

北半球 500 hPa 高度场遥相关指数对我国草地 螟成虫物候期与幼虫发生面积的影响^{*}

唐继洪 罗礼智^{**} 江幸福 张 蕾 黄绍哲

(中国农业科学院植物保护研究所 植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100193)

摘 要 北半球 500 hPa 高度场的遥相关指数(遥相关指数)是一个综合了气温、降水以及气压等众多气象因素的气候变化指数,很多生物学现象都与其有关;为了探究遥相关指数是否对我国的草地螟的发生危害有影响,作者分析了我国草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 成虫物候期及幼虫发生面积的变化趋势及两者与遥相关指数的相关关系,结果表明:我国草地螟成虫始见期年际间有显著提前的趋势,平均每年提前 0.40 d,与 1—5 月极地—欧亚型遥相关指数均值(POL_{1-5})相关性最大;终见期有显著延后的趋势,平均每年延后 1.31 d,与 6—10 月东太平洋型遥相关指数均值($EP-NP_{6-10}$)相关性最大;全国草地螟幼虫发生面积年际间有显著增长的趋势,平均每年增长 57.07 km²,与 1—10 月东大西洋型遥相关指数均值(EA_{1-10})相关性最大。

关键词 草地螟, 始见期, 终见期, 幼虫发生面积, 北半球遥相关指数

Effect of northern hemisphere teleconnection pattern indices of 500 hPa height field on phenology of moth and damage area of larvae of *Loxostege sticticalis*

TANG Ji-Hong LUO Li-Zhi^{**} JIANG Xing-Fu ZHANG Lei HUANG Shao-Zhe

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of
Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract The northern hemisphere's 500 hPa height field teleconnection pattern indices integrate various meteorological factors such as temperature, precipitation and air pressure. Many biological phenomena have been reported to be related to these indices. In order to find out whether these indices affect the occurrence and crop damage caused by *Loxostege sticticalis* L., we tested trends in the phenology of annual moth occurrence and damage caused by its larvae and analyzed correlations between these and the indices in China. The results indicate that the date on which the first *L. sticticalis* moth was caught (FMCD) displayed a significant advance trend of 0.40 d per year on average, and had a maximum correlation coefficient with a mean POL value from Jan. to May. The date on which the last moth was caught (LMCD) took on a significant postponed trend of 1.31 d per year on average, and had a maximum correlation coefficient with a mean value of $EP-NP$ from Jun. to Oct. The area subject to damage by *L. sticticalis* larvae had a significant increasing trend of 57.07 km², and a maximum correlation coefficient with a mean value of EA from Jan. to Oct.

Key words *Loxostege sticticalis*, first moth caught dates, last moth caught dates, damage area of larvae, northern hemisphere teleconnection pattern

大气中的遥相关是指空间距离相隔数千公里以上的 2 个地点的气象要素如海平面气压、降水、气温以及等压面位势高度等之间存在显著的相关

性(陶祖钰,1988)。而遥相关指数则用来衡量这种遥相关关系的强弱程度。而对于具体的每个遥相关指数,它们都能反应相关地域的气候变化的

^{*} 资助项目:国家农业行业科技(201003079, 200903051)、国家自然科学基金(31071677, 3100850)、国家转基因重大专项(2009ZX08011-018B)。

^{**} 通讯作者, E-mail: lzluo@ippcaas.cn

收稿日期:2011-03-07, 接受日期:2011-05-16

一些情况。我国处于北半球,北半球的遥相关指数能够在一定程度上反应我国气候变化以及我国气候变化与其它地域气候变化关联性。遥相关指数与生物的生命活动关系已有相关研究,Rubolini 等(2007)研究发现在北意大利家燕在较高的冬季 NAO 指数下始见期较早,Forchhammer 等(2002)研究发现在欧洲候鸟春季迁徙和到达,以及开始哺育后代时间的提前和较高冬季 NAO 指数相关。而作为我国三北地区的一种重要的农牧业害虫的草地螟 *Loxostege sticticalis* L.,自新中国成立以来已 3 次暴发成灾,给我国的农牧业造成了巨大的经济损失(罗礼智等,1998,2004),它的发生危害规律已研究表明和我国气候的变化存在一定关系(Тягубель 等,1982;马卡洛娃等,1983;罗礼智等,2009),是否与北半球的一些遥相关指数存在联系目前国内尚未有报道。本文将研究草地螟成虫的始见期和终见期这 2 个物候期以及全国草地螟幼虫发生面积与北半球的一些遥相关指数的关系,以期能为草地螟的预测预报及防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

北半球 500 hPa 高度场遥相关指数是从美国国家海洋气象局网站下载得到(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>),所提供的是 1950—2009 年的 10 个遥相关指数的月值数据,这 10 个遥相关指数分别是北大西洋涛动指数(NAO),东大西洋型遥相关指数(EA),东大西洋-西俄罗斯型遥相关指数(EA-WR),斯堪的纳维亚型遥相关指数(SCA),极地-欧亚型遥相关指数(POL),西太平洋型遥相关指数(WP),东太平洋-北太平洋型遥相关指数(EP-NP),太平洋-北美型遥相关指数(PNA),热带-北半球型遥相关指数(TNH),太平洋过渡型遥相关指数(PT)。通过这些月值数据计算得到了上年 12—5 月,6—10 月和 1—10 月连续的每 2 个,3 个,4 个,5 个以及 6 个月各个遥相关指数的均值。在本文中 $x-y$ 月的 A 型遥相关指数的均值以 A_{x-y} 表示。

经过收集整理,作者选择了数据记录相对完整全面的河北康保(114.60°E,41.80°N),山西大同(113.20°E,40.06°N)和内蒙古四子王旗(111.41°E,41.32°N)3 地的历年草地螟灯下诱虫数据来计算历年草地螟成虫的始见期和终见期。

在 3 地都有数据记录的情况下草地螟成虫始见期和终见期取三者的平均值,在数据不全的情况下取除去缺失数据外的平均值,并以所得的草地螟成虫平均始见期和终见期来代表全国草地螟成虫的始见期和终见期。为分析方便,本文中草地螟成虫始见期和终见期都表示为相对于 4 月 30 日的天数,如 1 d 代表 5 月 1 日,以此类推。

全国幼虫发生面积的数据 1953—1999 年的部分主要来自《中国植物保护 50 年》(陈生斗和胡伯海,2003),2000—2008 年的数据主要由全国农技推广和服务中心提供。

1.2 草地螟成虫物候期变化及与遥相关指数的相关性

将草地螟成虫的始见期和终见期分别与对应年份进行回归分析,通过所得回归方程分析草地螟始见期和终见期年际间变化的趋势和规律。将计算所得的上年 12—5 月各种连续月份的遥相关指数平均值和草地螟始见期进行相关分析,求出其中相关系数最大的指标并进行分析。将计算所得的 6—10 月各种连续月份的遥相关指数平均值和草地螟终见期进行相关分析,求出其中相关系数最大的指标并进行分析。

1.3 草地螟幼虫发生面积变化及与遥相关指数的相关性

将全国草地螟幼虫发生面积和对应年份进行回归分析,通过所得回归方程分析我国草地螟全国幼虫发生面积年际间变化的趋势和规律。将计算所得的 1—10 月间一些遥相关指数的平均值与幼虫发生面积进行相关性分析,求出其中相关系数最大的指标并进行分析。

1.4 数据分析

本文所有数据分析均采用 SAS 8.0 统计软件,其中回归分析采用 Proc reg 过程,相关分析采用 Proc corr 过程。

2 结果与分析

2.1 始见期变化

经过整理我国 1979—2008 年草地螟成虫始见期最小为 0.33 d,最大为 30.33 d,平均为 18.11 d,始见期与年份的回归方程为: $Y = -0.40X + 816.11$ ($n = 30$, $R^2 = 0.28$, $P = 0.0027$) (Y 表示成虫始见期,其值为相对于 4 月 30 日经过

的天数; X 表示年份,取值范围为 1975—2020;图 1)。始见期与年份呈极显著的负回归关系,也即

是说草地螟成虫的始见期年际间有显著提前的趋势,平均每年提前 0.40 d。

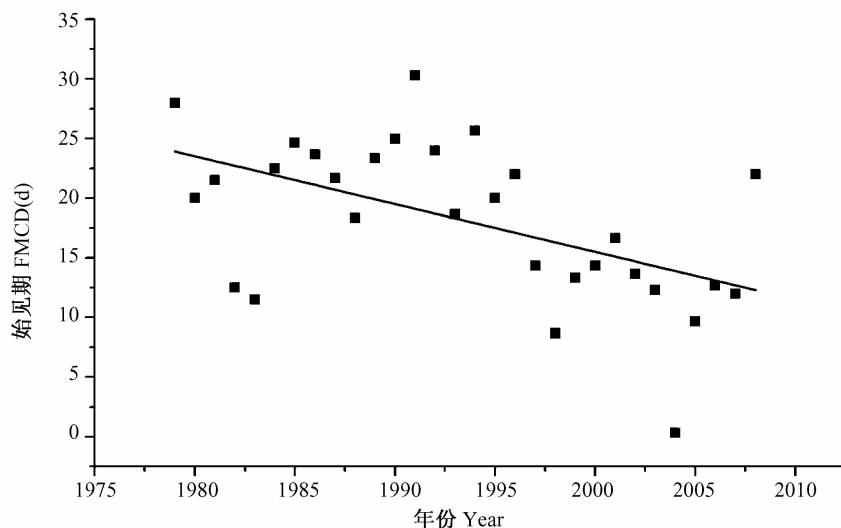


图 1 草地螟成虫始见期与年份回归图

Fig. 1 Trend of first moth caught dates (FMCD) of *Loxostege sticticalis*

草地螟成虫始见期的表示为相对于 4 月 30 日所经过的天数,如 1 d 表示 5 月 1 日,以此类推。

First moth caught dates (FMCD) of *L. sticticalis* were expressed as progressive days with May 1st = 1.

2.2 终见期变化

经过整理我国 1979—2008 年草地螟成虫终见期最小为 61.00 d,最大为 152.00 d,平均为 121.04 d,终见期与年份的回归方程为: $Y = 1.31X - 2485.81$ ($n = 30$, $R^2 = 0.30$, $P = 0.0017$) (Y 表

示草地螟成虫终见期,其值为相对于 4 月 30 日经过的天数; X 表示年份,取值范围为 1975—2020;图 2)。终见期与年份呈极显著正回归关系,表明草地螟终见期有极显著的延后趋势,平均每年延后 1.31 d。

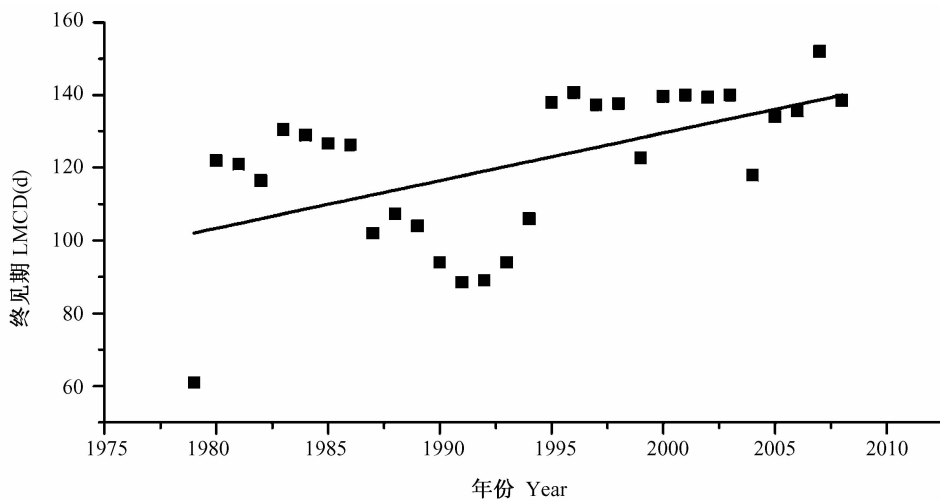


图 2 草地螟成虫终见期与年份回归图

Fig. 2 Trend of last moth caught dates (LMCD) of *Loxostege sticticalis*

草地螟成虫终见期的表示为相对于 4 月 30 日所经过的天数,如 1d 表示 5 月 1 日,以此类推。

Last moth caught dates (LMCD) of *L. sticticalis* were expressed as progressive days with May 1st = 1.

2.3 全国幼虫发生面积变化

通过对 1953—2008 年全国草地螟幼虫发生面积和年份进行回归分析得知:回归的方程为 $Y = 57.07X - 111\,790$ ($n = 57$, $R^2 = 0.16$, $P = 0.0026$; Y 表示全国幼虫发生面积; X 表示年份, 取值范围为 1953—2020), 表明全国草地螟幼

虫的发生面积年际间有增长的趋势, 平均每年增加 57.07 km^2 。全国草地螟幼虫发生面积在 3 个大发生周期之间呈现增长的趋势(图 3)。在各个周期内部, 草地螟发生面积在周期开始时较小, 后不断增大, 达到峰值后又开始下降, 呈现一个钟形。

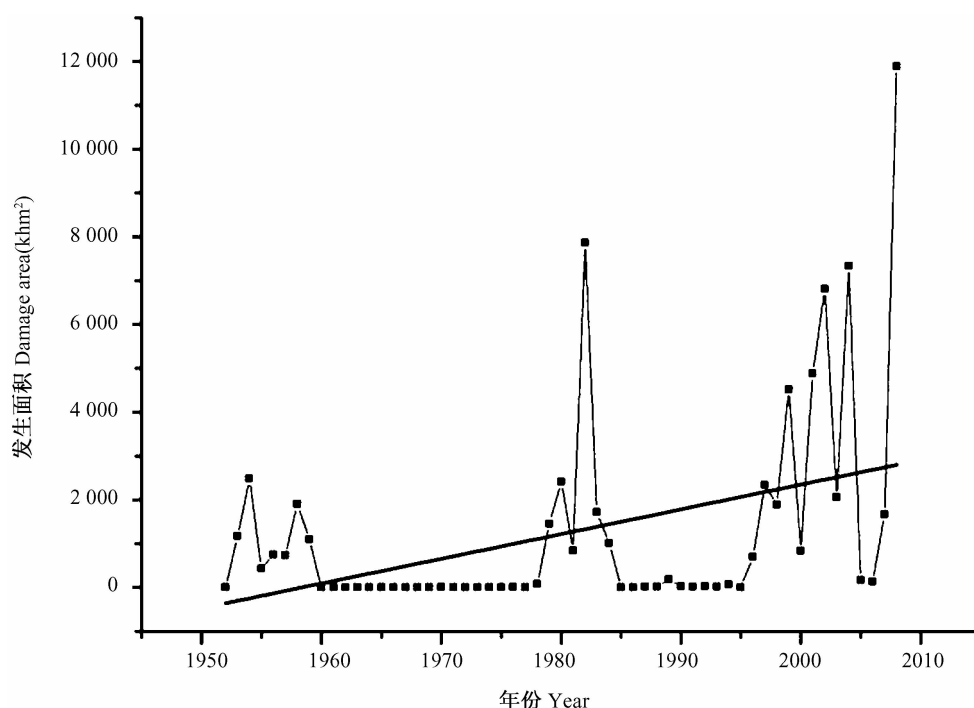


图 3 历年全国草地螟幼虫发生面积图

Fig. 3 Trend of damage area of *Loxostege sticticalis* larvae of the whole country

2.4 始见期与遥相关指数的相关性

上年 12—5 月各种连续不同月数的平均遥相关指数与始见期的相关系数见表 1。从表 1 得知 POL_{1-5} 与始见期的相关系数最大, 达到了 0.51 且相关关系极显著, 表明始见期的变化与 POL_{1-5} 关系最为密切。与始见期相关系数极显著的遥相关指数还有 POL_{2-5} 和 POL_{12-5} ; 与始见期相关系数显著的遥相关指数有 TNH , $EA-WR$, WP 以及 EA 在一些月份的均值。作者对 1979—2008 年间的 POL_{1-5} 进行分析得知 POL_{1-5} 与年份的回归方程为: $Y = -0.019X + 37.31$ ($n = 30$, $R^2 = 0.13$, $P = 0.049$; Y 表示 POL_{1-5} ; X 表示年份, 取值范围为 1975—2020), 表明 POL_{1-5} 存在显著的递减趋势, 平均每年减少 0.019。

2.5 终见期与遥相关指数的相关性

6—10 月各种连续不同月数的平均遥相关指数与终见期的相关系数见表 2。从表 2 得知 $EP-NP_{6-10}$ 与终见期的相关系数最大, 达到了 -0.60 且相关关系极显著, 表明终见期的变化与 $EP-NP_{6-10}$ 关系最为密切。与终见期相关系数达到极显著的还有 WP_8 , WP_{7-8} , WP_{6-8} , $EP-NP_{8-10}$, $EP-NP_{7-10}$, $EP-NP_{7-9}$, $EP-NP_{7-8}$, $EP-NP_{6-9}$ 以及 $EP-NP_{6-8}$ 。作者对 1979—2008 年间 $EP-NP_{6-10}$ 进行分析得知 $EP-NP_{6-10}$ 与年份的回归方程为: $Y = -0.030X + 59.05$ ($n = 30$, $R^2 = 0.21$, $P = 0.012$; Y 表示 $EP-NP_{6-10}$; X 表示年份, 取值范围为 1975—2020)。表明 $EP-NP_{6-10}$ 年际间存在显著的递减趋势, 平均每年减少 0.030。

表 1 遥相关指数与我国草地螟成虫始见期的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of teleconnection pattern indices and first moth caught dates of *Loxostege sticticalis*

月份 Month	NAO	EA	WP	EP-NP	PNA	EA-WR	SCA	TNH	POL	PT
12—5	0.035	-0.22	-0.22	-0.044	-0.13	-0.24	0.18	0.41 *	0.470 **	—
12—4	0.028	-0.12	-0.25	0.058	-0.29	-0.30	0.14	0.41 *	0.37 *	—
12—3	-0.0023	-0.025	-0.21	0.083	-0.31	-0.26	0.18	0.41 *	0.31	—
12—2	-0.027	0.041	-0.26	0.017	-0.36 *	-0.19	0.19	0.41 *	0.18	—
12—1	-0.096	-0.013	-0.036	0.026	-0.25	-0.067	0.13	0.43 *	0.05	—
12	-0.093	0.049	-0.20	—	-0.35	0.015	-0.055	0.37 *	-0.06	—
1—5	0.081	-0.27	-0.17	-0.044	-0.029	-0.28	0.21	0.26	0.51 **	—
1—4	0.083	-0.16	-0.20	0.058	-0.20	-0.37 *	0.16	0.26	0.39 *	—
1—3	0.054	-0.051	-0.13	0.083	-0.20	-0.32	0.21	0.26	0.38 *	—
1—2	0.034	0.027	-0.17	0.017	-0.22	-0.25	0.25	0.26	0.25	—
1	-0.061	-0.061	0.17	0.026	-0.0041	-0.12	0.21	0.28	0.13	—
2—5	0.11	-0.29	-0.25	-0.061	-0.03	-0.30	0.14	0.15	0.49 **	—
2—4	0.13	-0.170	-0.30	0.055	-0.23	-0.42 *	0.078	0.15	0.37 *	—
2—3	0.11	-0.027	-0.25	0.088	-0.27	-0.39 *	0.12	0.15	0.39 *	—
2	0.13	0.097	-0.42 *	-0.0045	-0.34	-0.31	0.13	0.15	0.26	—
3—5	0.078	-0.36 *	-0.091	-0.066	0.096	-0.19	0.097	—	0.46 *	—
3—4	0.084	-0.28	-0.12	0.076	-0.12	-0.32	0.018	—	0.29	—
3	0.047	-0.15	0.026	0.14	-0.10	-0.25	0.068	—	0.32	—
4—5	0.068	-0.32	-0.14	-0.15	0.20	-0.063	0.073	—	0.37 *	—
4	0.071	-0.24	-0.21	-0.026	-0.11	-0.19	-0.038	—	0.12	—
5	0.033	-0.23	-0.013	-0.22	0.37 *	0.11	0.14	—	0.38 *	—

注:表中数据表示其对应的遥相关指数在对应的月份之间的均值与始见期的相关系数;如第2行第2列的数据“0.035”表示上年12—5月的NAO均值(NAO_{12-5})与始见期的相关系数为0.035。“*”表示相关系数在 $\alpha=0.05$ 水平下显著,“**”表示相关系数在 $\alpha=0.01$ 水平下显著;“—”表示遥相关指数缺失。下表同。

Data in the table are correlation coefficient of FMCD and mean value of teleconnection pattern indices of corresponding column during the months of corresponding row; for example, the data of row 2 column 2 “0.035” means correlation coefficient of FMCD and NAO_{12-5} is 0.035. “*” means correlation coefficient is significant at the significance level of $\alpha=0.05$; “**” means correlation coefficient is significant at the significance level of $\alpha=0.01$. “—” represents data missing. The same below.

表 2 遥相关指数与我国草地螟成虫终见期的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of teleconnection pattern indices and last moth caught dates of *Loxostege sticticalis*

月份 Month	NAO	EA	WP	EP-NP	PNA	EA-WR	SCA	TNH	POL	PT
10	0.041	0.39 *	-0.31	-0.45 *	0.073	-0.16	-0.24	—	-0.41 *	—
9	-0.19	-0.0051	0.10	-0.32	0.25	-0.069	0.21	—	0.38 *	0.016
9—10	-0.11	0.28	-0.14	-0.44 *	0.24	-0.17	0.0029	—	0.026	0.016
8—10	-0.21	0.28	-0.37 *	-0.52 **	0.15	-0.16	0.12	—	0.11	0.038
8—9	-0.29	0.024	-0.29	-0.46 *	0.12	-0.098	0.30	—	0.40 *	0.038
8	-0.25	0.04	-0.53 **	-0.42 *	-0.075	-0.079	0.19	—	0.17	0.039
7—10	-0.21	0.43 *	-0.4 *	-0.57 **	0.11	-0.17	0.28	—	0.083	0.038
7—9	-0.27	0.25	-0.34	-0.52 **	0.089	-0.13	0.44 *	—	0.31	0.038
7—8	-0.20	0.28	-0.48 **	-0.48 **	-0.061	-0.12	0.37 *	—	0.11	0.039
7	-0.065	0.39 *	-0.23	-0.32	-0.018	-0.10	0.33	—	-0.01	—
6—10	-0.28	0.42 *	-0.46 *	-0.60 **	0.11	-0.15	0.20	—	0.078	0.038
6—9	-0.33	0.27	-0.42 *	-0.56 **	0.09	-0.11	0.32	—	0.26	0.038
6—8	-0.27	0.29	-0.55 **	-0.51 **	-0.037	-0.088	0.21	—	0.09	0.039
6—7	-0.19	0.36	-0.37 *	-0.31	0.0027	-0.055	0.12	—	0.006	—
6	-0.23	0.12	-0.31	-0.14	0.024	0.013	-0.10	—	0.02	—

表 3 全国草地螟幼虫发生面积与遥相关指数的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of teleconnection pattern indices and damage area of *Loxostege sticticalis* larvae

月份 Month	NAO	EA	WP	EP-NP	PNA	EA-WR	SCA	TNH	POL	PT
5—7	-0.26	0.30	-0.18	0.061	-0.011	-0.011	-0.21	—	-0.058	—
5—8	-0.27	0.34	-0.24	-0.099	0.097	-0.081	-0.23	—	0.057	0.13
5—9	-0.19	0.33	-0.2	-0.23	0.17	-0.14	-0.15	—	0.11	0.17
5—10	-0.23	0.38*	-0.23	-0.23	0.16	-0.17	-0.18	—	0.070	0.17
4—10	-0.24	0.35	-0.20	-0.20	0.069	-0.16	-0.19	—	0.050	0.17
4—9	-0.20	0.32	-0.16	-0.18	0.070	-0.12	-0.17	—	0.091	0.17
4—8	-0.28	0.32	-0.2	-0.062	-0.0027	-0.063	-0.25	—	0.035	0.13
4—7	-0.26	0.30	-0.13	0.073	-0.11	0.0029	-0.23	—	-0.076	—
3—10	-0.24	0.35	-0.20	-0.20	0.069	-0.16	-0.19	—	0.050	0.17
3—9	-0.20	0.32	-0.16	-0.18	0.070	-0.12	-0.17	—	0.091	0.17
3—8	-0.28	0.32	-0.20	-0.062	-0.0027	-0.063	-0.25	—	0.035	0.13
3—7	-0.26	0.30	-0.13	0.073	-0.11	0.0029	-0.23	—	-0.076	—
2—10	-0.087	0.37*	-0.13	-0.17	0.056	-0.081	-0.21	-0.0076	-0.077	0.17
2—9	-0.037	0.34	-0.08	-0.16	0.055	-0.034	-0.19	-0.0076	-0.056	0.17
2—8	-0.085	0.34	-0.11	-0.063	-0.0042	0.026	-0.25	-0.0076	-0.12	0.13
2—7	-0.055	0.32	-0.029	0.043	-0.079	0.092	-0.23	-0.0076	-0.22	—
1—10	-0.069	0.39*	-0.094	-0.18	0.049	-0.092	-0.22	0.025	-0.088	0.17
1—9	-0.021	0.35	-0.044	-0.16	0.047	-0.048	-0.20	0.025	-0.070	0.17
1—8	-0.064	0.34	-0.069	-0.075	-0.0064	0.0051	-0.25	0.025	-0.13	0.13
1—7	-0.033	0.33	0.009	0.018	-0.073	0.062	-0.23	0.025	-0.22	—

2.6 全国草地螟幼虫发生面积与遥相关指数的相关性

根据草地螟的生物学习性作者选择了一些月份之间的各个遥相关指数的平均值与全国草地螟幼虫发生面积进行了相关性分析,所得相关系数如表 3 所示。由表 3 可知 EA_{1-10} 与全国草地螟幼虫发生面积的相关系数最大,达到 0.39,且相关关系显著,表明全国草地螟幼虫发生面积变化与 EA_{1-10} 关系最为密切。作者对 1953—2008 年间 EA_{1-10} 进行分析发现其存在显著的递增趋势,平均每年增加 0.017。 EA_{1-10} 均值与年份的回归方程为: $Y = 0.017X - 33.12$ ($n = 56$, $R^2 = 0.35$, $P < 0.0001$; Y 表示 EA_{1-10} ; X 表示年份,取值范围为 1953—2020)。

3 讨论

我国草地螟成虫的始见期在所研究的 1979—2008 年间有显著提前的趋势,平均每年提前 0.40 d。草地螟成虫始见期提前已有报道(孟凡华等, 1999;康爱国, 2003;罗礼智和屈西锋, 2005;王春

荣, 2006),然而如此系统地研究如此长的时间序列的草地螟成虫始见期变化在国内外还没有报道。本文通过始见期与北半球 500 hPa 遥相关指数的相关分析探明了 POL_{1-5} 对我国草地螟成虫始见期有显著的影响,同时发现 POL_{1-5} 在 1979—2008 年间有显著的减小趋势,正是 POL_{1-5} 这种减小的趋势导致了我国草地螟成虫始见期的提前。 POL 是一个与北极,我国北部与蒙古国以及东西伯利亚的气旋活动,气温变化和降水相关的一个遥相关指数,与我国的气候变化密切相关。它是一个综合的气候变化指数,比单一的气温,降水量和湿度等气象指标更具有代表性。

我国草地螟成虫终见期在所研究的 1979—2008 年间有显著的延后趋势,平均每年延后 1.31 d。始见期提前同时终见期延后,那么一年之中草地螟成虫的发生期会随之延长,成虫繁育的幼虫的发生期也会随之延长,从而加重对农牧作物的危害,未来草地螟防治难度会加大,周期会增长。草地螟成虫终见期与 $EP-NP_{6-10}$ 相关性最大且为显著负相关关系,表明在 $EP-NP_{6-10}$ 高的年份

我国草地螟成虫的终见期较晚,而在 $EP-NP_{6-10}$ 低的年份终见期较早。1979—2008 年间 $EP-NP_{6-10}$ 显著减小导致了我国草地螟成虫终见期的延后。而 $EP-NP_{6-10}$ 这种减小的趋势还会延续,我国草地螟成虫的终见期将会进一步延后,这是在今后的草地螟防治工作中需要注意的问题。

全国草地螟幼虫发生面积在所研究的 1953—2008 年间有显著的增长趋势,平均每年增加 57.07 km^2 。全国草地螟幼虫发生面积与 EA_{1-10} 的相关性最大且为显著的正相关关系,表明在 EA_{1-10} 高的年份全国草地螟的发生面积较大,而在 EA_{1-10} 低的年份面积较小。1953—2008 年间 EA_{1-10} 显著增大导致全国草地螟幼虫发生面积增大。而 EA_{1-10} 在未来几年至几十年内仍然有增大的趋势,从而导致全国草地螟幼虫发生面积的进一步增大,未来的草地螟防治难度将更大。在草地螟的防治工作中要认识到遥相关指数对我国草地螟的影响作用,积极了解相关遥相关指数的变化情况。可以通过 POL_{1-5} 和 $EP-NP_{6-10}$ 来预测我国草地螟成虫始见期和终见期的早晚以及发生期的长短,通过 EA_{1-10} 来预测草地螟幼虫的发生面积的大小,科学合理地制定草地螟的防治计划和方案。

参考文献 (References)

Forchhammer MC, Post E, Stenseth NC, 2002. North Atlantic Oscillation timing of long-distance and short-

- distance migration. *J. Anim. Ecol.*, 71(6):1002—1014.
- Rubolini D, Ambrosini R, Caffi M, Brichetti P, Caffi M, Brichetti P, Armiraglio S, Saino N, 2007. Long-term trends in first arrival and first egg laying dates of some migrant and resident bird species in northern Italy. *Int. J. Biometeorol.*, 51(6): 553—563.
- Тябелъ СА, Колмаз ГВ, 郎炳耀, 1982. 草地螟的生态因子和数量. 草原与草坪, (5): 18—19.
- 陈生斗, 胡伯海, 2003. 中国植物保护 50 年. 北京: 中国农业出版社. 820.
- 康爱国, 樊荣贤, 张玉慧, 李强, 张凤英, 杨立军, 赵晓娟, 2003. 草地螟第三个暴发周期的发生特点、成因及防治对策. 昆虫知识, 40(1): 75—79.
- 罗礼智, 2004. 我国 2001 年一代草地螟将暴发成灾. 植物保护, 30(3): 86—88.
- 罗礼智, 黄绍哲, 江幸福, 张蕾, 2009. 我国 2008 年草地螟大发生特征及成因分析. 植物保护, 35(1): 27—33.
- 罗礼智, 屈西锋, 2005. 我国草地螟 2004 年危害特点及 2005 年一代危害趋势分析. 植物保护, 31(3): 69—71.
- 罗礼智, 张红杰, 康爱国, 1998. 张家口 1997 年一代草地螟幼虫大发生原因分析. 自然灾害学报, 7(3): 158—164.
- 马卡洛娃 ЛА, 道洛尼娜 ГМ, 王恩和, 1983. 草地螟发育的气候物候规律性. 内蒙古农业科技, (3): 47—48 转 28.
- 孟凡华, 曾树芳, 赵寅, 1999. 富裕县草地螟暴发成灾. 植物保护, 25(2): 50.
- 陶祖钰, 1988. 大气的遥相关现象. 广西气象, 2: 1—5.
- 王春荣, 陈继光, 宋显东, 2006. 黑龙江省草地螟第三个暴发周期特点及成因分析. 昆虫知识, 43(1): 98—104.