [8] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 何勇. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1179-1184.
- [9] 王馥棠. 气候变化对种植制度的影响及其对我国农业的启示, 气象学报, 1997, 11(4): 407-415.
- [10] 李军, 高苹, 陈艳春, 陈惠, 杨太明, 黄敬峰, 金志凤, 彭代亮. 华东地区耕作制度对积温变化的响应. 生态学杂志, 2008, 27(3): 361-368.
- [11] 任国玉, 徐影. 气候变化的观测事实与未来趋势. 科技导报, 2004, 7: 10-16.
- [12] 徐铭志, 任国玉. 近40年中国气候生长期的变化. 应用气象学报, 2004, 15(3): 306-312.
- [13] 姚玉璧, 邓振镛, 王润元, 王毅荣, 蒲金涌, 张秀云. 气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 16-20.
- [14] 姚玉璧, 董安祥, 王润元, 蒲金涌, 张秀云. 西北半干旱区气候变化对马铃薯生长脆弱性的影响. 地球科学进展, 2007, 22(Suppl): 48-54.
- [15] 姚玉璧, 王毅荣, 李耀辉, 张秀云. 中国黄土高原气候暖干化及其对生态环境的影响. 资源科学, 2005, 27(5): 146-152.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 王润元, 张强, 王耀林. 西北干旱区玉米对气候变暖的响应. 植物学报, 2004, 46(12): 1387-1392.
- [19] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业生产的影响. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119-125.
- [20] 蒲金涌, 姚小英, 邓振镛, 姚玉璧, 王位泰, 张谋草. 气候变暖对甘肃冬油菜 (*Brassica campestris* L.) 种植的影响. 作物学报, 2006, 32(9): 1397-1401.
- [21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 2007: 175-181.
- [22] 吴洪宝, 吴蕾. 气候变率诊断和预测方法. 北京: 气象出版社, 2005: 208-244.
- [23] 邓振镛, 仇化民, 李怀德. 陇东气候与农业开发. 北京: 气象出版社, 2000: 32-34.
- [24] 邓振镛. 干旱地区农业气象研究. 北京: 气象出版社, 1999: 287-293.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31 ,No.15 August ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance	LI Fengrui, LIU Jiliang, HUA Wei, et al (4169)
Construction and comparative analysis of enriched microsatellite library from <i>Liposcelis bostrychophila</i> and <i>L. entomophila</i> genome	WEI Dandan, YUAN Minglong, WANG Baojun, et al (4182)
Development of EST-SSRs markers and analysis of genetic diversities among different geographical populations of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i>	YAN Xiwu, YU Zhifei, QIN Yanjie, et al (4190)
Genetic diversity of different generations of the Dalian population of Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> through selective breeding	YU Zhifei, YAN Xiwu, YANG Fei, et al (4199)
Comparative study of spike differentiation in wheat in the glasshouse and field	JIANG Lina, ZHAO Yanling, SHAO Yun, et al (4207)
Effects of organic fertilizer on growth and endogenous hormone contents of wheat seedlings under salt stress	LIU Haiying, CUI Changhai, ZHAO Qian, et al (4215)
Impacts of climatic change on spring wheat growth in a semi-arid region of the Loess Plateau: a case study in Dingxi, Gansu Province	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (4225)
Dynamic changes in nitrogen and phosphorus concentrations and emission-reduction potentials in paddy field water under different tillage models	FENG Guolu, YANG Renbin (4235)
Effects of planting and straw returning of transgenic Bt maize on soil enzyme activities under field condition	YAN Shilei, ZHAO Lei, SUN Hongwei, et al (4244)
Effects of short-term flooding on <i>Geobacteraceae</i> spp. and <i>Anaeromyxobacter</i> spp. abundance in paddy soil	ZHU Chao, Stefan Ratering, QU Dong, et al (4251)
Adaptive adjustments of the sowing date of late season rice under climate change in Guangdong Province	WANG Hua, CHEN Xinguang, HU Fei, et al (4261)
Carbon and nitrogen sequestration rate in long-term fenced grasslands in Inner Mongolia, China	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (4270)
Ecosystems carbon storage and carbon sequestration potential of two main tree species for the Grain for Green Project on China's hilly Loess Plateau	LIU Yingchun, WANG Qiufeng, YU Guirui, et al (4277)
Wettability on plant leaf surfaces and its ecological significance	SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang (4287)
Seasonal dynamics of litter accumulation in major forest communities on the northern slope of Changbai Mountain, Northeast China	ZHENG Jinping, GUO Zhongling, XU Chengyang, et al (4299)
A comparative study of seed germination traits of 52 species from Gurbantunggut Desert and its peripheral zone	LIU Huiliang, SONG Mingfang, DUAN Shimin, et al (4308)
The reproductive ecological characteristics of <i>Sinosenecio jishouensis</i> (Compositae) and its endangerment mechanisms	DENG Tao, CHEN Gongxi, ZHANG Daigui, et al (4318)
Iterative algorithm for analyzing the influence of the proportion of permanently destroyed sites on the equilibrium abundances of species	SHI Peijian, GE Feng, YANG Qingpei (4327)
Physiological mechanism of foliage spraying paclobutrazol on increasing salt tolerance of <i>Jatropha curcas</i> seedlings	MAO Yiqing, ZHENG Qingsong, CHEN Jianmiao, et al (4334)
Spatial ecological niche of main insect borers in larch of Aershan	YUAN Fei, LUO Youqing, SHI Juan, et al (4342)
Source areas and landing mechanism of early immigration of white-backed planthoppers <i>Sogatella furcifera</i> (Horváth) in Yunnan, 2009	SHEN Huimei, LÜ Jianping, ZHOU Jinyu, et al (4350)
Life history and the evolutionary significance of egg diapause in Changsha population of the rice grasshopper, <i>Oxya chinensis</i> (Orthoptera: Catantopidae)	ZHU Daohong, ZHANG Chao, TAN Ronghe (4365)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in "518" nectarine orchard	SHI Xiaoli, BI Shoudong, GENG Jiguang, et al (4372)
Dynamics of soil meso- and microfauna communities in Zoigê alpine meadows on the eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau, China	ZHANG Hongzhi, WU Pengfei, YANG Daxing, et al (4385)
Seasonal changes in waterbirds population and movements of Great Black-headed Gull <i>Larus ichthyaetus</i> at Keluke Lake of Qinghai, China	ZHANG Guogang, LIU Dongping, HOU Yunqiu, et al (4398)
Predictions of net carbon emissions based on the emissions and forest carbon sinks in Yunnan Province	LIU Huiya, WANG Zheng, MA Xiaozhe (4405)
Ecological water depletion by human use in Beijing City	BAI Yinglan, WANG Rusong, YAO Liang (4415)
Review and Monograph	
Research progress on regulation mechanism for the process of water transport in plants	YANG Qiliang, ZHANG Fucang, LIU Xiaogang, et al (4427)
Antibiotics in environmental matrices and their effects on microbial ecosystems	YU Shen, WANG Min, HONG Youwei (4437)
Anaerobic ammonium oxidation in natural ecosystems	SHEN Lidong, ZHENG Ping, HU Baolan (4447)
Scientific Note	
Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula	ZHANG Ying, LÜ Zhenbo, XU Zongfa, et al (4455)
Seasonal succession of crustacean zooplankton in relation to the major environmental factors in Lake Ulungur, Xinjiang	YANG Lili, ZHOU Xiaoyu, LIU Qigen, et al (4468)
Effect of different fertilization and irrigation practices on soil ammonia volatilization of Arecanut (<i>Areca catechu</i> L.)	LU Lilan, GAN Bingchun, XU Minghui, et al (4477)

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 15 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 15 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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