气候变化对中国农作物虫害发生的影响*

张 蕾[1] 霍治国[1**] 王 丽[1] 姜玉英[2]

([1]中国气象科学研究院, 北京 100081; [2]全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘 要 基于1961—2010年全国农区527个气象站点气象资料、全国病虫害资料以及农作物种植面积等资料,对全国虫害发生面积与气象因子采用相关分析法,分析了气象要素变化对虫害发生的影响。结果表明:气候变化背景下,年平均温度、平均降水强度分别以0.27 ℃·10 a^{-1}、0.24 mm·(d·10 a)$^{-1}$的速度增长,年日照时数以47.40 h·10 a^{-1}的速度减小;年降水量增长速率为0.14 mm·10 a^{-1},但波动较大;虫害发生面积率距平与平均温度、平均降水强度距平呈显著正相关,平均温度、平均降水强度分别每增加1 ℃、1 mm·d^{-1},虫害发生面积率增加0.648、0.713,虫害发生面积将增加0.96、1.06亿 hm^2次;虫害发生面积率距平与年日照时数距平呈显著负相关,其每降低100 h,虫害发生面积率增加0.40,虫害发生面积将增加0.59亿 hm^2次;总体上,虫害发生面积率距平与年降水量距平的关系不明显。虫害发生面积率距平与年平均小雨量、微雨量雨日数、小雨量雨日数距平呈显著负相关,3个因子分别每减少1 mm、1 d、1 d,虫害发生面积率增加0.014、0.066、0.052,发生面积将增加0.02、0.10、0.08亿 hm^2次。

关键词 气候变化; 虫害; 温度; 降水; 日照

中图分类号 P467 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)6-1499-09

Effects of climate change on the occurrence of crop insect pests in China.

ZHANG Lei[1], HUO Zhi-guo[1**], WANG Li[1], JIANG Yu-ying[2] ([1]*Chinese Academy of Meteorological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; [2]*National Agro-Technical Extension and Service Centre*, *Beijing* 100125, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(6): 1499-1507.

Abstract: Based on the 527 meteorological stations observation data as well as the diseases and pests data and planted crop areas data in China agricultural areas in 1961-2010, and by the method of correlation analysis, this paper analyzed the effects of the changes of meteorological elements on the occurrence of insect pests. Under the background of climate change, the mean annual air temperature and mean precipitation intensity increased at a rate of 0.27 ℃·10 a^{-1} and 0.24 mm·(d·10 a)$^{-1}$, respectively, while the annual sunshine hours decreased at a rate of 47.40 h·10 a^{-1}. The annual precipitation intensity increased at a rate of 0.14 mm·10 a^{-1}, but had great fluctuations. There were significant positive correlations between the rate anomaly of insect pests' occurrence area and that of mean annual air temperature and precipitation intensity. When the mean annual air temperature increased by 1 ℃, the increasing rate of insect pests' occurrence area would be 0.648, and the occurrence area would be increased by 0.96×10^8 hm^2·time; when the mean annual precipitation intensity increased by 1 mm·d^{-1}, the increasing rate of insect pests' occurrence area would be 0.713, and the occurrence area would be increased by 1.06×10^8 hm^2·time. The rate anomaly of insect pests' occurrence area had a significant negative correlation with that of annual sunshine hours. When the annual sunshine hours decreased by 100 h, the rate anomaly of insect pests' occurrence area would be increased by 0.40, and the occurrence area would be increased by 0.59×10^8 hm^2·time. Overall, the rate anomaly of insect pests' occurrence area had little correlation with that of annual precipitation, but significant negative correlations with the rate anomaly of mean annual small precipitation,

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006026)资助。

** 通讯作者 E-mail: huozhigg@cams.cma.gov.cn

收稿日期: 2011-12-29 接受日期: 2012-02-21

days of micro-precipitation, and days of small precipitation. When the mean annual small precipitation, days of micro-precipitation, and days of small precipitation decreased by 1 mm, 1 d, and 1 d, the rate anomaly of insect pests' occurrence area would be increased by 0.014, 0.066 and 0.052, and the occurrence area would be increased by 0.02×10^8, 0.10×10^8, and 0.08×10^8 hm^2 · time, respectively.

Key words: climate change; insect pests; temperature; precipitation; sunshine.

农作物病虫害是中国的主要自然灾害之一,具有突发性、普遍性和危害性3个显著特点(霍治国,2009)。据统计,全国农作物病虫害有1600多种,其中可造成严重为害的在100种以上,重大流行性、迁飞性病虫害有20多种,其中主要虫害有稻飞虱、白背飞虱、褐飞虱、蚜虫和棉铃虫等。气候变暖大背景下,农业种植制度发生改变(赵锦等,2010),农作物虫害的发生面积逐渐增加、危害程度不断加剧,对中国国民经济、尤其是对农业生产产生直接的重大影响,威胁国家的粮食生产安全。因此,开展气候变化对农作物虫害发生的影响研究,可为农业应对气候变化对虫害发生的影响,指导农田虫害防治提供科学依据。

目前有关气候变化对虫害影响的研究多是定性的、机理性的描述,或是部分区域、站点的针对部分甚至是单一虫害的量化研究,研究内容主要集中在两方面:1)虫害发生变化:气候变暖,尤其是暖冬的凸显,导致害虫全年可繁殖天数增加,越冬基数增加,越冬北界北移,向北迁出的时间提前,向南回迁的时间推迟,繁殖世代数增加,危害地理范围扩大,危害程度加剧。如在温度升高2.69 ℃的气候情景下,粘虫越冬北界将由33 °N地区向北移到36 °N一带,河北以南地区粘虫发生世代数增加1代(李淑华,1993);年平均气温增加1 ℃,可使福建水稻褐飞虱世代数增加0.8代(蔡文华和陈惠,2000)。气候变暖使得生物物种种群间的关系发生变化,打乱原有的关系链,导致害虫得不到控制而迅速暴发(Naidu *et al.*,1998),并使害虫与寄主植物同步性发生改变(陈瑜和马春森,2010)。2)虫害发生与气象环境因子关系:大气环流、气象条件、虫害三者之间有较好的相关关系,大气环流影响农区的气象条件,气象条件又影响虫害的发生发展(施能,1996;吴瑞芬等,2005;钱拴和霍治国,2007)。影响虫害的大尺度气候背景因子有南方涛动指数(Coakley,1997;Scherm & Yang,1998)、海温(赵圣菊和姚彩文,1989;Maelzer & Zalucki,2000)、厄尔尼诺事件(霍治国等,2002;毕晓丽等,2003)、副高(吴瑞芬等,2006;杨洪升等,2008)等。光、温、水等气象条件变化对虫害影响很大。温暖干燥的气象环境有利于青椒白粉虱和蓟马等虫害的发生(孙虹雨等,2009)。白背飞虱虫量与最低气温、平均气温、降水量、最高气温、日照时数等因子关系显著(黄保宏和雷鸣,2002;高苹等,2005;吕芬等,2007)。日均气温、最低温、积温、日照、降水量等气象因子的变化均在一定程度上有利于地区虫害的发生发展(白慧等,2009;刘明春等,2009;刘文栋等,2010)。

目前基本没有针对全国的基于长年代统计事实的虫害发生与气象因子关系的相关研究,因此本文对全国范围内虫害发生与气象因子之间的相关关系进行了探讨,从定量的角度分析全国虫害发生面积与气象因子之间的关系,旨在得到对全国虫害发生影响的关键气象因子及其对虫害的影响程度,为开展气候变化对农作物虫害影响的评估提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源

本文所用的气象资料来自国家气象信息中心的全国范围内527个气象台站(在站点选取时,从全国564个站点中,剔除了高山站、沙漠站、草原站,保留了农区的站点)的1961—2010年逐日气象资料,包括日平均气温、降水量、日照时数等资料。病虫害资料来自全国农业技术推广服务中心,包括1961—2010年全国虫害逐年发生面积、导致的粮食损失等。农作物面积、产量资料来自中国种植业信息网,包括1961—2010年逐年的农作物种植面积、总产量等。

1.2 资料处理方法

虫害的发生、发展、流行与气象条件的关系十分密切,尤其是受温度、降水、日照条件的影响甚大。本文分析时选取的气象因子主要有温度、降水、日照时数,同时引入年平均降水强度(其值为年降水量/年雨日数,在有些文献中亦称雨日系数(王向阳等,2002))这一复合因子。

对气象因子分析时采用因子的距平值,以便于比较,其计算方法如下:设 x 因子第 i 个站点第 j 年表示为 x_{ij}($i=1,2,\cdots,527$;$j=1,2,\cdots,50$)。

则第 j 年 x 因子的全国平均值:

$$x_j = \sum_{i=1}^{527} x_{ij}/527 \quad (1)$$

x 因子的 50 年平均值为:

$$\bar{x} = \sum_{j=1}^{50} x_j/50 \quad (2)$$

第 j 年 x 因子的距平为:

$$x'_j = x_j - \bar{x} \quad (3)$$

为消除农作物种植面积对虫害发生面积的影响,将虫害发生面积转换为虫害发生面积率(即全国虫害的发生面积率=当年全国虫害发生面积/当年农作物种植面积),并得出历年虫害发生面积率距平序列。在分析过程中,同时考虑全国虫害发生面积率距平与全年和不同界限温度下气象因子距平之间的关系,并考虑了全国虫害发生面积率距平与不同等级降水量距平及其雨日数距平的相关关系。

2　结果与分析

2.1　全国虫害发生面积率变化

从近 50 年来虫害发生面积率变化来看(图 1),虫害发生面积率呈显著的上升趋势,平均以 0.27 · 10 a^{-1}的速度增加。从虫害发生面积率年代际变化来看(图 1),虫害发生面积率从 20 世纪 60 年代开始呈逐年代显著的增加趋势,2001—2010 年虫害发生面积率比 60 年代增加近 1.12。

2.2　温度变化对虫害发生的影响

2.2.1　平均温度变化　从平均温度的变化来看(图2a),近50年来全国平均温度呈明显的上升趋势,平均以 0.27 ℃ · 10 a^{-1}的速度增长,并达到了显著性水平($P<0.01$)。从 20 世纪 80 年代后期开始平均温度距平由负转正,温度增暖明显。全国虫害发生面积率距平由负转正的时期基本上与平均温度距平同步,也是在 80 年代后期。从平均温度距平的年代际变化情况来看(表 1),全年的平均温度从 20 世纪 60 年代开始呈逐年代增加,60 年代最低,2001—2010 年最高,比 60 年代高出近 1.09 ℃。

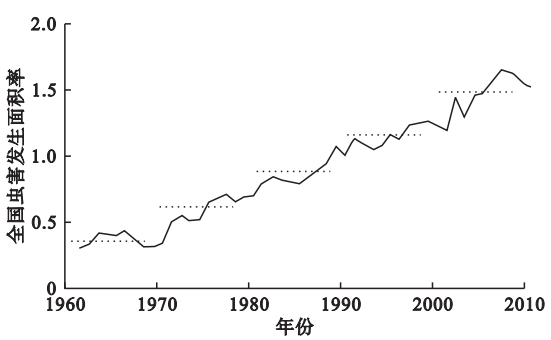


图 1　全国虫害发生面积率时间序列图

Fig. 1　National insect pests occurrence area rate time series

点线为各年代均值。

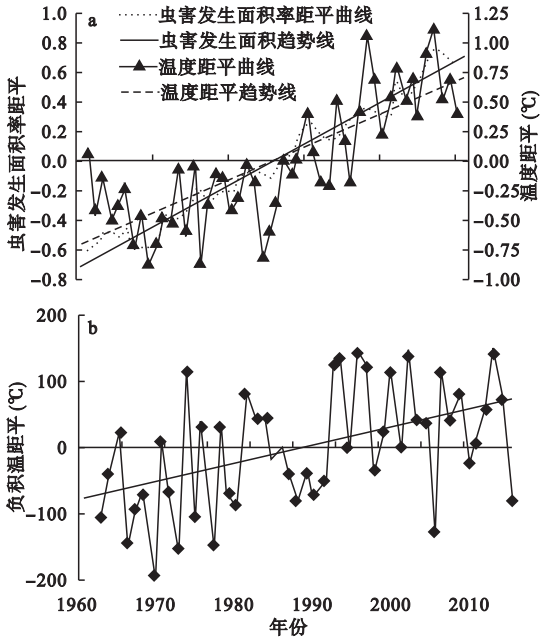


图 2　虫害发生面积率距平和温度因子距平时间序列

Fig. 2　Time series of insect pests occurrence area rate anomaly and temperature factors anomaly

a 为虫害发生面积率距平与温度距平时间序列;b 为负积温距平时间序列。

另外,从负积温距平的年际变化情况看(图2b),年负积温以 29.9 ℃ · 10a^{-1}的速度呈上升趋势,从 20 世纪 80 年代中后期开始,负积温距平由负值转为正值,低温减缓,暖冬明显。

2.2.2　温度变化的影响　在虫害发生的环境条件中,温度的影响甚大,温度的高低直接影响了害虫发育的快慢、迁入迁出时期的迟早以及种群数量的消长。从图 3a 和表 2 可以看出,全国虫害发生面积率距平与温度距平间呈显著的正相关关系,近 50 年平均温度为 11.37 ℃,并处于升高的趋势下,平均温度每升高 1 ℃,全国虫害发生面积率增加 0.648,以 50 年平均的全国种植面积为基础(1.49 亿 hm^2,下同),全国虫害发生面积将增加 0.96 亿 hm^2次。

不同界限温度(0 ℃、5 ℃、10 ℃、15 ℃、20 ℃、25 ℃、30 ℃、35 ℃以及<0 ℃)可以反映不同地区作

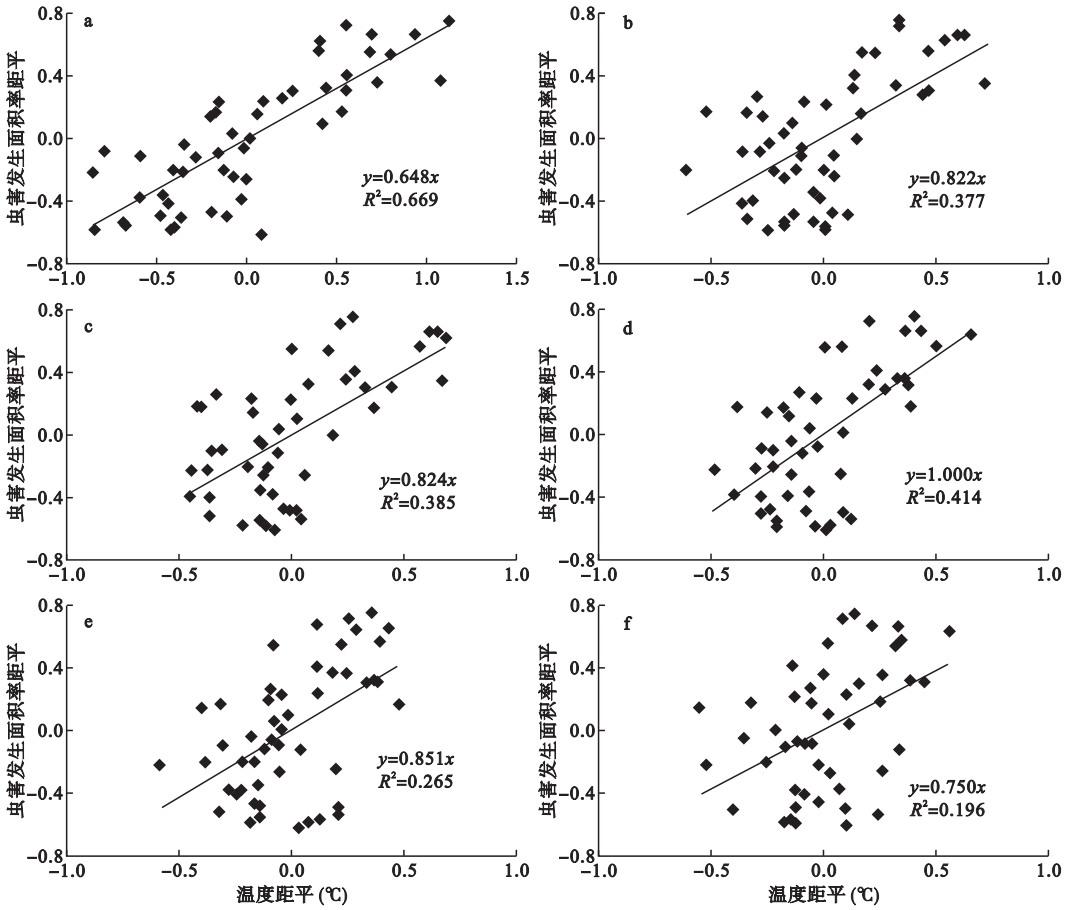


图3 虫害发生面积率距平与平均温度距平关系

Fig. 3 Correlation between insect pests occurrence area rate anomaly and average temperature anomaly

a 为年平均温度距平;b 为稳定通过0 ℃平均温度距平;c 为稳定通过5℃平均温度距平;d 为稳定通过10 ℃平均温度距平;e 为稳定通过15 ℃平均温度距平;f 为稳定通过20℃平均温度距平。

物生长期内的热量条件,具有一定的生物学意义,对农事活动有指导性作用(宋水华和宋良娈,2009)。从稳定通过不同界限情况下全国虫害发生面积率距平与平均温度距平的关系看(图3),可以发现,在温度适宜的条件下(稳定通过0 ℃、5 ℃、10 ℃、15 ℃、20 ℃),全国虫害发生面积率与平均温度的关系密切,且达到0.01 的显著性水平(表2),平均温度每升高1℃,全国虫害发生面积率增加分别为0.822、0.824、1.000、0.851、0.750,全国虫害发生面积将分别增加1.22、1.23、1.48、1.27、1.12 亿 hm^2次,表明在适宜的温度范围内,随着温度的升高,害虫的发育速度加快,生育期缩短,危害期延长,种群数量随之增加,发生危害的地理范围扩大,危害程度呈明显加重趋势。

当温度高于25 ℃时,全国虫害发生面积率与平均温度的关系并不显著,且随着温度的升高,这种关系越不明显,相关系数越来越低,即高温对高温敏感型的害虫具有一定的抑制。其原因可能是在高温条件下,尤其温度高于30 ℃时,部分害虫成虫的生殖力低,产卵量少,死亡率高,若虫的存活率降低,影响了害虫种群数量的增长(侯婷婷等,2004;谢伟忠,2005)。高温抑制可以由报道事实验证:在18 ~ 30 ℃范围内,白背飞虱的若虫和全世代发育速度、成活率随温度升高呈Logistic 曲线变化趋势,孵化率较高,当温度达到35 ℃时,孵化率下降,若虫陆续死亡,若虫和成虫对温度要求不同(霍治国,2009);2001 年北方地区出现大范围的高温天气,尤其在5月中下旬出现了大范围日最高气温达34 ~ 38 ℃的晴热高温天气,限制了麦蚜的严重发生(霍治国等,2002);当温度超过27.5 ℃时,南美洲斑潜蝇种群的内禀增长率、净增殖率等均急剧下降(周亦红,2001)。在<0 ℃的低温情况下,全国虫害发生面积率与平均温度的关系达到0.1 显著水平,但没有达到极著性水平,一般低温对虫害的发生和繁殖不利,

表 1　气象因子距平年代际变化

Table 1　Interdecadal change of meteorological factor anomaly

年代	温度距平	降水距平	降水强度距平	日照时数距平
60	−0.417	−3.129	−0.441	107.338
70	−0.342	−2.834	−0.355	58.609
80	−0.179	1.539	0.042	−27.702
90	0.273	14.409	0.355	−62.479
2001−2010	0.671	−9.989	0.396	−75.766

表 2　全国虫害发生面积率距平与气象因子距平的回归系数(影响系数)分析

Table 2　Regression coefficient analysis between pest occurrence area anomaly and meteorological factors anomaly

		虫害发生面积率距平
平均温度距平	年平均温度距平	0.648**
	<0 ℃平均温度距平	0.154*
	稳定通过 0 ℃平均温度距平	0.822**
	稳定通过 5 ℃平均温度距平	0.824**
	稳定通过 10 ℃平均温度距平	1.000**
	稳定通过 15 ℃平均温度距平	0.851**
	稳定通过 20 ℃平均温度距平	0.750**
	稳定通过 25 ℃平均温度距平	0.504
	稳定通过 30 ℃平均温度距平	0.686
	稳定通过 35 ℃平均温度距平	0.503
不同等级降水雨量距平	小雨雨量距平	−0.014**
	中雨雨量距平	0.000
	大雨雨量距平	0.004*
	暴雨雨量距平	0.008*
不同等级降水雨日数距平	微雨雨日数距平	−0.066**
	小雨雨日数距平	−0.052**
	中雨雨日数距平	−0.021
	大雨雨日数距平	0.191
	暴雨雨日数距平	0.616
年日照时数距平		−0.004**
年降水强度距平		0.713**

** 达到 0.01 的显著性水平,* 达到 0.05 的显著性水平。

低温造成害虫发育迟缓或停止、新陈代谢降低、繁殖下降、种群数量下降(冯崇川等,1990),但由于气候变暖,暖冬明显,使得低温对虫害的抑制有所减弱(贺京等,2010),全国虫害发生面积仍然有所增加。

2.3　年降水量变化对虫害发生的影响

2.3.1　年降水量变化　从 50 年全国的年降水量变化情况来看(图 4a),年降水量整体上呈微弱的上升趋势,变化速率为 0.14 mm · 10 a^{-1},但年际间降水波动较大。从降水量年代际变化看(表 1),年降水量从 20 世纪 60 年代开始呈增加趋势,90 年代最多,比 60 年代多出 17.54 mm,2001—2010 年年降水量显著减小,比 90 年代减少了近 24.40 mm。

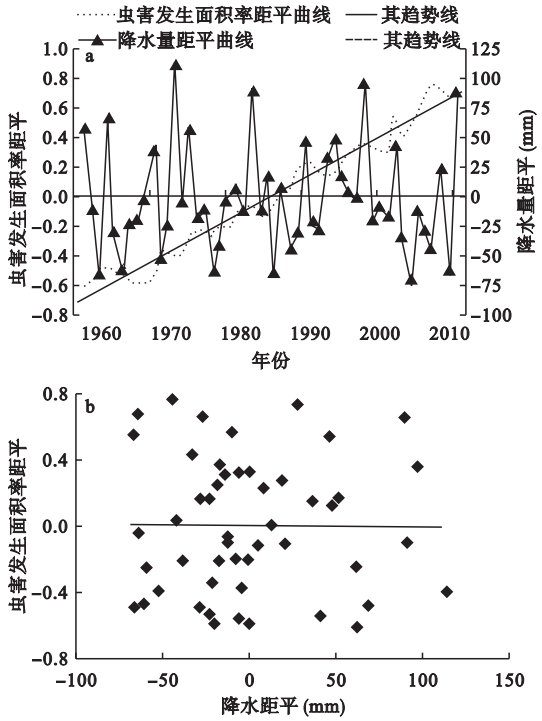


图 4　虫害发生面积率距平与降水量距平时间序列及其两者关系

Fig. 4　Insect pests occurrence area rate anomaly and precipitation anomaly time series and their correlation

a 为虫害发生面积率距平与降水量距平时间序列,b 为虫害发生面积率距平与降水距平关系。

2.3.2　年降水量变化的影响　降水影响害虫的迁飞能力、体重变化、虫口数量、存活率及发生程度,有利时起到加速促进作用,不利时则产生抑制作用(叶彩玲等,2005)。从图 4b 可以看出,由于近 50 年降水量年际波动较大,年降水量整体上维持在平均水平,从总体上看,全国虫害发生面积率距平与年降水量距平的关系不明显。

由于降水的波动较大,因而考虑不同等级降水对全国虫害发生的影响。其中,雨量等级的划分参考相应的文献(陈晓燕等,2010),由于我国东西部差异很大,故针对不同年降水量的站点,在这里划分:当年降水量≥500 mm 时,分为微雨(<0.1 mm)、小雨([0.1 mm, 9.9 mm])、中雨([10 mm, 24.9 mm])、大雨([25 mm, 49.9 mm])、暴雨(≥50 mm);当年降水量处于[45.0 mm, 499.9 mm]时,将上述分级标准乘以$\sqrt{年降水量/500}$;当年降水量<45.0 mm 时,分为微雨(<0.1 mm)、小雨([0.1 mm, 2.9 mm])、中雨([3.0 mm, 7.4 mm])、大雨([7.5 mm, 14.9 mm])、暴雨(≥15.0 mm)。

从全国虫害发生面积率距平与不同等级降水量

距平关系(图5a,仅给出小雨量情况,其余等级雨量情况图略)可以看出,全国虫害发生面积率与年平均小雨量呈负相关,随着年平均小雨量的减少而增加,且通过0.01显著性检验(表2),在50年平均小雨量呈下降趋势下,平均小雨量每减少1 mm,虫害发生面积率增加0.014,虫害发生面积将增加0.02亿 hm^2次,表明小雨量的减少对全国虫害的发生发展有利,这可以解释为小雨易引起害虫的自发流行,即降水偏少有利于部分害虫的繁殖加快、种群数量增长,从而导致虫害发生程度加重、面积扩大。这与一些观测事实相符:如雨量偏少,有利于麦蚜的大发生(谭江瑞和范艳琴,2004);西宁地区1995年4—7月的降雨量比常年同期偏少50%左右、雨日偏少

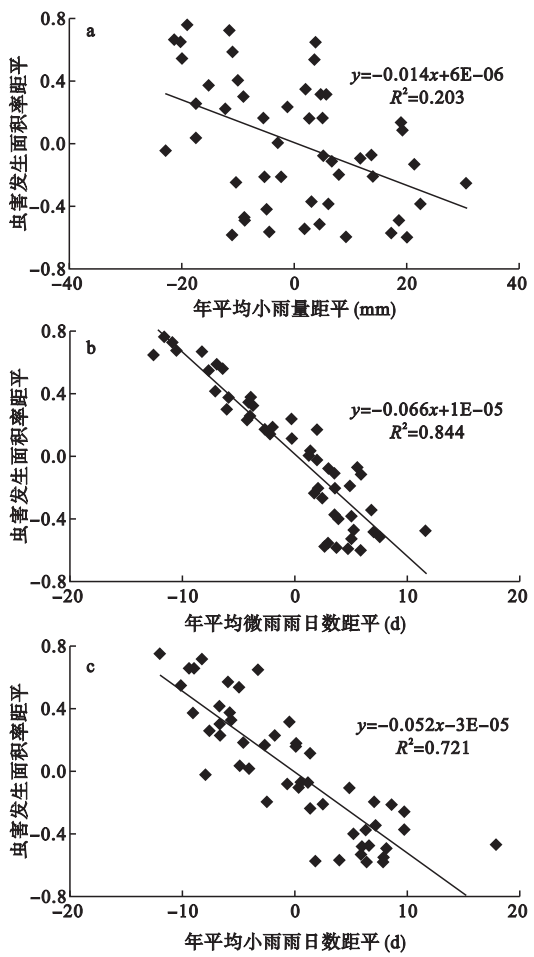


图5 虫害发生面积率距平与小雨量距平、微雨及小雨雨日数距平关系

Fig. 5 Correlation between insect pests occurrence area rate anomaly and average small rainfall anomaly and number of micro-rainfall days anomaly and small rainfall days anomaly

a为年平均小雨量距平,b为年平均微雨雨日数距平,c为年平均小雨雨日数距平。

7.6 d,导致蚕豆蚜虫种群增长期从4月下旬延续到7月中旬,百株蚜量最低为5322头,最高达27293头,最低虫株率为43%,最高虫株率达88%(祁德富,1999);甘肃酒泉市5—9月降水偏少使得棉蚜虫株率增大,6—7月降水少导致棉铃虫发生加重(段桂云等,2008)。

随着降水量等级的增加,这种关系出现了明显的变化。中雨量的变化对全国虫害发生的影响很小,虫害发生面积率基本维持在多年平均水平上下波动。和小雨量的效应不同,随着大雨、暴雨雨量的增加,全国虫害发生面积率呈一定的上升趋势,50年的大雨雨量、暴雨雨量呈上升趋势,年平均大雨雨量、暴雨雨量每增加1 mm,虫害发生面积率分别增加0.004、0.008,虫害发生面积将分别增加59.5、118.9万 hm^2次。这是由于雨量大,有利于部分迁飞性害虫的大量下沉、迁入降落,加大了地区初始虫源基数(朱明华等,1995;侯婷婷等,2003),其影响事实主要有稻纵卷叶螟、褐飞虱、白背飞虱、黏虫等,如耒阳市2006年6月14日降暴雨(雨量达89.1 mm),6月15日测得每 hm^2稻纵卷叶螟蛾数量突增达8667头(王秋芽等,2008)。

从发生不同等级降水量的雨日数来考虑雨日数对全国虫害发生面积率的影响(图5b、5c),结果表明:全国虫害发生面积率与微雨量雨日数、小雨量雨日数的关系密切,均呈现显著的负相关关系,即雨日数的减少有利于害虫的生殖发展,危害加重。近50年微雨、小雨雨日数呈减少的趋势,微雨、小雨雨日数分别每减少1 d,虫害发生面积率将分别增加0.066、0.052,虫害发生面积将分别增加0.10、0.08亿 hm^2次。中雨雨日数与虫害发生面积率也呈负相关,但关系不明显。与不同等级降水量的影响类似,随着大雨雨日数、暴雨雨日数的增加,有利于部分害虫的迁入、种群数量的增长、为害程度加重,全国虫害发生面积率呈一定的上升趋势,如大雨频次高,有利于稻飞虱的降落危害(霍治国等,2002);仪征市2003年6月下旬到7月下旬多次出现过程性降水,雨日多、雨量大,导致稻纵卷叶螟四(2)代成虫迁入期提早、迁入量大(奚本贵等,2008)。但是这种相关关系并不显著,其原因是随着大雨、暴雨雨日数的增加,由于降雨强度较大、时间长,对部分害虫(如小型害虫及卵)具有一定的冲杀左右,使害虫的死亡率明显增加、虫口密度显著降低,影响对象有蚜虫、叶蝉卵等。2001年浙江仙居县白塔镇下崔村早

稻田灰飞虱定点调查结果显示:6 月 7 日百丛虫量为 1790 头,其中高龄若虫占 58.1%、成虫占 1.1%;6 月 10—13 日连续降雨达 124.0 mm,6 月 14 日田间虫量大幅度下降,百丛虫量为 1100 头,其中低龄若虫占 31.8%,成虫占 18.2%;6 月 17—26 日又连续降雨达 261.4 mm,6 月 27 日百丛虫量降为 760 头,只占 6 月 7 日虫量的 42.5%(沈建新,2008),强降水的冲杀效应明显。

2.4　年日照时数变化对虫害的影响

2.4.1　年日照时数变化　从年日照时数长年代变化情况(图 6a)可以看出,近 50 年日照时数呈明显的下降趋势,平均以 47.40 h · 10 a^{-1} 的速度减小。年日照时数距平由负转正发生在 20 世纪 80 年代中期,早于虫害发生面积率距平由负转正的时期。从日照时数的年代际变化看(表 1),年日照时数从 20 世纪 60 年代开始呈逐年代减少趋势,60 年代比 2001—2010 年高出 183.10 h。

2.4.2　年日照时数变化的影响　从全国虫害发生面积率距平与年日照时数距平关系图(图 6b)可以看出,两者呈显著的负相关关系,表明日照的减少对虫害的发生有利,近50年年平均日照时数为 2287.26 h,在日照时数呈下降趋势下,年平均日照时数每降低 100 h,全国虫害发生面积率增加 0.40,全国虫害发生面积将增加 0.59 亿 hm^2 次。

从稳定通过不同界限温度条件下全国虫害发生面积率距平与日照时数距平的关系来看,温度≤25 ℃下,各界限温度下全国虫害发生面积率距平均与日照时数距平呈显著的负相关关系。当出现高温时(温度超过 30 ℃),虽然存在负相关关系,但这种关系不显著,说明高温对虫害的发生具有一定的抑制作用,其原因可能是在高温下,光照强烈,使得害虫生长发育受到阻碍,甚至出现死亡(霍治国,2009)。

2.5　年平均降水强度变化对虫害的影响

2.5.1　年平均降水强度变化　从年平均降水强度的时间序列变化图看(图 7a),近 50 年全国的年平均降水强度呈显著的上升趋势,平均以 0.24 mm · (d · 10 a)$^{-1}$ 的速度增加,表明随着气候变化,日均雨量呈增加的趋势。平均降水强度距平由负转正的时期发生在 20 世纪 80 年代中期,其稍早于全国虫害发生面积率距平由负转正的时期。从降水强度的年代际变化来看(表 1),年降水强度从 20 世纪 60 年代开始逐年代增加,到2001—2010年最大,比60

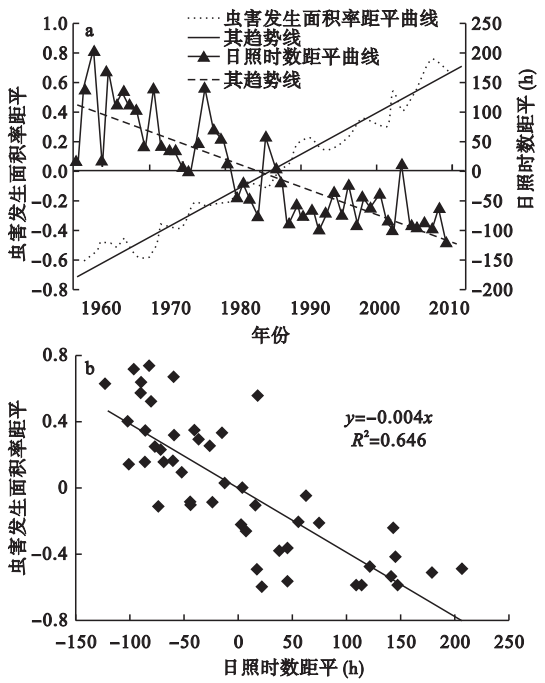


图 6　虫害发生面积率距平与日照时数距平时间序列及其两者关系

Fig. 6　Insect pests occurrence area rate anomaly and sunshine hours anomaly time series and their correlation

a 为虫害发生面积率距平与日照时数距平时间序列;b 为虫害发生面积率距平与日照时数距平关系。

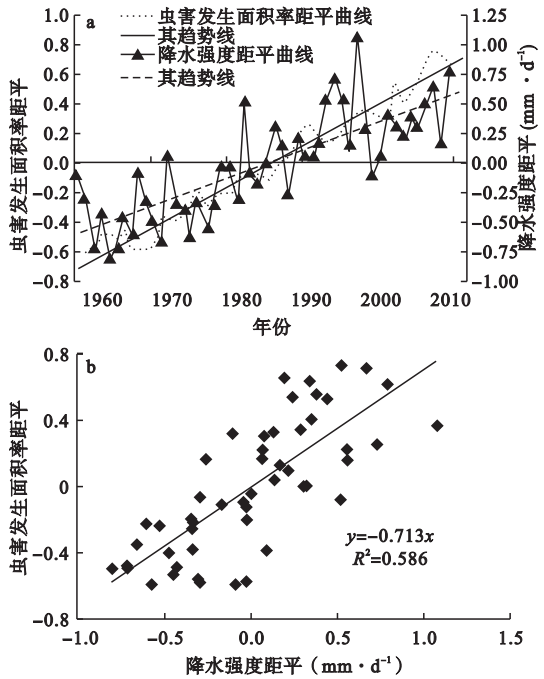


图 7　虫害发生面积率距平与降水强度距平时间序列及其两者关系

Fig. 7　Insect pests occurrence area rate anomaly and average precipitation intensity anomaly time series and their correlation

a 为虫害发生面积率距平与降水强度距平时间序列,b 为虫害发生面积率距平与降水强度距平关系。

年代高出0.84 mm·d^{-1}。

2.5.2 年平均降水强度的影响 从图7b可以看出,全国虫害发生面积率距平与平均降水强度距平呈正相关关系,且通过了0.01的显著性检验(表2),即每个降雨日雨量的增加,对虫害的发生具有正效应。近50年平均降水强度为6.59 mm·d^{-1},在降水强度呈上升的趋势下,平均降水强度每增加1 mm·d^{-1},全国虫害发生面积率增加0.713,全国虫害发生面积将增加1.06亿hm^{2}次。

从稳定通过不同界限温度条件下全国虫害发生面积率距平与年平均降水强度距平的关系来看(图略),除了<0℃下两者关系不显著外,全国虫害发生面积率距平与各界限温度下年平均降水强度距平均呈显著的正相关关系。

3 讨 论

本文系首次提出全国农区虫害发生与气象因子的关系,得到了气候变化背景下气象因子变化对虫害发生影响的量化事实。近50年来全国虫害发生面积不断增加,平均速率达0.27·10 a^{-1}。年平均温度以0.27 ℃·10 a^{-1}的速度增长;年降水量增加速率为0.14 mm·10 a^{-1},但波动较大;年日照时数以47.40 h·10 a^{-1}的速度减小;年平均降水强度以0.24 mm·(d·10a)$^{-1}$的速度增加。

从年平均温度、稳定通过各界限温度的平均温度、不同等级降水、日照时数、平均降水强度的角度,定量分析因子变化对虫害的影响,得出气象因子变化均在不同程度上有利于虫害发生,与已有的定性研究结论一致。虫害发生与平均温度、平均降水强度呈显著正相关,与日照时数、不同等级雨量及其雨日关系(尤其是小雨量及其雨日、微雨量日数)呈显著负相关。平均温度每升高1 ℃,全国虫害发生面积率增加0.648,虫害发生面积将增加0.96亿hm^{2}次。在温度适宜条件(稳定通过0 ℃、5 ℃、10 ℃、15 ℃、20 ℃)下,平均温度每升高1 ℃,虫害发生面积率分别增加0.822、0.824、1.000、0.851、0.750,虫害发生面积将分别增加1.22、1.23、1.48、1.27、1.12亿hm^{2}次。从总体上看,全国虫害发生面积率距平与年降水量距平的关系不明显。年平均小雨雨量、微雨量雨日数、小雨量雨日数距平分别每减少1 mm、1 d、1 d,虫害发生面积率增加0.014、0.066、0.052,虫害发生面积将增加0.02、0.10、0.08亿hm^{2}次。年日照时数每降低100 h,虫害发生面积率增加0.40,虫害发生面积将增加0.59亿hm^{2}次。年平均降水强度每增加1 mm·d^{-1},虫害发生面积率增加0.713,虫害发生面积将增加1.06亿hm^{2}次。

本文的结果是基于全国范围虫害发生面积与气象因子的统计相关关系得出的,主要是考虑光、温、水等气象环境要素变化对全国虫害的影响。不同环境要素的变化,尤其是降水的变化,对区域虫害或者单一虫害的影响比较复杂,这可能导致结果与部分研究结论存在一定差异,例如稻纵卷叶螟蛾年总诱量与年降雨量呈正相关(谭乾开等,2009);虫害发生面积与年降水量呈显著负相关(王娟和姬兰柱,2007);黔东南虫害发生面积与春季降水量呈显著的负相关、与夏季降水量呈显著的正相关(白慧等,2009)。各种虫害发生、发展、流行的要求不尽相同,因此气象环境条件对不同虫害发生发展的利弊程度不同,并不是对所有虫害的发生发展都有利,导致得到的相关结论亦与其他学者的结论存在差异,如小雨的减少对早稻稻飞虱发生发展不利(李懿静等,2007)、日照的减少能抑制贺州水稻虫害发展(刘文栋等,2010)。因此,基于全国范围的结果和区域研究结果存在差异是合理的。

气候变暖拓宽了有害生物的适生区,使得发生范围扩大,在向高海拔区和两极扩展(张润杰和何新凤,1997;张国庆,2011)。本文分析得到全国虫害发生面积在不断的增加,一定程度上反映虫害的发生范围扩大,但没有分析虫害发生的界限扩展问题。因此,具体的分地区、分作物、分害虫种类的这种统计分析,以及虫害发生的界限扩展分析等问题有待下一步研究。

参考文献

白 慧, 梁 平, 杨胜忠, 等. 2009. 气候变化对农作物病虫害发生发展趋势的影响. 贵州农业科学, **37**(5): 47-49.

白 慧, 梁 平, 杨胜忠, 等. 2009. 气候变化对黔东南州农作物病虫害的影响分析. 贵州气象, **33**(增刊): 13-15.

毕晓丽, 徐永兴, 洪 伟, 等. 2003. 福建省马尾松毛虫发生与ENSO事件的关系. 福建林学院学报, **23**(1): 44-47.

蔡文华, 陈 惠. 2000. 气温变化对福建褐稻虱发生与危害的影响. 福建农业学报, **15**(1): 59-63.

陈 瑜, 马春森. 2010. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, **30**(8): 2159-2172.

陈晓燕, 尚可政, 王式功, 等. 2010. 近50年中国不同强度降水日数时空变化特征. 干旱区研究, **27**(5): 766-772.

段桂云, 段文广, 田庆明, 等. 2008. 酒泉市棉花病虫害发生规律与气象条件的初步分析. 沙漠与绿洲气象, **2**(1): 38-40.
冯崇川, 相建业, 陈银潮, 等. 1990. 关中小麦蚜虫数量动态分析. 植物保护, **16**(增刊): 16-17.
高　苹, 武金岗, 吴洪颜, 等. 2005. 气候条件对白背飞虱发生危害程度的影响. 植物保护, **31**(2): 54-60.
贺　京, 陈　涛, 方　丽, 等. 2010. 衡阳水稻病虫害特点及其与气象相关性研究. 安徽农业科学, **38**(25): 13812-13813, 13844.
侯婷婷, 霍治国, 李世奎, 等. 2003. 影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因. 自然灾害学报, **12**(3): 142-148.
侯婷婷, 霍治国, 吴瑞芬, 等. 2004. 气温对福清地区晚稻褐飞虱种群消长的影响效应. 中国农业气象, **25**(3): 28-32.
黄保宏, 雷　鸣. 2002. 凤阳县白背飞虱发生规律及综合防治技术. 昆虫知识, **39**(4): 268-272.
霍治国, 陈　林, 叶彩玲, 等. 2002. 气候条件对中国水稻稻飞虱为害规律的影响. 自然灾害学报, **11**(1): 97-102.
霍治国, 钱　拴, 王素艳, 等. 2002. 2001 年农作物病虫害发生流行的气候影响评价. 安全与环境学报, **2**(3): 3-7.
霍治国, 叶彩玲, 钱　拴, 等. 2002. 气候异常与中国小麦白粉病灾害流行关系的研究. 自然灾害学报, **11**(2): 85-90.
霍治国. 2009. 农业和生物气象灾害. 北京: 气象出版社.
李淑华. 1993. 气候变暖对病虫害的影响及防治对策. 中国农业气象, **14**(1): 41-43, 47.
李懿静, 李春光, 林　英, 等. 2007. 博白县 2007 年早稻稻飞虱大发生原因分析及防治策略. 广西植保, **20**(增刊): 69-71.
刘明春, 蒋菊芳, 魏育国, 等. 2009. 气候变暖对甘肃省武威市主要病虫害发生趋势的影响. 安徽农业科学, **37**(20): 9522-9525, 9531.
刘文栋, 葛意活, 何　燕. 2010. 气候变化对水稻病虫害发生发展趋势的影响. 中国农学通报, **26**(24): 243-246.
吕　芬, 周　平, 黄新动, 等. 2007. 白背飞虱灯下虫量与气象要素关系的相关分析. 昆虫知识, **44**(1): 48-53.
祁德富. 1999. 气候因素与苜蓿蚜种群数量变化规律初探. 青海大学学报(自然科学版), **17**(3): 30-32.
钱　拴, 霍治国. 2007. 大气环流对中国稻飞虱危害的影响及其预测. 气象学报, **65**(6): 994-1002.
沈建新. 2008. 2005 年水稻黑条矮缩病轻发原因剖析. 浙江农业科学, (1): 97-99.
施　能. 1996. 北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气候变化的关系. 气象学报, **54**(6): 675-683.
宋水华, 宋良娈. 2009. 界限温度初终日期的确定及意义. 沙漠与绿洲气象, **3**(增刊): 113-114.
孙虹雨, 孙立德, 马成芝, 等. 2009. 冬季气候变暖对日光温室大棚病虫害发生的影响及其防御对策. 安徽农业科学, **37**(18): 8558-8559, 8662.
谭江瑞, 范艳琴. 2004. 运城地区小麦病虫的发生与气候条件之间的关系. 山西气象, (4): 11-13.
谭乾开, 周荣斌, 莫小飞, 等. 2009. 普通黑光灯对稻纵卷叶螟和稻飞虱的诱虫量与气象因子的相关分析. 气象研究与应用, **30**(2): 53-55.
王　娟, 姬兰柱. 2007. 黑龙江大兴安岭地区森林害虫发生面积与气象因子的关系. 生态学杂志, **26**(5): 673-677.
王秋芽, 刘思乡, 谢　炜, 等. 2008. 耒阳市稻纵卷叶螟重发原因分析及防治对策. 湖南农业科学, (6): 88-89, 114.
王向阳, 刘光荣, 黄　娟, 等. 2002. 麦田天敌中长期预测模型的研究. 安徽农业科学, **30**(5): 747-749, 758.
吴瑞芬, 霍治国, 卢志光, 等. 2005. 蝗虫发生的气象环境成因研究概述. 自然灾害学报, **14**(3): 66-73.
吴瑞芬, 霍治国, 卢志光. 2006. 我国东亚飞蝗发生的气候背景及长期预测. 自然灾害学报, **15**(4): 71-78.
奚本贵, 姚满昌, 张　桥, 等. 2008. 2000-2007 年仪征市稻纵卷叶螟的发生特点及治理对策探讨. 农技服务, **25**(2): 90-91.
谢伟忠. 2005. 温湿度对广东阳春市马尾松毛虫种群的影响. 中国森林病虫, **24**(4): 17-19.
杨洪升, 季　荣, 王　婷. 2008. 新疆蝗虫发生的大气环流背景及长期预测. 生态学杂志, **27**(2): 218- 222.
叶彩玲, 霍治国, 丁胜利, 等. 2005. 农作物病虫害气象环境成因研究进展. 自然灾害学报, **14**(1): 90-97.
张国庆. 2011. 气候变化对生物灾害发生的影响及对策. 现代农业科技, (1): 318-321.
张润杰, 何新凤. 1997. 气候变化对农业害虫的潜在影响. 生态学杂志, **16**(6): 36-40.
赵　锦, 杨晓光, 刘志娟, 等. 2010. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响. Ⅱ. 南方地区气候要素变化特征及对种植制度界限可能影响. 中国农业科学, **43**(9): 1860-1867.
赵圣菊, 姚彩文. 1989. 小麦赤霉病流行程度海温预报模式的研究. 植物病理学报, **19**(4): 229-234.
周亦红, 姜卫华, 赵志模, 等. 2001. 温度对美洲斑潜蝇及南美斑潜蝇种群增长的影响. 生态学报, **21**(8): 1276-1284.
朱明华, 陈光玉, 田茂仁, 等. 1995. 白背飞虱种群动态研究. 昆虫知识, **27**(5): 257-260.
Coakley SM. 1979. Climate variability in the Pacific Northwest and its effect on stripe rust disease of winter wheat. *Climatic Change*, **2**: 33-51.
Maelzer DA, Zalucki MP. 2000. Long range forecasts of the numbers of *Helicoverpa punctigera* and *H. armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia using the southern oscillation index and the sea surface temperature. *Bulletin of Entomological Research*, **90**: 133-146.
Naidu R, Kookana RS, Baskaran S. 1998. Pesticide dynamics in the tropical soil-plant ecosystem: Potential impacts on soil and crop quality. Seeking Agricultural Produce Free of Pesticide Residues// Proceedings of an International Workshop, 17-19 February 1998, Yogyakarta, Indonesia. *ACIAR Proceedings Series*, **85**: 171-183.
Scherm H, Yang XB. 1998. Atmospheric teleconnection patterns associated with wheat stripe rust disease in North China. *International Journal of Biometeorology*, **42**: 28-33.

作者简介　张　蕾,男,1987 年生,硕士研究生,主要从事农业和生物气象灾害监测预警与风险评估。E-mail: lei_z2011@163.com

责任编辑　李凤芹