应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2018, 55(3): 415–427. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2018.054

利用异地和往年的气象因子构建郴州地区烟田斜纹夜蛾的年发生动态预测模型*

杨 湘[1**] 李小一[2] 文礼章[1***]

（1. 湖南农业大学植物保护学院，长沙 410128；2. 湖南省郴州市农业科学研究所，郴州 423000）

摘 要 **【目的】** 以湖南省郴州市烟田害虫斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius)历年虫情资料为例，探讨利用异地和前一年气象因子构建其当年害虫发生动态预测模型的可行性。**【方法】** 收集整理 2000-2013 年长沙、2000-2015 年郴州、广州、南昌 4 地历史气象资料（如：温度、湿度、降雨量、日照时数等）以及 2000-2015 年郴州地区烟田斜纹夜蛾的历史虫情（如：成虫和幼虫的年发生量等）资料，利用 SPSS 软件中逐步回归分析法和卡平方分析法构建和筛选有效的多因子预测模型。**【结果】** 利用郴州市 16 年斜纹夜蛾虫情资料，郴州、长沙 2 个不同地区对应年份的共 170 个气象因子，广州、南昌 2 个不同地区对应年份的共 104 个气象因子，按回归模型（方程）满足①总体或某因子显著水准 $P \leq 0.05$；②多重共线性方差膨胀系数最大值 VIF≤5；③理论模拟值或预测值与实测值的 χ^2 适合性检验值（Karl. Pearson）$P(\chi^2) \geq 0.05$ 的 3 个基本条件，筛选模型中的影响因子和有效预测模型，共获得显著影响因子 67 个，建立显著有效模型 16 个。卡方检验结果表明，16 个模型的全部回测结果均满足 $\chi^2<\chi^2_{0.995}$，即所建这些模型的回代预测值与实测值几乎完全相同；对未参与建模的年份的幼虫成虫进行预测，共获得 4 组卡方累计值，第 1 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.995}$，第 2 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.950}$，第 4 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.500}$，第 3 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.250}$。**【结论】** 合理利用异地和前一年气象因子预测同一地点当年害虫年发生动态的方法是准确可行的。该方法与以往仅利用当年和本地气象因子进行预测的方法相比，具有明显的下列优点：①可提前发布长期预报的时间；②某地只要有足够时长的系统的历史虫情资料积累，即便没有当地对应的历史气象资料，同样可以开展预测模型的构建。而以上两点正是人们一直在寻求要解决的现实问题，因此本研究结果具有较强的可实用性和可推广性。

关键词 斜纹夜蛾，异地，往年，气象因子，逐步回归分析，预测模型，卡方检验

Using historical meteorological data from different sites to develop predictive models of the annual occurrence dynamics of *Spodoptera litura* (Fabricius) in tobacco fields

YANG Xiang[1**] LI Xiao-Yi[2] WEN Li-Zhang[1***]

(1. School of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
2. Chenzhou Institute of Agricultural Sciences, Chenzhou 423000, China)

Abstract **[Objectives]** To determine the feasibility of using meteorological factors from different sites to develop models to predict the annual population dynamics of insect pests. **[Methods]** Meteorological data, including temperature, humidity, rainfall and sunshine duration in Changsha from 2000 until 2013, and from Chenzhou, Guangzhou and Nanchang from 2000 until 2015, and data on the abundance of *Spodoptera litura* (Fabricius) in Chenzhou from 2000 until 2015, were analyzed using stepwise regression and Chi-square tests to develop effective, multivariate forecasting models. **[Results]** Explanatory variables were selected based on a 16-year-long *S. litura* dataset from Chenzhou city, 170 meteorological factors for the

*资助项目 Supported projects：湖南省财政专项（5026301-1113005）

**第一作者 First author，E-mail：614061513@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：weninsect123@aliyun.com

收稿日期 Received：2018-01-22，接受日期 Accepted：2018-04-27

corresponding years in Chenzhou and Changsha, and 104 meteorological factors for corresponding years in Guangzhou and Nanchang. For regression models and Chi-square tests, alpha was ≤ 0.05 and variance inflation factors (VIF) ≤ 5. Seventy-four significant explanatory variables were obtained and 16 effective models were created. The results of Chi-square tests indicate that χ^2 for back-substitution results from all 16 models was between $\chi^2<\chi^2_{0.995}$, in other words, there was no significant difference between the back-substituted predicted values and the observed values. We obtained four groups of Chi-square cumulative values; the first group was within $\chi^2<\chi^2_{0.995}$, the second group within $\chi^2<\chi^2_{0.950}$, the fourth group within $\chi^2<\chi^2_{0.500}$, and the third group within $\chi^2<\chi^2_{0.250}$. **[Conclusion]** It is accurate and feasible to predict the annual occurrence dynamics of pests on the basis of meteorological factors from different locations obtained in previous years. Compared with predictive methods using only data from the current year and local meteorological factors, the main advantages of this approach are that, provided there is sufficient historical information on pest abundance and meteorological data, it can provide predictions a long time in advance and in the absence of local historical meteorological data. Since there is often insufficient local data to create accurate models the results of this study have broad general applicability.

Key words *Spodoptera litura* (Fabricius), the different area, the previous year, meteorological factor, stepwise regression, forecasting model, Chi-square test

关于害虫预测预报模型的构建方法，有学者为了提高害虫发生量预测结果的准确性，分别采用了 5 种方法：平稳时间序列法、回归预测法、BP 神经网络法、马尔可夫链法和列联表多因子分级分析预测法，利用 33 年的虫情资料建立了安徽省潜山县马尾松毛虫高峰期发生量预测模型，并对这 5 种模型进行了比较，总结了不同建模方法的适用情况（康爱国等，2012；周夏芝等，2017）。也有许多文献对农作物病虫害发生发展气象预报预测进行了综述，主要是从病虫害发生发展与大尺度气候背景、中小尺度气象要素之间的关系概述了病虫害发生发展的气象条件研究的最新进展（陈怀亮等，2007）；利用系查和普查两种方法对农作物病虫害进行调查，预测病虫害发生时间（董昆乐，2013）。研究表明，气象因素是决定有害生物发生的关键因子，根据气象因素对病虫害种群动态的影响，通过统计软件、统计方法构建模型，可以利用这些模型对病虫害发生动态进行预测（张福丽，2009；文礼章和张友军，2010；朱晓倩，2010；文礼章等，2011，2014）。农作物害虫的发生发展与气温、日照时数、降水量、相对湿度等中小尺度气象因素存在较为显著的关系（肖留斌等，2015）；研究 2006 至 2008 年田间枸杞蚜虫调查的虫口密度与气象因子的统计关系，可构建为害等级预报模型（刘静等，2015）；研究越冬棉铃象甲与小气象因子的关系（John *et al.*，2003）等；研究结果都能在一定范围内有效预测害虫发生程度。在对气象因素的利用方面，更有国内外学者利用其对医学领域某些疾病进行分析研究，如：基于气象因素预测变应性鼻炎发病的模型（Ouyang *et al.*，2017），预测住院率波动与流感和气象因素的关系（Radia Spiga *et al.*，2016）等。研究人员在利用气象因素对害虫发生动态进行预测时，更多的是利用当年和本地气象因子进行预测的方法。但当前在生命群体预测学中，人们在进行生物种群预测分析时，总会有一些预测值与实测值相差很远，导致预测效果差；而人们更重视同期和附近事物的相关性，忽略过去和遥远事物的相关性，导致可获得的环境信息量不足，无法构建有效预测模型；并且常做单因子或少因子分析，导致所建模型的时效性差（文礼章等，2015）。

本研究查阅大量文献，依据“大数群因子泛遥相关生物预测定律”（文礼章等，2015），以湖南省郴州市烟田害虫斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*（Fabricius）历年虫情资料为例，探讨利用异地和前一年气象因子构建其当年害虫发生动态预测模型的可行性。即对于任何有限范围内的生命群体，近处或遥远的自然界中，总有另一种、多种或其组合的事物，在数量上与该生命群体某种稳定的比例关系相似，在同时发生变化（文礼章等，2015）。因此，在人们设想用一种较为容易

提前认知的事物的变化过程来预测某一种复杂的生命群体的变化过程时，可以将已知变化过程的事物的数量增加到足够大，则一定会有稳定的大概率能够从中找到由一个或多个事物组成的一个或多个统计学模型，可以精准预测复杂生命群体的数量变化过程（文礼章等，2015）。本文归类整理了郴州地区烟田斜纹夜蛾历年幼虫及成虫发生量调查数据，并从气象局及各专业网站收集整理 2000-2013 年长沙、2000-2015 年郴州、广州、南昌四地气象资料，将四地气象资料分别与郴州地区烟田斜纹夜蛾虫情资料进行逐步回归分析；利用异地和前一年气象资料预测同一地点的害虫年发生动态，利用回代预测、未来预测方法，以分析研究郴州地区烟草斜纹夜蛾年发生动态与不同地点气象之间的关系，探讨利用异地和前一年气象因子构建其当年害虫发生动态预测模型的可行性。研究结果能有效预测郴州地区烟草斜纹夜蛾年发生动态，可为害虫年发生动态预测构建应用范围更广的模型，提供更全面的，时效性更好的预测方法，构建害虫预测平台，具有较强的可实用性和可推广性。

1　材料与方法

1.1　材料

斜纹夜蛾原始实际发生动态调查数据来源于湖南省郴州市农业科学研究所，经本文作者归类整理所得。

1.1.1　历年幼虫发生量调查　在湖南省郴州市桂阳烟草基地（112°73′E，25°73′N）设置专用系统测报调查地，历年全季烟草生长期不施农药，让害虫在烟草上自然发生，其他栽培措施同常规烟田。在专用系统测报调查烟田中，从烟草移入大田后开始，按五点取样法选定 5 点，每点 50 株，共 250 株。每隔 5 d 调查 1 次，调查时清点各小枝叶片上的 1 龄、2 龄、3 龄及以上幼虫数量并记录，此工作每年由湖南省郴州市农业科学研究所专职科技人员安排完成（表 1）。

1.1.2　历年成虫发生量调查　成虫调查地点与幼虫调查地点相同。在种植的专用系统测报调查烟田内，设置诱皿点，利用昆虫信息素（北京中捷四方生物科技股份有限公司）性诱成蛾，共 3 个诱皿点，分别为 1 号皿、2 号皿、3 号皿，各个诱皿相距 40 m，离地 1 m，诱芯离水面 1-2 cm，水中加入少量洗衣粉，每 15 d 换 1 次诱芯。次日 8:00 调查结果并记录（表 1）。

表 1　斜纹夜蛾调查全年归类整理统计表
Table 1　Statistical table of *Spodoptera litura* investigation

年份 Year	全年总幼虫数（只/250 株） Annual quantity of larvae	全年总诱成虫量（只/3 皿） Annual quantity of adult
2000	10 387	324
2001	265	346
2002	2 082	3 024
2003	3 170	9 902
2004	176	2 055
2005	616	1 134
2006	574	1 473
2007	997	792
2008	3 403	883
2009	866	9 360
2010	440	4 788
2011	809	740
2012	997	1 222
2013	188	1 028
2014	888	3 578
2015	971	1 104

原始数据来源于湖南省郴州市农科所。表 2，表 3 同。
The data derived from Chenzhou Institute of Agricultural Sciences. The same as table 2, table 3.

1.1.3　气象资料来源　查阅相关文献，影响斜纹夜蛾年发生动态的气象因素主要有温度、日照时数、降水量、相对湿度等。通过气象部门获取所需的郴州、广州、南昌 2000-2015 年气象数据及长沙 2000-2013 年气象数据。

1.2　方法

本研究利用 SPSS（Statistical product and service solutions）软件对数据进行处理：利用郴

州、长沙、广州、南昌四地气象资料预测郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态；分别将四地气象因子数据相对于因变量的年份往前推一年（如：因变量为 2001 年害虫发生量，则对应 2000 年的气象因子），利用往年气象数据预测郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态。运用逐步回归分析法，筛选预测因子，构建预测模型，同时满足①总体或某因子显著水准 $P \leq 0.05$；②多重共线性方差膨胀系数最大值 $VIF \leq 5$；③理论模拟值或预测值与实测值的 χ^2 适合性检验值（Karl. Pearson）$P(\chi^2) \geq 0.05$ 的 3 个水准条件的模型，则认定为有效预测模型；运用回代预测、未来预测的方法预测郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态，回代预测是指用一组自变量值与对应的因变量值建模后，再将这组自变量值代入模型中，得出一组新因变量值；关于未来预测本研究是用过去数年自变量值与对应因变量值进行建模后，再将没有参与建模的后期自变量值代入模型中，得出新的因变量值。将预测值与实测值进行卡方检验，卡平方累计值 $\chi^2 \leq \chi^2_{0.05\text{-}0.999}$ 则表明预测值与实测值没有显著差异，预测有效，χ^2 越小，预测效果更优。

1.2.1 利用郴州地区气象因子预测郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态 设因变量 Y_1 为郴州地区烟田斜纹夜蛾全年总幼虫数，Y_2 为郴州地区烟田斜纹夜蛾全年总诱成虫量。其他各气象因子为自变量，具体设为：X_1-X_{12} 为 1-12 月平均气温；X_{13}-X_{24} 为 1-12 月平均日照时数；X_{25}-X_{36} 为 1-12 月总降水量；X_{37}-X_{48} 为 1-12 月平均相对湿度；X_{49}-X_{51} 为 5 月上、中、下旬平均气温；X_{52}-X_{54} 为 6 月上、中、下旬平均气温；X_{55}-X_{57} 为 7 月上、中、下旬平均气温；X_{58}-X_{60} 为 5 月上、中、下旬日照时数；X_{61}-X_{63} 为 6 月上、中、下旬日照时数；X_{64}-X_{66} 为 7 月上、中、下旬日照时数；X_{67}-X_{69} 为 5 月上、中、下旬降水量；X_{70}-X_{72} 为 6 月上、中、下旬降水量；X_{73}-X_{75} 为 7 月上、中、下旬降水量；X_{76}-X_{78} 为 5 月上、中、下旬平均相对湿度；X_{79}-X_{81} 为 6 月上、中、下旬平均相对湿度；X_{82}-X_{84} 为 7 月上、中、下旬平均相对湿度；X_{85} 为全年总降水量。将 2000-2013 年郴州 X_1-X_{85} 与 2000-2013 年 Y_1、Y_2 数据导入 SPSS 软件，得出 Y_1、Y_2 为斜纹夜蛾发生量原始数据对数化（*L*n）之后的值；X 为各个原始气象数据标准化之后的值（表 2），进行逐步回归分析，筛选出主要气象因子，得到回归方程，即预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测及卡方检验。利用相同方法分析郴州往年气象对郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态的影响，即对 2000-2012 年郴州 X_1-X_{85} 与 2001-2013 年 Y_1、Y_2 进行数据整理分析（表 3），得到预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测及卡方检验。由于本文所获得的用于分析的数据量大，故表 2、表 3 中只列出了郴州地区主要气象因子数据。

1.2.2 利用长沙地区气象因子预测郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态 运用 1.2.1 相同方法，将 2000-2011 年长沙 X_1-X_{85} 与 2000- 2011 年 Y_1、Y_2 进行分析，得到预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测及卡方检验。对 2000-2010 年长沙 X_1-X_{85} 与 2001- 2011 年 Y_1、Y_2 进行分析，得到预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测及卡方检验。

1.2.3 利用广州地区气象因子预测郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态 设因变量 Y_1 为郴州地区烟田斜纹夜蛾全年总幼虫数，Y_2 为郴州地区烟田斜纹夜蛾全年总诱成虫量。其他各气象因子为自变量，具体设为：X_1-X_{12} 为 1-12 月平均气温；X_{13} 为年平均气温；X_{14}-X_{25} 为 1-12 月平均日照时数；X_{26} 为年平均日照时数；X_{27}-X_{38} 为 1-12 月总降水量；X_{39} 为年总降水量；X_{40}-X_{51} 为 1-12 月平均相对湿度；X_{52} 为年平均相对湿度。将 2000-2013 年广州 X_1-X_{52} 与 2000-2013 年 Y_1、Y_2 导入 SPSS 软件，Y 值对数化，X 值标准化，进行逐步回归分析，筛选出主要气象因子，得到预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测及卡方检验。利用相同方法分析广州往年气象对郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态的影响，即对 2000-2012 年广州 X_1-X_{52} 与 2001-2013 年 Y_1、Y_2 进行数据整理分析，得到预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测

表 2　相关郴州气象因子

Table 2　Related meteorological factors in Chenzhou

年份 Year	斜纹夜蛾年发生量 The annual occurrence quantity of *S. litura*		平均气温（℃） Average temperature						平均日照时数（h） Average sunshine duration				降水量（mm） Rainfall	
	幼虫（只/250 株） Larvae	成虫（只/3 皿） Adult	4 月 Apr.	5 月下旬 The late of May	6 月上旬 The early of June	6 月中旬 Mid-June	7 月中旬 Mid-July	7 月下旬 The late of July	11 月 Nov.	5 月中旬 Mid-May	5 月下旬 The late of May	7 月中旬 Mid-July	5 月上旬 The early of May	7 月下旬 The late of July
	Y_1	Y_2	X_4	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{56}	X_{57}	X_{23}	X_{59}	X_{60}	X_{65}	X_{67}	X_{75}
2000	9.25	5.78	−0.56	0.54	1.40	−1.50	−0.05	0.11	−0.61	1.87	−0.32	0.09	−0.69	−0.17
2001	5.58	5.85	−0.97	0.00	−0.81	0.67	−1.22	2.22	0.37	0.57	0.39	−0.88	−0.23	−0.56
2002	7.64	8.01	0.96	−0.54	1.64	0.43	0.03	−1.65	−0.26	−0.55	0.38	−0.06	−0.62	0.10
2003	8.06	9.20	0.13	−0.49	0.15	−0.94	1.94	1.58	0.46	−1.23	−0.21	1.06	−0.55	−0.58
2004	5.17	7.63	1.44	1.56	−1.17	−0.06	−0.34	−0.53	0.91	−0.78	1.91	−0.29	−0.10	−0.56
2005	6.42	7.03	0.89	0.09	0.50	0.27	0.39	−0.83	−0.79	1.31	0.10	0.45	−0.04	−0.33
2006	6.35	7.30	0.75	−0.84	−1.11	0.11	−0.93	−0.89	−0.26	0.16	−1.43	−0.78	0.07	0.29
2007	6.90	6.67	−1.31	0.98	−0.45	−0.38	0.84	1.05	1.98	0.27	0.72	0.81	−0.81	−0.56
2008	8.13	6.78	0.00	0.54	−0.09	−1.67	−0.49	0.34	0.46	1.00	−0.27	0.47	2.01	−0.58
2009	6.76	9.14	−0.97	−1.77	−0.09	0.75	0.84	−0.65	0.28	0.30	−0.99	0.66	−0.66	3.32
2010	6.09	8.47	−2.14	−0.10	−1.89	−1.83	0.98	−0.42	0.73	−0.31	0.47	1.32	2.09	1.14
2011	6.70	6.61	0.48	−1.57	0.80	0.99	−1.88	0.70	0.01	0.54	0.86	−1.54	1.74	−0.58
2012	6.90	7.11	0.06	−1.18	−0.75	0.19	−0.34	−0.89	0.37	−0.13	−1.36	−0.27	−0.48	0.04
2013	5.24	6.94	−0.56	0.78	0.03	0.51	0.47	−0.01	0.19	0.06	1.44	0.72	−0.56	−0.57
2014	6.79	8.18	0.96	1.32	0.68	1.31	0.91	−0.01	−1.42	−0.95	−0.15	0.63	−0.60	0.00
2015	6.88	7.01	0.82	0.68	1.16	1.15	−1.15	−0.12	−2.40	−2.13	−1.54	−2.40	−0.57	−0.40

及卡方检验。

1.2.4　利用南昌地区气象因子预测郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态　运用 1.2.3 相同方法，将 2000-2013 年南昌 X_1-X_{52} 与 2000-2013 年 Y_1、Y_2 进行分析，得到预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测及卡方检验。对 2000-2012 年南昌 X_1-X_{52} 与 2001-2013 年 Y_1、Y_2 进行分析，得到预测模型；利用该预测模型对相关建模数据进行回测及卡方检验。

1.2.5　利用各地所得相应预测模型预测未参与建模的后期年份的郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态　将 2012、2013 年长沙 X_1-X_{85} 代入由长沙气象预测所得的相应模型，预测 2012、2013 年 Y_1、Y_2；将 2014、2015 年郴州 X_1-X_{85}，广州、南昌 X_1-X_{52} 分别代入由郴州、广州、南昌气象预测所得的相应模型，预测 2014、2015 年 Y_1、Y_2。将 2011、2012 年长沙 X_1-X_{85} 代入相应模型，预测 2012、2013 年 Y_1、Y_2；将 2013、2014 年郴州 X_1-X_{85}，广州、南昌 X_1-X_{52} 分别代入由郴州、广州、南昌气象预测所得的相应模型，预测 2014、2015 年 Y_1、Y_2。将得到的几组新的预测值与实测值进行卡方检验。

表 3 相关郴州往年气象因子

Table 3 Related meteorological factors in the previous years in Chenzhou

年份 Year	斜纹夜蛾年发生量 The annual occurrence quantity of *S. litura*		年份 Year	平均气温（℃） Average temperature				平均日照时数（h） Average sunshine duration		平均相对湿度（%） Average huminity			降水量（mm） Rainfall
	幼虫（只/250 株） Larvae	成虫（只/3 皿） Adult		5 月 May	5 月下旬 The late of May	7 月上旬 The early of July	7 月下旬 The late of July	9 月 Sep.	11 月 Nov.	5 月上旬 The early of May	6 月下旬 The late of June	7 月中旬 Mid-July	6 月中旬 Mid-June
	Y_1	Y_2		X_5	X_{51}	X_{55}	X_{57}	X_{21}	X_{23}	X_{76}	X_{81}	X_{83}	X_{71}
2001	5.58	5.85	2000	1.12	0.57	−0.25	0.10	−0.68	−0.98	0.39	−1.81	0.25	−0.50
2002	7.64	8.01	2001	0.09	0.04	0.16	2.14	0.56	0.26	1.76	0.94	1.91	−0.29
2003	8.06	9.20	2002	−0.35	−0.49	−2.22	−1.60	−1.62	−0.53	1.07	0.56	1.02	−0.28
2004	5.17	7.63	2003	0.17	−0.44	1.72	1.51	0.75	0.38	0.00	−0.51	−1.29	−0.51
2005	6.42	7.03	2004	1.12	1.58	−0.42	−0.53	0.27	0.94	−0.23	0.25	−0.01	−0.42
2006	6.35	7.30	2005	−1.98	0.14	0.16	−0.81	−0.39	−1.20	−0.21	0.40	−0.10	−0.44
2007	6.90	6.67	2006	−0.17	−0.78	0.32	−0.87	1.03	−0.53	0.50	−0.41	1.49	−0.36
2008	8.13	6.78	2007	1.04	1.00	0.16	1.00	−1.43	2.29	−2.42	−0.74	−0.19	−0.51
2009	6.76	9.14	2008	0.43	0.57	−1.32	0.32	−0.20	0.38	0.66	0.93	0.54	0.68
2010	6.09	8.47	2009	−0.43	−1.69	−1.15	−0.64	0.08	0.15	−1.40	0.05	−0.78	−0.02
2011	6.70	6.61	2010	−1.81	−0.05	1.31	−0.41	−0.96	0.71	−0.03	1.35	−0.98	3.23
2012	6.90	7.11	2011	−1.04	−1.50	0.16	0.66	−0.20	−0.19	−0.41	−0.94	0.47	0.95
2013	5.24	6.94	2012	0.17	−1.11	0.08	−0.87	2.36	0.26	−0.30	−0.25	−0.39	−0.43
2014	6.79	8.18	2013	0.52	0.81	0.49	−0.02	0.08	0.04	0.83	−1.44	−1.74	−0.56
2015	6.88	7.01	2014	1.12	1.34	0.81	−0.02	0.37	−1.99	−0.21	1.62	−0.19	−0.54

2 结果与分析

2.1 四地当年气象因子与郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态分析

2.1.1 利用郴州当年气象因子所得预测模型

筛选出郴州的主要气象因子（表 4）。从表 4 知自变量 X_{52}、X_{53}、X_{60}、X_{23}、X_{65} 的显著水平均小于 0.05，即 Y_1 与 X_{52}、X_{53}、X_{60}、X_{23}、X_{65} 均呈显著相关，说明以上自变量对因变量有真实的回归关系，B 为各项系数，得出预测模型 1：

$Y_{1\text{-}1}=6.800+1.013X_{52}-0.756X_{53}-0.591X_{60}+0.373X_{23}-0.198X_{65}$（$F$=123.143，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=1.808<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=0.04<$\chi^2_{0.995}$(12)=3.07（表 5）。

自变量 X_{59}、X_{75}、X_{56}、X_4、X_{67}、X_{57}、X_{51} 的显著水平均小于 0.05，Y_2 与 X_{59}、X_{75}、X_{56}、X_4、X_{67}、X_{57}、X_{51} 均呈显著相关，得到预测模型 2：

$Y_{2\text{-}1}=7.323-0.457X_{59}+0.588X_{75}+0.637X_{56}+0.447X_4+0.298X_{67}+0.137X_{57}-0.125X_{51}$（$F$=355.251，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=3.235<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=0.03<$\chi^2_{0.995}$（12）=3.07（表 5）。

2.1.2 利用长沙当年气象因子所得预测模型

利用 1.2.1 相同方法得到预测模型 3：

$Y_{1\text{-}2}=6.922+0.825X_{27}-0.622X_{36}-0.405X_{21}-0.284X_{24}$（$F$=55.882，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=1.070<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=0.06<$\chi^2_{0.995}$（10）=2.16。

得预测模型 4：

$Y_{2\text{-}2}=7.373-0.869X_{50}-0.387X_{80}-0.722X_{32}+0.433X_3-0.203X_{16}+0.103X_{24}+0.066X_{77}$（$F$=1 271.797，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=2.801<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=0.10<$\chi^2_{0.995}$（10）=2.16。

表 4　郴州气象因子逐步筛选结果

Table 4　Results of stepwise selection of meteorological factors in Chenzhou

模型编号 Model number	自变量 Independent variable	代表气象因子 Meteorological factor	*B*	显著水平 *P* Significant level	*VIF*
1	常数 Contant	\	6.800	0.000	\
	X_{52}	6 月上旬平均气温(℃) Average temperature in the early of June	1.013	0.000	1.502
	X_{53}	6 月中旬平均气温（℃）Average temperature in the mid-June	−0.756	0.000	1.505
	X_{60}	5 月下旬日照时数（h）Sunshine duration in the late of May	−0.591	0.000	1.206
	X_{23}	11 月平均日照时数（h）Average sunshine duration in Nov.	0.373	0.000	1.808
	X_{65}	7 月中旬日照时数（h）Sunshine duration in mid-July	−0.198	0.010	1.578
2	常数 Contant	\	7.323	0.000	\
	X_{59}	5 月中旬日照时数（h）Sunshine duration in mid-May	−0.457	0.000	1.332
	X_{75}	7 月下旬降水量（mm）Rainfall in the late of July	0.588	0.000	3.235
	X_{56}	7 月中旬平均气温（℃）Average temperature in mid-July	0.637	0.000	1.935
	X_4	4 月平均气温（℃）Average temperature in Apr.	0.447	0.000	2.542
	X_{67}	5 月上旬降水量（mm）Rainfall in the early of May	0.298	0.000	1.246
	X_{57}	7 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of July	0.137	0.004	2.096
	X_{51}	5 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of May	−0.125	0.005	1.898

表 5　郴州气象回测结果卡方检验（χ^2）

Table 5　Chi-square test of back-subtitution prediction of meteorological factors in Chenzhou (χ^2)

年份 Year	Y_1	Y_1 预测值 Y_1 predicted value	χ^2	Y_2	Y_2 预测值 Y_2 predicted value	χ^2
2000	9.25	9.30	0.00	5.78	5.83	0.00
2001	5.58	5.56	0.00	5.85	5.76	0.00
2002	7.64	7.83	0.00	8.01	7.74	0.01
2003	8.06	7.74	0.01	9.20	8.95	0.01
2004	5.17	4.93	0.01	7.63	7.48	0.00
2005	6.42	6.67	0.01	7.03	7.04	0.00
2006	6.35	6.50	0.00	7.30	7.17	0.00
2007	6.90	6.78	0.00	6.67	6.60	0.00
2008	8.13	8.20	0.00	6.78	6.79	0.00
2009	6.76	6.69	0.00	9.14	9.17	0.00
2010	6.09	6.00	0.00	8.47	8.38	0.00
2011	6.70	6.66	0.00	6.61	6.56	0.00
2012	6.90	6.89	0.00	7.11	7.10	0.00
2013	5.24	5.52	0.01	6.94	6.75	0.01

Y_1 为郴州地区烟田全年斜纹夜蛾总幼虫数原始数据对数化（*L*n）之后的值（只/250 株），Y_2 为郴州地区烟田全年诱斜纹夜蛾总成虫量原始数据对数化（*L*n）之后的值（只/3 皿）。下表同。

Y_1 and Y_2: The results that logarithmic (*L*n) analysis utilizing the original data of larvae and adult of *S. litura*. The same below.

2.1.3　利用广州当年气象因子所得预测模型

根据 1.2.3 的方法，筛选出广州的主要气象因子，得到预测模型 5：

$Y_{1\text{-}3}=6.800+1.131X_{36}-0.647X_{33}+0.381X_{14}+0.315X_5-0.249X_6+0.158X_4-0.119X_7$（$F$=534.710, P=0.000<0.05）

满足 *VIF* 最大值=3.173<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=0.01<$\chi^2_{0.995}$（12）=3.07。

得预测模型 6：$Y_{2\text{-}3}=7.323+0.669X_2$（$F$=7.777, P=0.016<0.05）

满足 *VIF* 最大值=1.000<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=1.20<$\chi^2_{0.995}$（12）=3.07。

2.1.4　利用南昌当年气象因子所得预测模型

利用 1.2.3 相同的方法得到预测模型 7：$Y_{1-4}=6.800+0.629X_{49}$（$F$=4.972，$P$=0.046<0.05）

满足 *VIF* 最大值=1.000<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=1.84<$\chi^2_{0.995}$（12）=3.07。

得到预测模型 8：$Y_{2-4}=7.323+0.775X_{30}-0.676X_{49}$（$F$=12.701，$P$=0.001<0.05）

满足 *VIF* 最大值=1.067<5，$P(\chi^2)$>0.995；χ^2=0.62<$\chi^2_{0.995}$（12）=3.07。

2.1.5　四地未参与建模过程的后期年份的预测结果卡方检验

利用所建模型预测相应地区未参与建模年

份的斜纹夜蛾年发生动态，得到 Y_1 与 Y_1 预测值 χ^2=0.62<$\chi^2_{0.995}$（6）=0.68（表 6）；Y_2 与 Y_2 预测值 χ^2=1.59<$\chi^2_{0.950}$（6）=1.64（表 6）。

表 6 利用所建各模型分别对相应地区未参与建模年份的斜纹夜蛾年发生动态进行预测所得的结果卡方检验（χ^2）

Table 6 Chi-square test of predicted results that these models predict the annual occurrence dynamics of *Spodoptera litura* in years that not participate in modeling in 4 areas (χ^2)

序号 No.	Y_1	Y_1 预测值 Y_1 predicted value	χ^2	Y_2	Y_2 预测值 Y_2 predicted value	χ^2
1	6.90	7.06	0.00	7.11	7.15	0.00
2	5.24	6.80	0.36	6.94	9.87	0.87
3	6.79	5.93	0.12	8.18	8.42	0.01
4	6.88	7.59	0.07	7.01	7.42	0.02
5	6.79	6.21	0.05	8.18	6.48	0.44
6	6.88	6.56	0.02	7.01	7.40	0.02
7	6.79	6.87	0.00	8.18	6.91	0.23
8	6.88	7.05	0.00	7.01	6.82	0.00

2.2 四地往年气象因子与郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态分析

2.2.1 郴州往年气象因子与郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态分析 根据 1.2.1 的方法，筛选出郴州主要的往年气象因子（表 7）。从表 7 得预测模型 9：

$Y_{1\text{-}5}$=6.612 − 0.564X_{21}+0.740X_{83}+0.794X_{23} − 0.421X_5 − 0.250X_{71} − 0.131X_{57} − 0.129X_{51}+0.099X_{76}（F=1 086.163，P=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=3.559<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=0.17<$\chi^2_{0.995}$（11）=2.60。

得预测模型 10：$Y_{2\text{-}5}$=7.442 − 0.569X_{55}+0.481X_{81}（F=8.073，P=0.008<0.05）

满足 VIF 最大值=1.019<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=0.72<$\chi^2_{0.995}$（11）=2.60（表 8）。

2.2.2 长沙往年气象因子与郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态分析 利用 1.2.1 相同方法得到预测模型 11：$Y_{1\text{-}6}$= 6.612+0.589X_{60}（F=6.625，P=0.026<0.05）

满足 VIF 最大值=1.000<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=1.00<$\chi^2_{0.995}$（9）=1.73。

得到预测模型 12：

$Y_{2\text{-}6}$=7.518+0.815X_{61} − 0.950X_{72} − 0.471X_{16}+0.191X_{64}+0.254X_{29} − 0.128X_{76}（F=588.643，P=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=2.545<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=0.10<$\chi^2_{0.995}$（9）=1.73。

2.2.3 广州往年气象因子与郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态分析 根据 1.2.3 的方法，筛选出广州的往年气象主要因子，得预测模型 13：

表 7 郴州往年气象因子逐步筛选结果

Table 7 Results of stepwise selection of meteorological factors in the previous years in Chenzhou

模型编号 Model number	自变量 Independent variable	代表气象因子 Meteorological foctor	B	显著水平 P Significant level	VIF
9	常数 Contant	\	6.612	0.000	\
	X_{21}	9 月平均日照时数（h）Average sunshine duration in Sep.	−0.564	0.000	1.642
	X_{83}	7 月中旬平均相对湿度（%）Average huminity in mid-July	0.740	0.000	2.088
	X_{23}	11 月平均日照时数（h）Average sunshine duration in Nov.	0.794	0.000	3.559
	X_5	5 月平均气温（℃）Average temperature in May	−0.421	0.000	2.769
	X_{71}	6 月中旬降水量（mm）Rainfall in mid-June	−0.250	0.000	2.711
	X_{57}	7 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of July	−0.131	0.000	1.365
	X_{51}	5 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of May	−0.129	0.001	1.951
	X_{76}	5 月上旬平均相对湿度（%）Average huminity in the early of May	0.099	0.007	3.529
10	常数 Contant	\	7.442	0.000	\
	X_{55}	7 月上旬平均气温（℃）Average temperature in the early of July	−0.569	0.017	1.019
	X_{81}	6 月下旬平均相对湿度（%）Average huminity in the late of June	0.481	0.036	1.019

表 8　郴州往年气象回测卡方检验（χ^2）

Table 8　Chi-square test of back-subtitution prediction of meteorological factors in Chenzhou (χ^2)

序号 No.	Y_1 预测值			Y_2 预测值		
	Y_1	Y_1 predicted value	χ^2	Y_2	Y_2 predicted value	χ^2
1	5.58	6.01	0.03	5.85	6.71	0.11
2	7.64	7.85	0.01	8.01	7.81	0.01
3	8.06	8.46	0.02	9.20	8.97	0.01
4	5.17	5.45	0.01	7.63	6.22	0.32
5	6.42	6.67	0.01	7.03	7.80	0.08
6	6.35	6.82	0.03	7.30	7.54	0.01
7	6.90	7.14	0.01	6.67	7.06	0.02
8	8.13	8.29	0.00	6.78	7.00	0.01
9	6.76	7.02	0.01	9.14	8.64	0.03
10	6.09	6.46	0.02	8.47	8.12	0.02
11	6.70	7.00	0.01	6.61	7.35	0.07
12	6.90	7.19	0.01	7.11	6.90	0.01
13	5.24	5.46	0.01	6.94	7.28	0.02

$Y_{1\text{-}7}=6.612-1.131X_{50}+1.048X_{17}-0.658X_{14}-0.193X_{23}+0.315X_{38}-0.187X_{45}-0.157X_{40}-0.051X_{16}$（$F$=7 987.811，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=3.670<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=0.55<$\chi^2_{0.995}$（11）=2.60。

得预测模型 14：

$Y_{2\text{-}7}=7.442-0.616X_{30}+0.697X_3+0.626X_{29}-0.267X_{13}-0.384X_2-0.242X_{36}+0.137X_{19}$（$F$=370.541，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=2.856<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=0.14<$\chi^2_{0.995}$（11）=2.60。

2.2.4　南昌往年气象因子与郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态分析

利用 1.2.3 相同方法得到预测模型 15：

$Y_{1\text{-}8}=6.612+0.429X_3+0.593X_{11}-0.719X_{25}-0.421X_{50}+0.367X_{22}+0.161X_{31}-0.088X_7-0.067X_4+0.029X_{19}$（$F$=13 259.975，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=2.558<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=0.00<$\chi^2_{0.995}$（11）=2.60。

得到预测模型 16：

$Y_{2\text{-}8}=7.442+1.009X_{33}+0.277X_{22}-0.684X_{29}-0.453X_{11}$（$F$=29.502，$P$=0.000<0.05）

满足 VIF 最大值=2.218<5，P（χ^2）>0.995；χ^2=0.52<$\chi^2_{0.995}$（11）=2.60。

2.2.5　四地未参与建模过程的后期年份的预测结果卡方检验

利用所建模型预测四地未参与建模年份的斜纹夜蛾年发生动态，得到 Y_1 与 Y_1 预测值 χ^2=6.39<$\chi^2_{0.250}$（6）=7.84（表 9）；Y_2 与 Y_2 预测值 χ^2=3.74<$\chi^2_{0.500}$（6）=5.35（表 9）。

表 9　利用所建各模型分别对相应地区未参与建模年份的斜纹夜蛾年发生动态进行预测所得的结果卡方检验（χ^2）

Table 9　Chi-square test of predicted results that these models predict the annual occurrence dynamics of *Spodoptera litura* in years that not participate in modeling in 4 areas (χ^2)

序号 No.	Y_1 预测值			Y_2 预测值		
	Y_1	Y_1 predicted value	χ^2	Y_2	Y_2 predicted value	χ^2
1	6.90	6.97	0.00	7.11	5.11	0.78
2	5.24	5.60	0.02	6.94	7.24	0.01
3	6.79	5.21	0.48	8.18	6.47	0.45
4	6.88	4.16	1.78	7.01	7.76	0.07
5	6.79	4.69	0.94	8.18	8.56	0.02
6	6.88	3.55	3.12	7.01	9.41	0.61
7	6.79	6.56	0.01	8.18	5.81	0.97
8	6.88	6.36	0.04	7.01	9.88	0.83

2.3　影响斜纹夜蛾的关键因子及通用预测模型

(1) 以郴州地区关键气象因子为自变量构建的通用模型：共筛选出影响幼虫发生动态的 12 个显著气象因子和影响成虫发生动态的 9 个显著气象因子，各个因子依回归系数大小排列如下，回归系数越大，表示影响作用越显著。

得出第一组通用模型为：

$$Y_1=b_0+b_1X_{23}+b_2X_{52}+b_3X_{53}+b_4X_{83}+b_5X_{60}+b_6X_{21}+b_7X_5+b_8X_{71}+b_9X_{65}+b_{10}X_{57}+b_{11}X_{51}+b_{12}X_{76}$$

$$Y_2=b_0+b_1X_{56}+b_2X_{75}+b_3X_{55}+b_4X_{81}+b_5X_{59}+b_6X_4+b_7X_{67}+b_8X_{57}+b_9X_{51}$$

(2) 以长沙地区关键气象因子为自变量构建的通用模型：共筛选出影响幼虫发生动态的 5 个

表 10 影响幼虫发生动态的气象因子

Table 10 Meteorological factors affecting occurrence dynamics of larvae

自变量 Independent variable	代表气象因子 Meteorological foctor	在 8 个幼虫预测模型中的出现次数 Frequency of occurrence in 8 models of larvae	回归系数绝对值 *B* absolute value
X_{23}	11 月平均日照时数（h）Average sunshine duration in Nov.	2	1.167
X_{52}	6 月上旬平均气温（℃）Average temperature in the early of June	1	1.013
X_{53}	6 月中旬平均气温（℃）Average temperature in the mid-June	1	0.756
X_{83}	7 月中旬平均相对湿度（%）Average huminity in mid-July	1	0.740
X_{60}	5 月下旬日照时数（h）Sunshine duration in the late of May	1	0.591
X_{21}	9 月平均日照时数（h）Average sunshine duration in Sep.	1	0.564
X_5	5 月平均气温（℃）Average temperature in May	1	0.421
X_{71}	6 月中旬降水量（mm）Rainfall in mid-June	1	0.250
X_{65}	7 月中旬日照时数（h）Sunshine duration in mid-July	1	0.198
X_{57}	7 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of July	1	0.131
X_{51}	5 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of May	1	0.129
X_{76}	5 月上旬平均相对湿度（%）Average huminity in the early of May	1	0.099

表 11 影响成虫发生动态的气象因子

Table 11 Meteorological factors affecting occurrence dynamics of adult

自变量 Independent variable	代表气象因子 Meteorological foctor	在 8 个成虫预测模型中的出现次数 Frequency of occurrence in 8 models of larvae	回归系数绝对值 *B* absolute value
X_{56}	7 月中旬平均气温（℃）Average temperature in mid-July	1	0.637
X_{75}	7 月下旬降水量（mm）Rainfall in the late of July	1	0.588
X_{55}	7 月上旬平均气温（℃）Average temperature in the early of July	1	0.569
X_{81}	6 月下旬平均相对湿度（%）Average huminity in the late of June	1	0.481
X_{59}	5 月中旬日照时数（h）Sunshine duration in mid-May	1	0.457
X_4	4 月平均气温（℃）Average temperature in Apr.	1	0.447
X_{67}	5 月上旬降水量（mm）Rainfall in the early of May	1	0.298
X_{57}	7 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of July	1	0.137
X_{51}	5 月下旬平均气温（℃）Average temperature in the late of May	1	0.125

气象因子和影响成虫发生动态的 11 个气象因子。得出第 2 组通用模型：

$$Y_1=b_0+b_1X_{27}+b_2X_{36}+b_3X_{60}+b_4X_{21}+b_5X_{24}$$

$$Y_2=b_0+b_1X_{16}+b_2X_{72}+b_3X_{50}+b_4X_{61}+b_5X_{32}+b_6X_3+b_7X_{80}+b_8X_{29}+b_9X_{76}+b_{10}X_{24}+b_{11}X_{77}$$

(3) 以广州地区关键气象因子为自变量构建的通用模型：共筛选出影响幼虫发生动态的 14 个气象因子和影响成虫发生动态的 7 个气象因子。得出第 3 组通用模型：

$$Y_1=b_0+b_1X_{14}+b_2X_{36}+b_3X_{50}+b_4X_{17}+b_5X_{33}+b_6X_5+b_7X_{38}+b_8X_6+b_9X_{23}+b_{10}X_{45}+b_{11}X_4+b_{12}X_{40}+b_{13}X_7+b_{14}X_{16}$$

$$Y_2=b_0+b_1X_2+b_2X_3+b_3X_{29}+b_4X_{30}+b_5X_{13}+b_6X_{36}+b_7X_{19}$$

(4) 以南昌地区关键气象因子为自变量构建的通用模型：共筛选出影响幼虫发生动态的 10

个气象因子和影响成虫发生动态的 6 个气象因子。得出第 4 组通用模型：

$$Y_1=b_0+b_1X_{25}+b_2X_{49}+b_3X_{11}+b_4X_3+b_5X_{50}+b_6X_{22}+b_7X_{31}+b_8X_7+b_9X_4+b_{10}X_{19}$$

$$Y_2=b_0+b_1X_{33}+b_2X_{30}+b_3X_{29}+b_4X_{49}+b_5X_{11}+b_6X_{22}$$

b 值为各个因子对应的回归系数值。

3　讨论

3.1　合理利用异地和往年气象因子构建其当年害虫发生动态预测模型的可行性

（1）本研究总共收集整理了 14 年的长沙气象，16 年的郴州、广州、南昌气象资料，以及 16 年的郴州地区烟田斜纹夜蛾虫情资料，利用 SPSS 软件中逐步回归分析法和卡平方分析法构建和筛选有效的多因子预测模型，共建立显著有效模型 16 个，均满足 3 个水准条件；卡方检验结果表明，16 个模型的全部回测结果均满足 $\chi^2<\chi^2_{0.995}$，这些模型的回代预测值与实测值之间历史符合率大于 99.5%（图 1，图 2 为例）；共获得 4 组卡方累计值，第 1 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.995}$，第 2 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.950}$，第 4 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.500}$，第 3 组满足 $\chi^2<\chi^2_{0.250}$；即对未参与建模的年份的幼虫成虫进行预测，第 1 组幼虫预测值与实测值符合率大于 99.5%（图 3），第 2 组成虫预测值与实测值符合率大于 95%（图 4），预测效果完美；对未参与建模的年份的幼虫成虫进行预测，第 3 组幼虫预测值与实测值符合率大于 25%，第 4 组成虫预测值与实测值符合率大于 50%，仍然符合 $\chi^2<\chi^2_{0.05\text{-}0.995}$、$P(\chi^2)\geq0.05$ 的条件，预测有效。

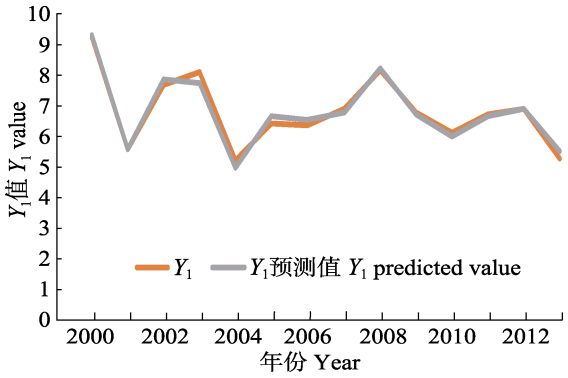

图 1　郴州气象预测幼虫结果对比

Fig. 1　Result comparison that predict larvae by using meteorological factors in Chenzhou

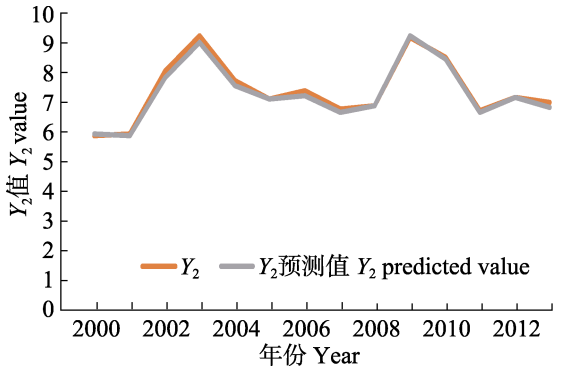

图 2　郴州气象预测成虫结果对比

Fig. 2　Result comparison that predict adult by using meteorological factors in Chenzhou

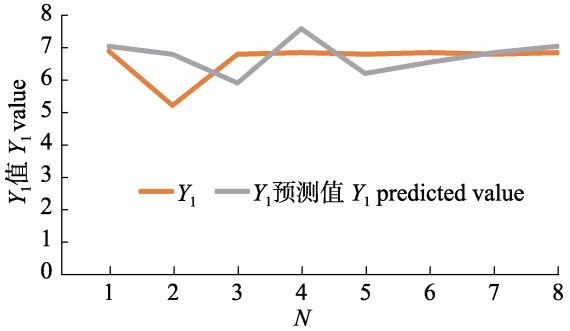

图 3　幼虫预测结果对比

Fig. 3　Result comparison of larvae prediction

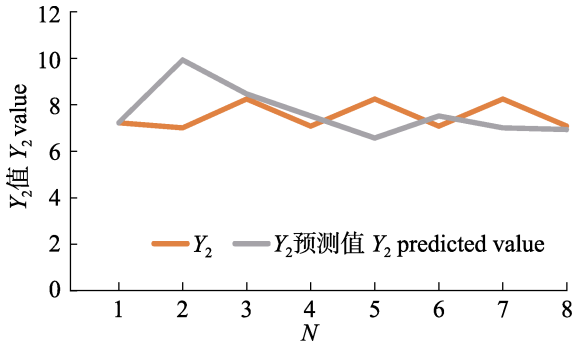

图 4　成虫预测结果对比

Fig. 4　Result comparison of adult prediction

利用异地和往年气象资料预测同一地点害虫年发生动态得到的结果中多个个案的 Y_1 预测值与 Y_1 实测值、Y_2 预测值与 Y_2 实测值都可达到 $\chi^2\leq\chi^2_{0.05\text{-}0.995}$，预测效果完美，由此表明这种预测方法是准确可行的。

（2）本文综合得出的 4 组通用模型不是绝对模型，而是动态模型；随着年份的变化，每年都会有新的害虫发生量和新的气象数据，因此对害虫年发生动态进行预测的相关数据资料也应该

即时更新；人们在进行预测时可直接根据通用模型中筛选出的主要影响因子预测。利用长沙、广州和南昌当年以及往年气象所构建的预测模型可准确预测郴州害虫年发生动态，这是具有实际意义的，如果某一个地区历史气象资料或虫情资料缺失，则根据其他地区的相关资料，然后按照该预测方法亦可开展预测模型构建，可对当地害虫年发生动态进行准确预测。该预测方法不只适合于斜纹夜蛾，其他种群也适用，可以全面推广应用。

3.2 影响郴州地区烟田斜纹夜蛾年发生动态的主要气象因子

（1）利用郴州市 16 年斜纹夜蛾虫情资料，郴州、长沙、广州、南昌 4 个不同地区对应年份的共 274 个气象因子，构建了 4 组通用预测模型，模型中共获得显著影响因子 66 个。

斜纹夜蛾年发生动态更多的是与温度、降水量、湿度密切相关，尤其是在一段时间内变化幅度较大的气象因子，其对斜纹夜蛾年发生动态的影响较大；在适温范围内，斜纹夜蛾的生长发育随气温升高而加快，气温越高，越有利于斜纹夜蛾的生长发育；降水会改变土壤和空气的湿度，也会影响烟草的含水量，斜纹夜蛾的生长发育需要一定的湿度范围，环境湿度适宜有利于其发育，湿度太低则会影响其繁殖能力和死亡率。综合所得影响斜纹夜蛾年发生动态的显著气象因子，可知 5、6、7 月的平均气温、日照时数及降水量对的影响更为重要。在郴州地区桂阳烟田，斜纹夜蛾为害烟草在 6 月中旬至 7 月中旬达到高峰，被害株率最高可达 73.6%；郴州 6、7 月份平均气温在 26-30.2 ℃之间，降水丰富，平均相对湿度在 58%-83%之间，适合斜纹夜蛾活动；但有时温度过高，达到 37℃以上，则与斜纹夜蛾的生长发育成反比，会对其产生抑制作用。长沙、广州、南昌气象和郴州气象都受大尺度气象因素的影响，因此，四个不同地区的气象变化规律，虽然不尽相同，但在时间上，仍在一定程度上存在着同步性，1 月份到 3 月份各地平均气温基本低于 16 ℃，尤其夜晚温度过低，日照时数也相对较短，不适合斜纹夜蛾的生长发育。

（2）其他没有进入回归模型，没有被筛选出来的气象因子，并非对斜纹夜蛾发生动态完全没有影响，其原因有：第一有的月份的降水量、温度或其组合因素在各年间没有太多变化，较为稳定，第二有的月份气象因子有较大变化，但仍在斜纹夜蛾生存发展的适宜范围内；不同地区筛选出来的主要气象因子并不是就是郴州地区烟田斜纹夜蛾发生的原因，各个地区气象都受大气象因素的影响，本身存在相关关系，一个地区的气象会影响另一个地区的气象，导致不同地区的气象会直接或间接的影响一个地区的害虫发生动态。不同地区的气象对斜纹夜蛾年发生动态的影响因子不同，各因子的作用程度也不同，但其发生量受有关气象因子的影响趋势基本稳定（张福丽，2009）。

（3）本文所建预测模型，虽然具有较高的历史符合率和预测能力，但对于局部地区斜纹夜蛾的具体发生量，即使气象因子对其发生动态以及对其食料、天敌有很大的影响作用，但如果当地食料质量差，天敌众多，害虫本身抗药性不强等，也会影响害虫的发生动态及发生量。所以说本文所建预测模型可以准确预测害虫发生动态，但在预测害虫具体发生量时，也许还应当考虑害虫生存寄主或当地其他因素。

3.3 展望

害虫的预测不只局限于同期和附近事物的影响，害虫的发生动态也不是只受气象因子的影响，还有天敌、自然资源等因素的影响，我们可以收集整理更多具有全球性和关键性影响的各种环境因子数组和不同害虫群体发生量的多年累积数据，构建害虫发生动态预测分析全球通用关键因子预设数组平台，从而更全面更准确的进行害虫发生动态预测。利用此平台可筛选出某一种害虫的主要影响因子和一般影响因子，可分析出几种害虫的共同影响因子，可构建某种害虫多年间任一时间段内的发生动态模型，为人们进一步了解、预测主要害虫发生动态提供方便有效的预测方法及预测平台，为害虫的预防及综合治理

提供好的基础，以保证作物的产量和质量不受或少受因病虫害造成的损失。

参考文献 (References)

Chen HL, Zhang H, Li Y, 2007. Review on research of meteorological conditions and prediction methods of crop disease and insect pest. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 28(2): 212–216. [陈怀亮, 张弘, 李有, 2007. 农作物病虫害发生发展气象条件及预报方法研究综述. 中国农业气象, 28(2): 212–216.]

Dong KL, 2013. Analysis of prediction and forecast of tobacco pests and diseases in Yiyang County of Henan Province in 2012. *Biological Disaster Science*, 36(4): 374–378. [董昆乐, 2013. 2012 年河南省宜阳县烟草病虫害预测预报分析. 生物灾害科学, 36(4): 374–378.]

John KW, Dale WS, Ritchie SE, Paul GS, 2003. Emergence of overwintered boll weevils (Coleoptera: Curculionidae) in relation to microclimatic factors. *Environmental Entomology*, 32(1): 133–140.

Kang AG, Jiang YY, Wang HJ, Zhang YH, Li Q, Pang HY, Shen C, Li JY, 2012. Predictingbeet webworm occurrence with the Markov chain model. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(5): 1243–1248. [康爱国, 姜玉英, 王贺军, 张玉慧, 李强, 庞红岩, 沈成, 李金有, 2012. 应用马尔科夫链模型对草地螟发生程度的预测. 应用昆虫学报, 49(5): 1243–1248.]

Liu J, Zhang ZS, Ma LW, Huang F, Wei JG, Zhang YL, 2015. Occurrence of *Aphis* sp. on *Lycium barbarum* L. and its meteorological grades forecast in Ningxia. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 36(3): 356–363. [刘静, 张宗山, 马力文, 黄峰, 卫建国, 张玉兰, 2015. 宁夏枸杞蚜虫发生规律及其气象等级预报. 中国农业气象, 36(3): 356–363.]

Ouyang Y, Li J, Zhang D, Fan E, Li Y, Zhang L, 2017. A model to predict the incidence of allergic rhinitis based on meteorological factors. *Sci. Rep*., 7(1): 10006.

Radia S, Mireille BH, Marianne S, 2016. Predicting fluctuating rates of hospitalizations in relation to influenza epidemics and meteorological factors. *PLoS ONE*, 11(6): 1–14.

Wang YX, Jiang CY, Xu GQ, 2011. Potential distribution of an invasive pest, *Eriosoma lanigerum* in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(2): 379–391. [王兴亚, 蒋春廷, 许国庆, 2011. 外来入侵种——苹果绵蚜在中国的适生区预测. 应用昆虫学报, 48(2): 379–391.]

Wen LZ, Zhang YJ, Zhu L, Wang SL, Xiao Q, Yang ZX, 2011. Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner) in China. *Acta Ecologica Sinica*, 31(11): 2978–2989. [文礼章, 张友军, 朱亮, 王少丽, 肖强, 杨中侠, 2011. 我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动. 生态学报, 31(11): 2978–2989.]

Wen LZ, Wen YC, Chu FD, Wen YF, Yang ZX, 2014. Large-scale geographical variation and cause analysis on the frequency of intermittent outbreak of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 232–247. [文礼章, 文意纯, 诸凤丹, 文雅峰, 杨中侠, 2014. 我国甜菜夜蛾间歇性暴发频度的大尺度地理差异及其成因分析. 应用昆虫学报, 51(1): 232–247.]

Wen LZ, Wen YF, Wen YC, Yang ZX, Tan WW, Han YQ, 2015. Universal key factor preset array platform. China: CN104915535A, 2015–09–16. [文礼章, 文雅峰, 文意纯, 杨中侠, 谭伟文, 韩永强, 2015. 生物种群动态预测分析全球通用关键因子预设数组平台. 中国: CN104915535A, 2015–09–16.]

Wen LZ, Zhang YJ, 2010. Modelling of the relationship between the frequency of large-scale outbreak of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and the wide-area temperature and rainfall trends in China. *Acta Entomologica Sinica*, 53(12): 1367–1381. [文礼章, 张友军, 2010. 我国甜菜夜蛾大尺度暴发频度与广域温度和广域降雨量关系的预测模型. 昆虫学报, 53(12): 1367–1381.]

Xiao LB, Wang FL, Chen H, Wang Z, Bai LX, 2015. The establishment and application of mid-term forecasting model of *Apolygus lucorum*(Meyer-Dür). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 623–630. [肖留斌, 王凤良, 陈华, 王震, 柏立新, 2015. 绿盲蝽中期预测模型的组建与应用. 应用昆虫学报, 52(3): 623–630.]

Zhang FL, 2009. Impact of meteorological factors on three forest diseases and pests in Heilongjiang Province and forecasting. Doctor dissertation. Haerbin: Northeast Forestry University. [张福丽, 2009. 气象因素对黑龙江省三种病虫害的影响及预测预报. 博士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.]

Zhou XZ, Wang ZX, Yu Y, Li S, Bi SD, Zhang GQ, Fang GF, Zhou YD, Zhang Z, Song YS, 2017. Comparison of models for forecasting peak abundance of *Dendrolimus punctatus* larvae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(6): 1031–1043. [周夏芝, 王振兴, 余燕, 李尚, 毕守东, 张国庆, 方国飞, 邹运鼎, 张桢, 宋玉双, 2017. 马尾松毛虫幼虫高峰期发生量的预测模型研究. 应用昆虫学报, 54(6): 1031–1043.]

Zhu XQ, 2010. Establish *Algedonia coclesalis* Watker forecasting model and early warning system. Master dissertation. Hangzhou: Zhejiang A&F University. [朱晓倩, 2010. 竹螟预测预报模型及预警体系的建立. 硕士学位论文. 杭州: 浙江农林大学.]