

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

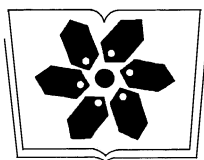
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

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 32 卷 第 7 期 2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

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

DOI: 10.5846/stxb201107201074

高晓容, 王春乙, 张继权. 气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响. 生态学报, 2012, 32(7): 2110-2118.

Gao X R, Wang C Y, Zhang J Q. The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2110-2118.

气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响

高晓容¹, 王春乙², 张继权^{3,*}

(1. 南京信息工程大学 应用气象学院, 南京 210044; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081;

3. 东北师范大学 城市与环境科学学院/自然灾害研究所, 长春 130024)

摘要: 利用东北地区 48 个农气站 1961—2010 年气象资料和近 20 多年玉米生育期资料, 建立生育阶段热量指数和冷害指数, 分析气候变暖对东北玉米 4 个生育阶段热量及低温冷害分布格局的影响。结果表明: 热量指数总体表现为明显的增加趋势; 平均温度、热量指数的年代际变化特征明显, 中晚、晚熟区的上升趋势均小于早、中熟区; 冷害频率总体表现为明显的减小趋势; 气候变暖对两个熟型区域 4 个生育阶段的冷害影响并不一致, 早、中熟区的冷害平均频率最大值均出现在 20 世纪 60 年代, 中晚、晚熟区的冷害平均频率最大值均出现在 70 年代, 两个熟型区域的最小值均出现在 21 世纪初。研究结果可为未来东北地区调整玉米种植制度和生产布局, 为适应气候变化和趋利避害提供科学依据。

关键词: 气候变暖; 生育阶段; 热量指数; 冷害指数; 东北地区

The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China

GAO Xiaorong¹, WANG Chunyi², ZHANG Jiquan^{3,*}

1 College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

3 College of Urban and Environmental Sciences/Natural Disaster Research Institute, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

Abstract: To assess variations of the thermal conditions and chilling damage distributions of maize in Northeast China under the global climatic change, in this study, we defined a heat index and a chilling damage index of growing stage, based on the daily meteorological data of 1961—2010 over 48 agro-meteorological stations in Northeast China and the maize growth records over the recent 20 years. The entire growing period of maize was divided into four stages: 1) from emergence to seven-leaf, 2) from emergence to tasseling, 3) from emergence to milky ripening, and 4) from emergence to maturation. Different maturation types of maize in Northeast China were also taken into account and the impacts of global climate warming on the thermal status and chilling damage distributions of different types of maize during their four growing stages were analyzed and evaluated.

The results show that the heat indices in the four growing stages exhibit in general a rising trend, with the heat amount in the early 21st century being the largest and supposedly most advantageous for maize growth, over the recent 50 years. However, the increased heat, i. e., the climate warming, affects the thermal and chilling situations differently for different maturation types of maize. Specifically, the heat index increases and the chilling index drops for areas with maize ripening in the middle of the season. In contrast, the heat index drops and the chilling index increases over the areas with maize ripening late of the season. An in-the-middle situation occurs in the areas with middle-late-season ripening maize. This

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划项目(2011BAD32B00-04); 国家自然科学基金资助(41071326)

收稿日期: 2011-07-20; 修订日期: 2012-02-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjq022@nenu.edu.cn

indicates that climate warming benefits the most the middle-season ripening maize while it is disadvantageous to the late-season ripening maize.

It is found that the area-averaged temperature and heat index for each of the four growing stages of maize have significant interdecadal variations. The lowest temperature and heat index occurred in the 1960s for the early-middle-season ripening maize, whereas they showed up in the 1970s for the middle-late-season ripening maize. The rising trend of the heat index for the early-middle-season ripening maize is stronger than that for the middle-late-season ripening maize.

The frequency of the chilling damage to maize during the four growing stages shows an overall decreasing trend, and a significant reduction of frequency appears in the 1980s. The impacts of the global warming on the maize in Northeast China differ for different ripening types of maize during their varied growing stages. The highest chilling frequency is found in the 1960s for the early-middle-season ripening maize while the chilling is most frequent in the 1970s for the middle-late-season ripening maize. For both types of maize, the least frequent chilling events are observed in the early 21st century.

The results obtained in this study is expected to provide scientific insights and basis for adjusting the maize cropping system and distribution in Northeast China to adapt to climate change, and to mitigate the chilling damage and associated losses.

Key Words: climatic warming; growth stages; heat index; chilling damage index; northeast China

气候变暖已经成为全球气候变化的主要特征。与全球气候变暖的趋势一致,中国近百年(1905—2001年)增暖幅度为0.5—0.8℃,比全球同期增温略高^[1]。1951—2004年,中国年平均气温上升趋势达0.25℃/10a,54 a平均气温上升了约1.3℃,增温主要从20世纪80年代开始,且有加快趋势^[2]。1951—2002年东北地区,除秋季外的其它季节增温都比较明显,中国东北是全球变暖最强烈的地区之一^[3]。IPCC第四次评估报告指出气候变化对农业生产的影响是明显而广泛的,将使农业生产的不稳定性增加、种植结构和布局改变、局部地区的农业气象灾害事件加剧^[4]。

东北地区是我国玉米的主产区,也是国内最大的玉米商品粮生产基地,其种植面积占全国玉米种植面积的1/3以上,产量约占全国玉米总产量的40%,东北地区的粮食生产直接关系到国家的粮食安全^[5]。以低温冷害为主要农业气候灾害的我国东北地区,随着气候变暖,热量资源条件有所改善,但同时温度波动幅度增大,极端事件频发^[6]。为了积极应对气候变化对东北地区粮食生产带来的影响,就需要准确认识在全球气候变化的大背景下,东北地区玉米生育阶段热量和低温冷害出现的新特点、新变化。近一二十年来,有关东北地区低温冷害研究取得了许多成果。毛飞等^[7]利用生长季5—9月月平均温度和的距平值(ΔT_{5-9})作为低温冷害指标,分析了0.5°N×0.5°E网格点上冷害的发生频率。王春乙等^[8]建立了各地一般、严重冷害判别指标,利用经验正交函数分析了低温冷害的时空分布特征。高素华^[9]利用主要发育期延迟天数判断冷害发生的可能性。刘布春等^[10]用抽雄期的早晚判断是否发生延迟型冷害。李祎君等^[11]提出了由主导指标、辅助指标、参考指标组成的玉米低温冷害综合指标,适用于小范围的低温冷害预测。马树庆等^[12]利用出苗到主要发育期的积温距平建立了玉米不同品种熟型低温冷害监测指标,对冷害发生及损失程度实现了动态预测和评估。

目前东北低温冷害指标及其分布规律的研究大多是针对作物5—9月整个生育期的,也较少考虑种植区不同品种熟型间的差异,关于东北玉米不同生育阶段热量条件及低温冷害时空分布规律的研究还较少见。作物在不同生育期或生育阶段遭受低温,其产生的影响也有明显不同,而目前仅有的生育阶段积温距平冷害监测指标^[12]只给出了4个品种熟型区的大致距平范围,无法对具体站点不同生育阶段低温冷害的时空分布进行定量分析,因此,有必要建立更加科学、合理的生育阶段冷害判别指标。本文以前人低温冷害指标为基础,综合考虑作物品种熟型间的差异,建立玉米不同生育阶段的热量指数、冷害指数,分析不同生育阶段热量及低温冷害时空分布格局的变化,以期今后在玉米生产布局和管理中趋利避害提供科学依据。

1 资料与研究方法

1.1 资料及处理

选取东北地区 48 个农业气象观测站为研究站点(图 1)。研究所用资料有:1)1980—2007 年玉米发育期资料,2)1961—2010 年逐日温度资料(均来自国家气象信息中心资料室);3)1961—2010 年 10 km×10 km 网格逐日温度资料(来自国家气象中心)。对研究站点温度数据的缺测值利用 10 km×10 km 网格资料进行插补。

本文选取出苗、七叶、抽雄、乳熟、成熟为主要生育期,主要考察出苗—七叶、出苗—抽雄、出苗—乳熟、出苗—成熟 4 个生育阶段的热量状况及低温冷害。采用多年平均值来表示当地一般生育期^[13]。

东北地域辽阔,地形地势、纬度等方面的差异造成各地热量条件明显不同,不同地区玉米种植的品种熟型也就各不相同,不同品种熟型间低温冷害的致灾临界值就会不同。根据已有研究成果把东北地区玉米种植区划分为北部和东部早熟区、中北部和东部山区中熟区、中西部中晚熟区、南部晚熟区 4 个区域^[14]。

1.2 研究方法

1.2.1 生育阶段热量指数的计算

农作物生长发育与环境温度的关系十分密切,温度偏高或偏低对农作物的生长发育都有不利的影响。郭建平^[15]提出以热量指数作为低温冷害指标,热量指数结合了作物的生长发育特性,考虑了作物不同生育阶段的适宜温度、下限温度和上限温度,反映了农作物对环境热量状况的响应,把它作为气候变暖对不同生育阶段热量影响的指标具有生物学意义。本文建立 4 个生育阶段热量指数,其大小可以直接反映不同生育阶段热量条件对作物生长发育的影响程度。

热量指数公式为^[15]:

$$F(T) = [(T - T_1)(T_2 - T)^B] / [(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B]$$

$$B = (T_2 - T_0) / (T_0 - T_1)$$

式中, T 为日平均温度; T_0 、 T_1 、 T_2 分别为某日所在生育期的适宜温度、下限温度和上限温度,且当 $T \leq T_1$ 或 $T \geq T_2$ 时, $F(T) = 0$ 。

根据各生育期的最高、最低和适宜温度(表 1),把生育期内逐日热量指数的平均值作为生育期热量指数,对生育阶段内几个生育期热量指数累加得到生育阶段热量指数。

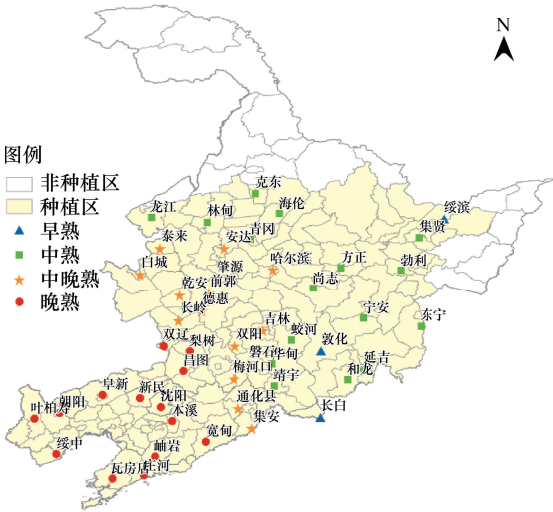


图 1 东北地区 48 个农气站分布及玉米品种区划图
Fig. 1 Location of 48 agrometeorological stations and the zoning of maize variety in Northeast China

表 1 玉米各生育阶段的最低、最高及适宜温度

Table 1 The lower, the upper and the suitable temperatures in different maize growth stages

玉米生育阶段 Growth stages		$T_1/^\circ\text{C}$ The lower temperature	$T_2/^\circ\text{C}$ The upper temperature	$T_0/^\circ\text{C}$ The suitable temperature
出苗—七叶	出苗—三叶	8.0	27.0	20.0
	三叶—七叶	11.5	30.0	24.5
七叶—抽雄	七叶—拔节	11.5	30.0	24.5
	拔节—抽雄	14.0	33.0	27.0
抽雄—乳熟	抽雄—开花	14.0	33.0	27.0
	开花—乳熟	14.0	32.0	25.5
乳熟—成熟	乳熟—成熟	10	30	19

1.2.2 生育阶段低温冷害的确定

根据王春乙、毛飞^[8]的研究,东北地区一般、严重低温冷害判别指标为:

$$CDY = \Delta T_{5-9} + 8.6116 - 0.1482(X + 0.0109H) \quad (3)$$

$$CDW = \Delta T_{5-9} + 18.3029 - 0.3270(X + 0.0109H) \quad (4)$$

式中, ΔT_{5-9} 为5—9月月平均温度和的距平(°C), X 为纬度(°N), H 为海拔高度(m)。当 $CDY \leq 0$ 时,出现一般低温冷害; $CDW \leq 0$ 时,出现严重冷害。

根据式(3)、(4)判断48个农气站一般、严重冷害发生的年份。由于低温具有累积延迟、高温具有补偿效应,同时研究表明,后期高温对前期低温影响的补偿作用更为显著^[11],一般采用从出苗到某一生育期的累积指标判断冷害的发生。根据48个农气站多年生育期的平均值,计算各站出苗到各主要生育期 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温的多年平均,历年出苗—七叶、出苗—抽雄、出苗—乳熟、出苗—成熟的积温距平;然后根据生育阶段低温冷害积温距平监测指标^[12],判断一般、严重冷害年的低温冷害出现在哪个生育阶段。

1.2.3 生育阶段冷害指数的建立

在4个生育阶段热量指数定义和低温冷害判别的基础上,建立生育阶段冷害指数。对各站点4个生育阶段出现的冷害,把生育阶段热量指数的最大值作为该站点相应生育阶段冷害的临界值 $Y_{i,j}$,将各站点4个生育阶段热量指数 $F_{i,j}$ 减去临界值 $Y_{i,j}$ 定义为冷害指数 $A_{i,j}$:

$$A_{i,j} = F_{i,j} - Y_{i,j} \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, 48) \quad (5)$$

当 $A_{i,j} \leq 0$ 时,则站点 j 在生育阶段 i 出现低温冷害,且 $A_{i,j}$ 越小,表明冷害程度越强。

2 结果与分析

2.1 气候变暖背景下东北玉米生育阶段热量及冷害强度的时空分布

海伦、双辽、瓦房店分别为黑龙江、吉林、辽宁省的玉米主产区,分别代表中熟、中晚熟、晚熟品种。从3个代表站50 a出苗—成熟热量指数、冷害指数的变化趋势可以看出(图2),中熟区热量指数、冷害指数表现为显著的上升趋势,通过0.01显著性检验;中晚熟区热量指数、冷害指数略有上升趋势,通过0.02的显著性检验;晚熟区热量指数、冷害指数略呈下降趋势,通过0.1显著性检验,由于晚熟区生育后期有的日平均温度超过玉米正常生长发育的适宜温度,从而导致整个生育期热量指数降低。由此可见,气候变暖对中熟区玉米生长发育十分有利,对中晚熟区比较有利,而对晚熟区会有不利影响,这与郭建平^[16]的研究结论一致;同时气候变暖对不同熟型区域的冷害强度影响不同,中熟区冷害强度显著下降,中晚熟区略有下降,晚熟区则有增加

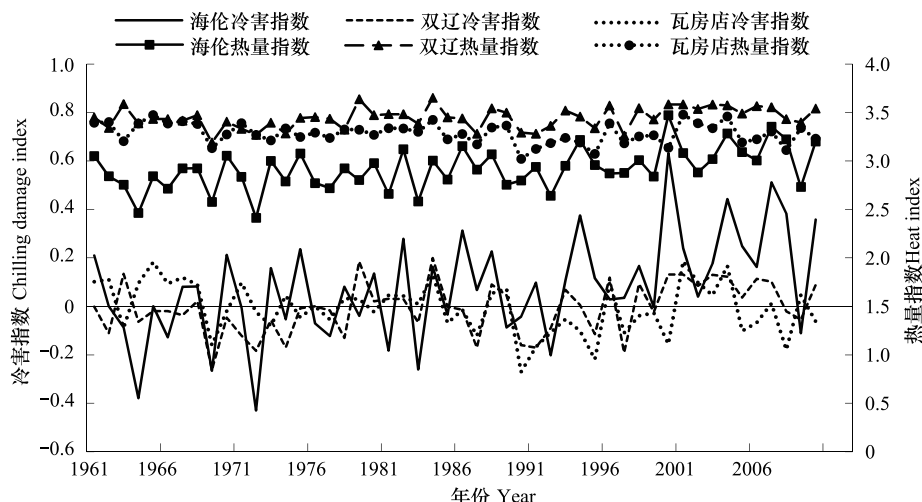


图2 东北地区3个代表站1961—2010年出苗—成熟热量指数、冷害指数的变化

Fig. 2 Changes of heat index and chilling damage index of emergence-mature for maize of three representative stations in Northeast China from 1961 to 2010

趋势。

图3为东北玉米1961—2009年出苗—成熟整个生育期热量指数的年代际变化。出苗—七叶阶段,热量指数0.40—0.50的低值区从20世纪70年代开始向东南方向退缩,到21世纪初基本消失;0.60—0.80的中高值区从70年代起向东南方向移动扩展,21世纪初研究区西部出现一片0.80—0.90的高值区。出苗—抽雄阶段,热量指数1.05—1.20的低值区从70年代开始退缩;1.35—1.65的中高值区从70年代起向东南方向移动扩展,21世纪初西部1.65—1.80的高值区面积约占研究区域的1/3。出苗—乳熟阶段,热量指数2.00—2.20的中低值区从70年代开始向东南方向退缩,同时中高值区向东南方向扩展或移动,21世纪初西部出现一片2.55—2.70的高值区。出苗—成熟,2.65—2.90的中低值区从70年代开始向东南方向退缩;3.15—3.40的中高值区在21世纪初明显向东北方向扩展,同时西部出现一片3.40—3.60的高值区。

对比分析4个生育阶段热量指数的年代际变化得到以下结论:(1)4个生育阶段的年代际热量指数基本呈带状分布,东南部的长白山地最低,由东南(或东)向西北(或西)方向递增。(2)热量指数中低值区从20世纪70年代起向东南方向退缩,同时中高值区向东南方向扩展,且在研究区西部出现高值区,总体表现为明显的增加趋势;(3)21世纪初的热量条件为近50a最好。

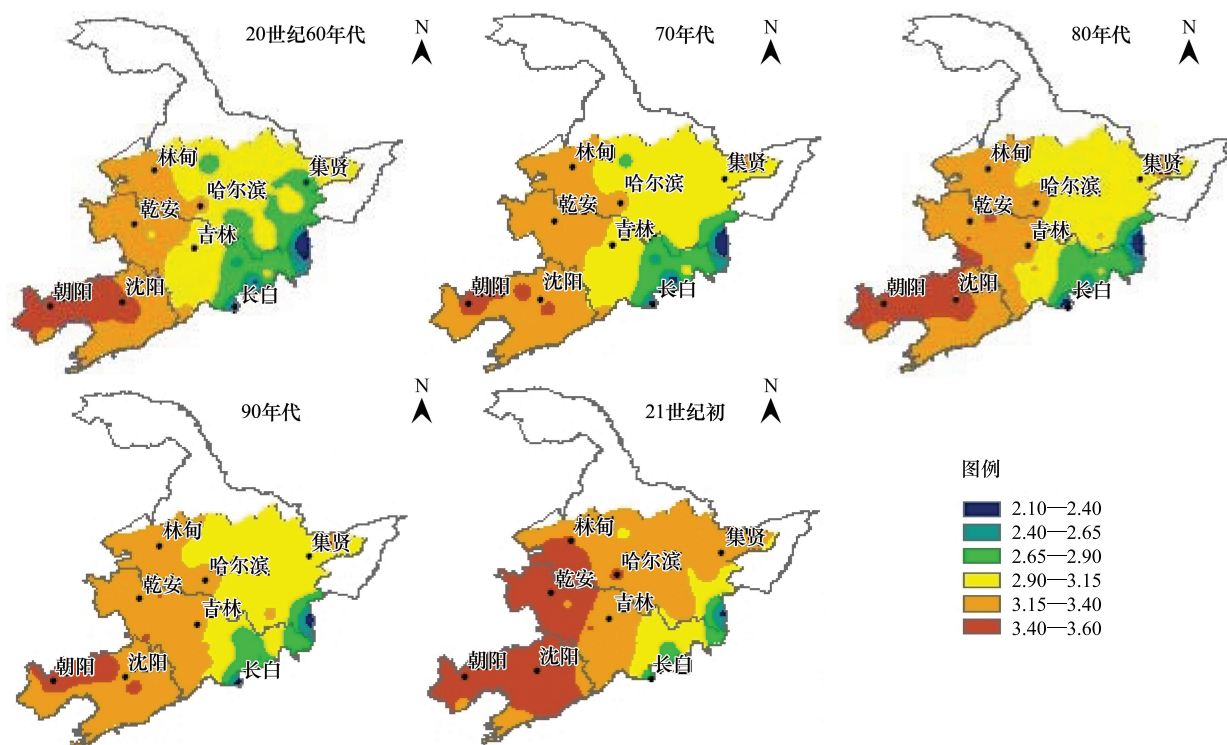


图3 东北玉米1961—2009年出苗—成熟热量指数的年代际变化

Fig. 3 Inter-decadal changes of heat indices for emergence-mature of maize in Northeast China from 1961 to 2009

把整个研究区按照品种熟型划分为早、中熟区和中晚、晚熟区两个区域。两个熟型区域,4个生育阶段的平均温度、热量指数年代际变化特征明显(图4)。早、中熟区4个生育阶段平均温度呈明显的上升趋势,分别为0.32℃/10a、0.57℃/10a、0.72℃/10a、1.0℃/10a,热量指数的上升趋势分别为0.02/10a、0.03/10a、0.04/10a、0.06/10a,平均温度与热量指数的最低值均出现在20世纪60年代,21世纪初的上升幅度最大;中晚、晚熟区4个生育阶段平均温度同样有明显的上升趋势,分别为0.27℃/10a、0.47℃/10a、0.55℃/10a、0.8℃/10a,其热量指数上升趋势分别为0.02/10a、0.02/10a、0.03/10a、0.03/10a,最低值均出现在70年代,21世纪初上升幅度最大。对4个生育阶段两个熟型区域平均温度、热量指数的上升趋势而言,早、中熟区基本上要大于中晚、晚熟区,说明气候变暖对早、中熟区的玉米生产更为有利。

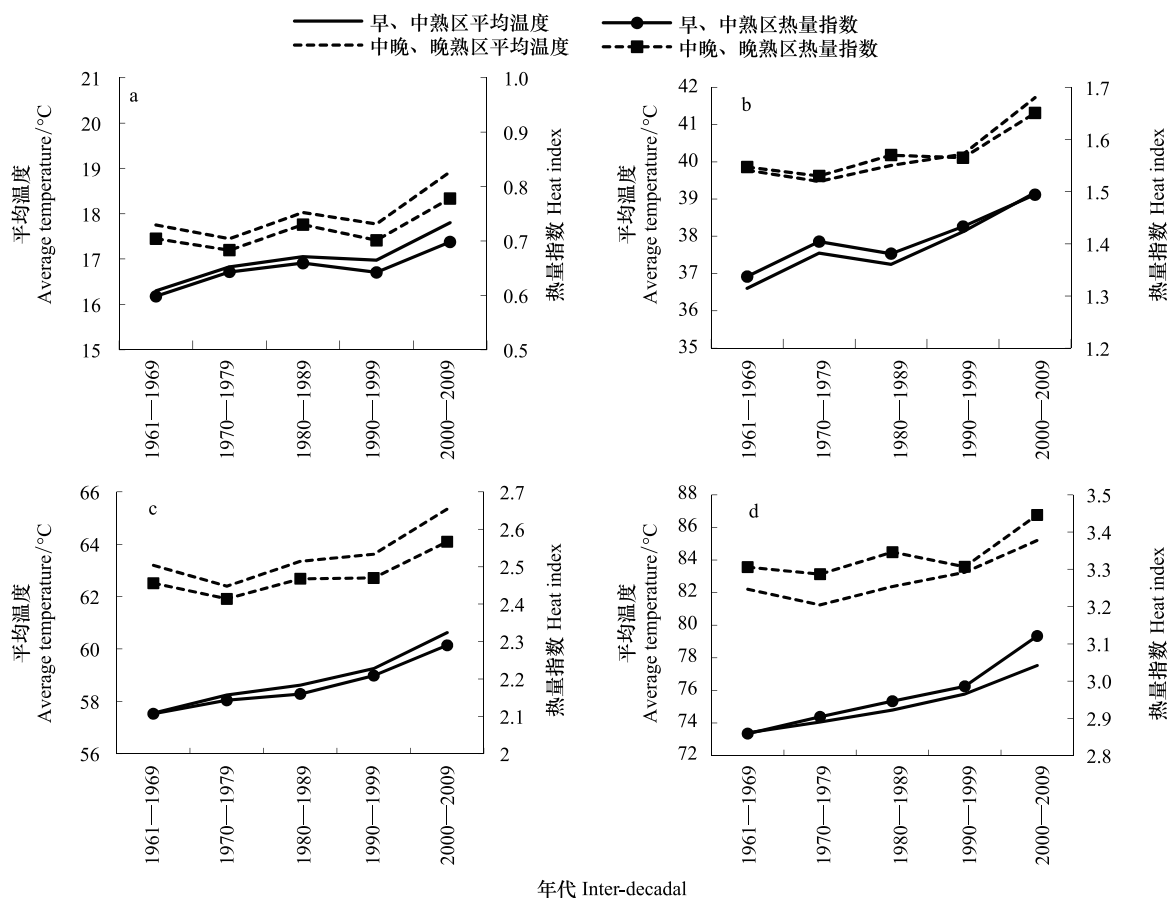


图4 东北地区玉米不同熟型区域各生育阶段平均温度、热量指数的年代际变化

Fig. 4 Inter-decadal changes of heat indices for the four growth stages of different maturity types of maize in Northeast China

(a) 出苗—七叶; (b) 出苗—抽雄; (c) 出苗—乳熟; (d) 出苗—成熟

2.2 气候变暖背景下东北玉米生育阶段冷害频率时空分布

图5为1961—2009年东北玉米出苗—成熟冷害频率的年代际变化(略去其它3个生育阶段)。对比分析4个生育阶段冷害频率的年代际变化,可得到以下结论:(1)总体上,冷害频率表现为减小趋势,1961—2010年中前19a的冷害频率中高值区范围大于后30a。(2)从20世纪80年代起冷害频率有较明显的下降,21世纪初的冷害程度最低,这一结论也验证了80年代我国变暖趋势加快的观点^[2]。(3)80年代以后气候变暖趋势的加快对不同地区的影响并不一致。出苗—抽雄,80年代吉林、辽宁大部分地区的冷害频率比70年代明显减小,黑龙江种植区变化不明显;90年代黑龙江种植区冷害频率比80年代明显减小,吉林、辽宁大部分地区比80年代有所增加。

两个熟型区域,4个生育阶段冷害平均频率也呈明显的年代际变化(图6)。出苗—七叶,早、中熟区的冷害平均频率20世纪60年代最大,为33%;中晚、晚熟区的冷害平均频率最大值在70年代,为29%;最低值均出现在21世纪初,分别为12%、5%。出苗—抽雄,早、中熟区的最大值在60年代,为49%;中晚、晚熟区最大值在70年代,为45%;最低值均出现在21世纪初,分别为16%、11%。出苗—乳熟,早、中熟区较大值在60、70年代,分别为43%、44%;中晚、晚熟区最大值在70年代,为53%;21世纪初最低,分别为12%、10%。出苗—成熟,早、中熟区最大值在60年代,为60%;中晚、晚熟区70年代最大,为64%;最低值均出现在21世纪初,分别为18%、12%。因此对4个生育阶段而言,早、中熟区的冷害平均频率最大值均出现在20世纪60年代,中晚、晚熟区最大值均出现在70年代,两个区域的最小值均出现在21世纪初。

3 结论与讨论

利用定义的生育阶段热量指数和冷害指数分析了气候变暖对东北地区近50a玉米出苗—七叶、出苗—抽

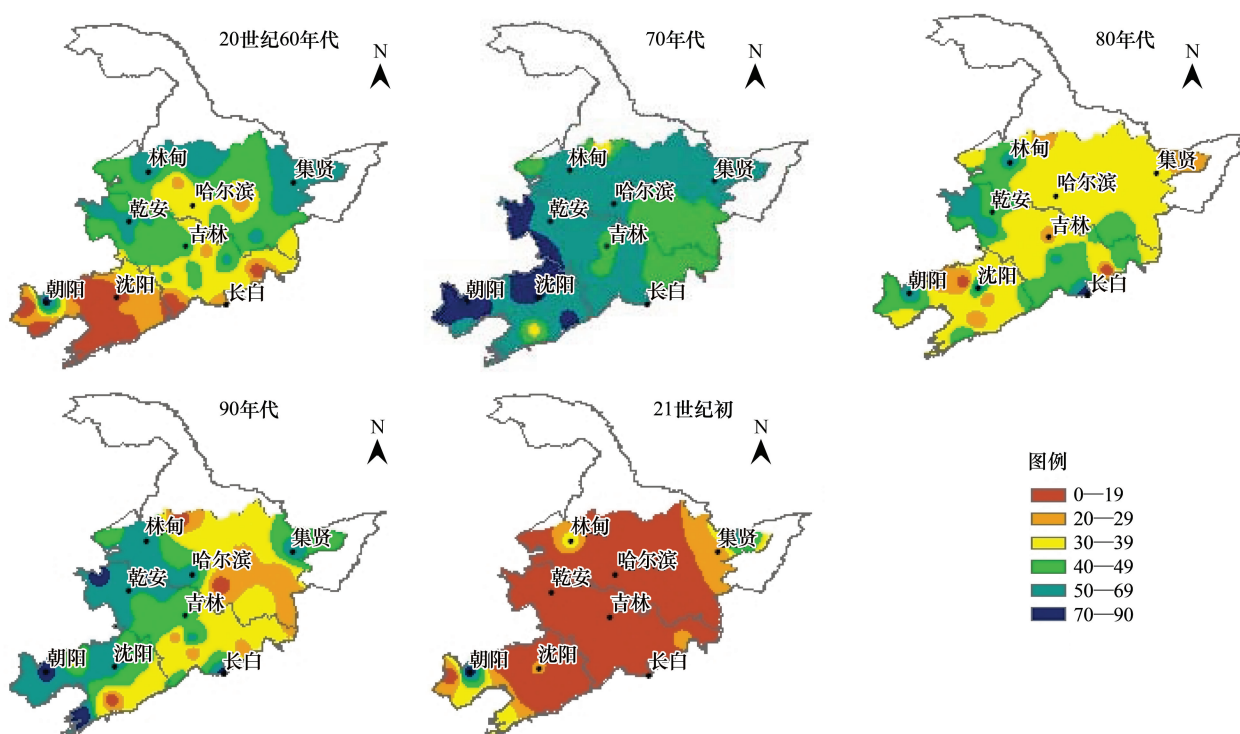


图5 东北玉米出苗—成熟冷害频率(%)的年代际变化

Fig. 5 Inter-decadal changes of frequency of chilling damage for emergence-mature of maize in Northeast China (%)

雄、出苗—乳熟、出苗—成熟4个生育阶段热量及低温冷害分布格局的影响。结果表明:

(1) 东北玉米4个生育阶段的热量指数表现为明显的增加趋势,中低值区从20世纪70年代起向东南方向退缩,同时中高值区向东南方向扩展,21世纪初的热量条件为近50a最好。

(2) 气候变暖对中熟区玉米生长发育十分有利,冷害强度显著下降;对中晚熟区比较有利,冷害强度略有下降;而对晚熟区会有不利影响,冷害强度有增加趋势。

(3) 两个熟型区域,4个生育阶段的平均温度、热量指数年代际变化特征明显。早、中熟区最低值均出现在20世纪60年代,中晚、晚熟区最低值均出现在70年代;且中晚、晚熟区的上升趋势均小于早、中熟区,气候变暖对早、中熟区的玉米生产更为有利。

(4) 4个生育阶段的冷害频率表现为减小趋势,20世纪80年代起冷害频率有比较明显的下降,21世纪初的冷害程度最低。

(5) 两个熟型区域,4个生育阶段的冷害平均频率呈明显的年代际变化。早、中熟区冷害平均频率最大值均出现在20世纪60年代,中晚、晚熟区最大值均出现在70年代,两个区域的最小值均出现在21世纪初。

本文在前人低温冷害研究的基础上,建立了生育阶段冷害指数,该指标计算比较复杂,但判别结果更符合实际情况。文中玉米生育期资料采用多年平均值,品种熟型采用现有的品种区划,由于受气象要素、经济效益等因素的影响,每年的种植品种、生育期资料都会不同,导致研究结果与生产实际会产生一定差异。80年代以后,中熟、中晚熟区热量条件有明显改善,但仍有严重冷害发生,如果盲目引种晚熟品种,一旦发生冷害就会导致严重减产。为了防御低温冷害,应根据当地农业气候资源状况,以80%的成熟保证率确定玉米主栽品种,并进行不同熟型品种的合理搭配;根据气候年型,选择适宜品种,判断最佳播种时机,实时早播,充分利用热量资源,并且可以适时喷施抗低温助长剂,降低低温胁迫对农作物的影响^[17]。晚熟区生育后期有的日平均温度超过玉米正常生长发育的适宜温度导致整个生育期热量指数的下降,冷害有增加趋势,今后应研究气候变暖背景下高于作物发育期适宜温度的偏高温对玉米生产的可能影响,进一步研究冷害、干旱、涝灾等东北

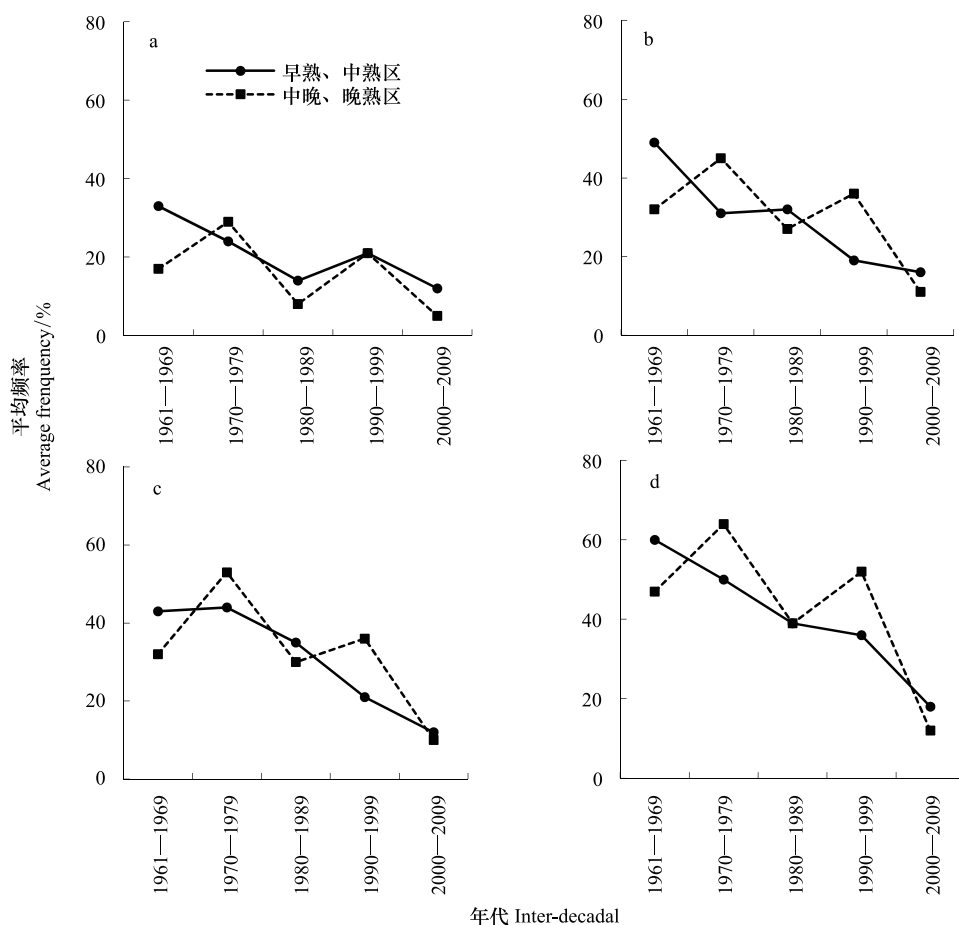


图6 东北地区玉米不同熟型区域各生育阶段低温冷害平均频率的年代际变化

Fig. 6 Inter-decadal changes of average frequency of chilling damage for the four growth stages of different maturity types of maize in Northeast China

(a) 出苗—七叶; (b) 出苗—抽雄; (c) 出苗—乳熟; (d) 出苗—成熟

地区主要气象灾害对农业生产的综合影响。

致谢: 中国气象科学研究院赵艳霞研究员、广东中心气象台纪忠萍正研级高工、中国气象科学研究院任义方对本文写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Qin D H. Climatic Change: Regional Reply, Prevention and Reduction Disaster. Beijing: Science Press, 2009: 17-19.
- [2] Ren G Y, Chu Z Y, Zhou Y Q, Xu M Z, Wang Y, Tang G L, Zhai P M, Shao X M, Zhang A Y, Chen Z H, Guo J, Liu H B, Zhou J X, Zhao Z C, Zhang L, Bai H Z, Liu X F, Tang H Y. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 701-716.
- [3] Wang S W, Lo Y, Tang G L, Zhao Z C, Huang J B, Wen X Y. Does the global warming pause in the last decade: 1999—2008?. Advances in Climate Change Research, 2010, 6(2): 95-99.
- [4] IPCC. Climate Change 2007: the Physical Science Basis, Summary for Policy Makers. Paris: IPCC WGI Fourth Report, 2007: 195-199.
- [5] Yang Z, Cai Z, Jing X Q, Zhang S H. Maize in Northeast Region of China. Beijing: China Agriculture Press, 2007: 1-2.
- [6] Wang C Y. Study on Chilling Damage of Crop in Northeast China. Beijing: Meteorological Press, 2008: 4-5.
- [7] Mao F, Gao S H, Zhuang L W. Study on the regularity of chilling damage in Northeast China in recent 40 years//Wang C Y, Guo J P. Study on Comprehensive Defending Technique to Chilling Damage. Beijing: Meteorological Press, 1999: 17-26.
- [8] Wang C Y, Mao F. Distribution of chilling damage in Northeast China//Wang C Y, Guo J P. Study on Comprehensive Defending Technique to Chilling Damage. Beijing: Meteorological Press, 1999: 9-15.

- [9] Gao S H. Dynamic monitoring of growth-delaying type cold damage for corn. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(2): 117-121.
- [10] Liu B C, Wang S L, Zhuang L W, Lu Z G, Shi X L, Song Y J. Study of low temperature damage prediction applications in EN, China based on a scaling-up maize dynamic model. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2003, 14(5): 616-625.
- [11] Li Y J, Wang C Y. Research on comprehensive index of chilling damage to corn in Northeast China. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16(6): 15-20.
- [12] Ma S Q, Liu Y Y, Wang Q. Dynamic prediction and evaluation method of maize chilling damage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1905-1910.
- [13] Wu D L. Study on the Risk Assessment of Drought for the Winter Wheat in North China [D]. Beijing: National Climate Center, 2009.
- [14] Guo J P, Ma S Q. Theory and Practice of Monitor-Prediction for Chilling Damage of Crop. Beijing: Meteorological Press, 2009.
- [15] Guo J P, Gao S H. Thermal type division and indices determination in Northeast China//Wang C Y, Guo J P. Study on Comprehensive Defending Technique to Chilling Damage. Beijing: Meteorological Press, 1999: 158-164.
- [16] Guo J P, Zhuang L W, Chen Y Y. Study on forecasting methods of corn heat index in Northeastern China(I)——heat index and corn yield. *Journal of Catastrophology*, 2009, 24(4): 6-10.
- [17] Wang C Y, Guo J P. Study on Comprehensive Defending Technique to Chilling Damage. Beijing: Meteorological Press, 1999.

参考文献:

- [1] 秦大河. 气候变化: 区域应对与防灾减灾. 北京: 科学出版社, 2009: 17-19.
- [2] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 徐铭志, 王颖, 唐国利, 翟盘茂, 邵雪梅, 张爱英, 陈正洪, 郭军, 刘洪滨, 周江兴, 赵宗慈, 张莉, 白虎志, 刘学峰, 唐红玉. 中国气温变化研究最新进展. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 701-716.
- [3] 王绍武, 罗勇, 唐国利, 赵宗慈, 黄建斌, 闻新宇. 近 10 年全球变暖停滞了吗? *气候变化研究进展*, 2010, 6(2): 95-99.
- [5] 杨镇, 才卓, 景希强, 张世煌. 东北玉米. 北京: 中国农业出版社, 2007: 1-2.
- [6] 王春乙. 东北地区农作物低温冷害研究. 北京: 气象出版社, 2008: 4-5.
- [7] 毛飞, 高素华, 庄立伟. 近 40 年东北地区低温冷害发生规律的研究//王春乙, 郭建平. 农作物低温冷害综合防御技术研究. 北京: 气象出版社, 1999: 17-26.
- [8] 王春乙, 毛飞. 东北地区低温冷害的分布特征//王春乙, 郭建平. 农作物低温冷害综合防御技术研究. 北京: 气象出版社, 1999: 9-15.
- [9] 高素华. 玉米延迟型低温冷害的动态监测. *自然灾害学报*, 2003, 12(2): 117-121.
- [10] 刘布春, 王石立, 庄立伟, 卢志光, 史学丽, 宋永佳. 基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究. *应用气象学报*, 2003, 14(5): 616-625.
- [11] 李伟君, 王春乙. 东北地区玉米低温冷害综合指标研究. *自然灾害学报*, 2007, 16(6): 15-20.
- [12] 马树庆, 刘玉英, 王琪. 玉米低温冷害动态评估和预测方法. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1905-1910.
- [13] 吴东丽. 华北地区冬小麦干旱风险评估研究 [D]. 北京: 国家气候中心, 2009.
- [14] 郭建平, 马树庆, 等. 农作物低温冷害监测预测理论和实践. 北京: 气象出版社, 2009.
- [15] 郭建平, 高素华. 东北地区农作物热量年型的划分及指标的确定//王春乙, 郭建平. 农作物低温冷害综合防御技术研究. 北京: 气象出版社, 1999: 158-164.
- [16] 郭建平, 庄立伟, 陈玥煜. 东北玉米热量指数预测方法研究(I)——热量指数与玉米产量. *灾害学*, 2009, 24(4): 6-10.
- [17] 王春乙, 郭建平. 农作物低温冷害综合防御技术研究. 北京: 气象出版社, 1999.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

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:100071	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