

环渤海夏蝗发生程度气象集成预报方法^{* 1}

姚树然¹⁾ 关福来²⁾ 李春强¹⁾

¹⁾ (河北省气象与生态环境重点实验室 河北省气象科学研究所, 石家庄 050021)

²⁾ (河北省气象局, 石家庄 050021)

摘 要

东亚飞蝗发生程度与气象条件关系密切, 该文使用 1980—2008 年的飞蝗资料和气象资料, 选择了环渤海 4 种典型(沿海、水库、洼淀、内涝)蝗区, 利用秩相关系数法筛选影响飞蝗发生程度的气象因子, 确定了影响不同蝗区夏蝗发生程度的气象因子指标集。利用权重修正气象距离法, 建立了气象距离指标预报模型; 依据飞蝗自身生物学特性, 建立了生物学预报模型。在此基础上, 基于蝗虫生物学和气象条件影响的共同作用, 建立了夏蝗发生程度的生物-气象集成长期预报模型。结果表明: 在环渤海飞蝗区域, 不同类型蝗区影响气象因子有一定差别, 集成预报模型趋势预报准确率高于其他模型。

关键词: 夏蝗发生程度; 气象条件; 距离模型; 集成预报

引 言

环渤海蝗区是我国主要蝗区之一, 也是东亚飞蝗发生基地, 位于我国的东部沿海地区, 包括河北省、天津等蝗区。环渤海东亚飞蝗在 20 世纪 90 年代后期至 21 世纪初期发生程度较重, 如 1998—2002 年环渤海先后多次出现高密度蝗群, 密度达 1000 头/m² 以上, 给当地农业生产带来严重威胁。蝗虫的发生、发展是自身生物特性与其生存环境相互作用的结果, 其中气象条件对蝗虫的影响最直接。大量研究表明, 在其他条件(如适生环境、虫源基数)具备的情况下, 气象条件往往成为影响蝗虫发生程度的决定性因素^[1-3]。环渤海蝗区为季风气候区, 天气气候环境条件对蝗虫灾害发生作用明显^[4-6]。

气象因子对飞蝗发生的影响引起了诸多学者的关注^[7-9], 其中, 既有分析气象条件与蝗虫发生程度的定性关系, 如温度对于蝗虫地理分布的影响^[10], 还有分析二者之间的定量关系, 并建立预测模型^[11-13], 如前期干旱、温度偏高对飞蝗发生程度的定量影响^[13-14], 预报蝗虫发生的气候定量指标^[15]。此

外, 还有从生态学观点出发, 建立基于湿热系数的蝗卵孵化死亡率的估计模型^[16]。这些研究从不同时间、空间尺度描述了蝗虫发生及与气象条件的关系, 并进行定性分析、定量预报, 为了解蝗虫的发生规律及预测、防治起到重要作用。蝗虫发生、发展程度除受气象等环境因素的影响外, 其自身生物特性也具有一定作用, 如影响飞蝗发生程度的每年虫源基数与诸多因素有关, 包括飞蝗的防治力度, 飞蝗生存条件的生态环境变化如植被长势好坏、天敌的多少等, 这些因素共同对飞蝗发生程度起重要作用。因此, 气象条件不能完全表述对飞蝗发生程度的影响规律, 以此为基础的飞蝗发生程度的气象分析与预报模型在实际应用中常表现出不稳定性。

基于前人对蝗虫发生、发展程度预报的研究, 在不考虑异地虫源的前提下(因蝗虫多年来预防和治理效果显著, 异地迁飞现象很少), 本文从环境条件与蝗虫生物学特性出发, 综合分析气象和飞蝗自身生物潜能对飞蝗发生程度的共同影响与作用, 采用数理统计方法, 建立相对稳定的飞蝗发生程度的集成预报模型, 开展环渤海飞蝗发生程度预报, 为蝗虫防治提供及时的预警信息。

* 科技部农业转化资金项目(2007GB24160444)资助。
2009-11-02 收到, 2010-07-06 收到再改稿。

1 资料来源

1.1 飞蝗资料

选择环渤海典型蝗区黄骅、安新、平山、大城,分别代表沿海、洼淀、水库、内涝 4 个类型蝗区^[17],其中属于沿海蝗区的黄骅位于渤海沿岸,海拔在 5 m 以下,地势低平,地广人稀,耕作粗放,常年杂草丛生,是东亚飞蝗的发生基地;属于洼淀蝗区的安新位于河北省中部,海拔 10 m 左右,主要分布在白洋淀周围,其洼淀周边多为苇荒地,形成了飞蝗的天然孳生场所,是东亚飞蝗的常发区;属于水库蝗区的平山位于太行山边沿,海拔 120 m 以上,蝗区主要分布在黄壁庄水库周边无人耕作地,因水库水位不稳定,飞蝗的适生面积变化较大;属于内涝蝗区的大城位于河北省广阔平原的低洼农区,海拔 5 m 左右,飞蝗主要发生在夹荒、渠堤、埝埂、沿河小片洼地等特殊环境。环渤海飞蝗每年发生两代,即夏蝗和秋蝗,本文以夏蝗为研究对象。资料来源于上述 4 县植保站,时间为 1980—2008 年,其中 1980—2006 年资料用于建模,2007—2008 年资料用于延伸预报。

1.2 气象资料

选用以上 4 个蝗区对应的县气象站气象资料,包括月和旬的气温、降水、日照、空气相对湿度、土壤温度等要素,资料年代与夏蝗观测资料一致。

2 夏蝗发生程度气象预报模型

2.1 因子筛选

Spearman 秩相关系数分析常用于以等级尺度观测的资料,用其进行影响夏蝗的气象因子筛选,计算公式为

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)} \quad (1)$$

式(1)中, R_s 为秩相关系数, N 为成对数据(X, Y)的个数, D 表示相应 X, Y 值所对应秩的差值。计算时将每组数据按照大小、重要性等方法排序,从 1 到 N 确定其秩,用数据的秩代替数据的值来进行相关性分析。

通过对 4 个类型蝗区气象要素和夏蝗发生程度的秩相关系数计算,筛选关键气象因子(表 1)。从表 1 可见,被选入的因子中,不同蝗区有共同的气象因子,分别是前一年 7 月、8 月气温,因前一年 7—8 月高温可促进秋蝗生长发育和繁殖,为来年夏蝗的发生提供虫源,这是影响夏蝗发生的关键因子。前一年 10 月降水偏多是诱发 3 个蝗区(安新、平山、大城)夏蝗大发生的共同因子。10 月是秋蝗产卵的关键时期,土壤水分对其影响很大。研究表明,土壤的温、湿度状况对蝗卵孵化与否及死亡率高有直接影响^[18],只要蝗卵从环境中吸收到足够的水分,就可以完成发育。

表 1 影响环渤海不同蝗区的主要气象因子及秩相关系数

Table 1 Major meteorological factors and rank correlation coefficient affecting the locust-infested areas around the Bohai Sea

序号	黄骅		安新		平山		大城	
	气象因子	秩相关系数	气象因子	秩相关系数	气象因子	秩相关系数	气象因子	秩相关系数
1	7 月气温 [#]	0.405*	7 月气温 [#]	0.359*	7 月气温 [#]	0.438*	7 月气温 [#]	0.574**
2	8 月气温 [#]	0.657**	8 月地面温度 [#]	0.435*	8 月气温 [#]	0.552**	8 月气温 [#]	0.486*
3	10 月气温 [#]	0.473**	10 月降水 [#]	0.382*	10 月降水 [#]	0.458**	9 月最高温度 [#]	0.389*
4	9 月最高气温 [#]	0.407*	12 月 10 cm 地温 [#]	0.700**	1 月最高气温	0.536**	10 月降水 [#]	0.363*
5	11 月下旬气温 [#]	0.407*	1 月 10 cm 地温	0.676**	12 月上旬降水 [#]	0.404*	2 月气温	0.423*
6	4 月上旬降水	-0.336*	2 月气温	0.542**	12 月中旬降水 [#]	0.434*	3 月气温	0.474*
7	4 月下旬气温	-0.399*	3 月气温	0.405*	5 月上旬降水	0.408*	1 月中旬降水	0.415*
8			4 月空气湿度	0.604**	5 月中旬降水	0.487**	1 月中旬 10 cm 地温	0.511*
9			5 月上旬空气湿度	0.455**			3 月下旬降水	-0.438*
10			4 月下旬降水	0.356*			4 月中旬气温	0.3977*

注:“#”为前一年气象因子,其他为当年因子。“*”,“**”分别为气象因子通过 0.05 和 0.01 显著性水平检验。

黄骅因地势较低,10 月降水偏多易形成长时间积水,部分蝗卵受淹死亡,孵化率降低,因此黄骅蝗区前一年 10 月降水不是夏蝗发生程度较重的主要

因子。其他影响因子因蝗区不同而有一定差别,其中冬季气温或地温也是影响夏蝗发生程度的主要因子,同时春季气温和蝗蛹出土前的降水对夏蝗有显

著影响,前期气象因子对夏蝗具有明显滞后和累积效应。

2.2 权重修正的气象距离模型

采用文献[18-19]权重修正的气象因子集向量距离方法,其计算方法为:将采用 Spearman 秩相关系数筛选不同蝗区的气象因子分别进行有序组合,建立气象因子向量集

$$\Phi = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}。 \quad (2)$$

建立两种极端状况的参照向量,即极不利于和极有利于夏蝗发生的气象条件向量

$$\Phi_{01} = \{x_{1,01}, x_{2,01}, \dots, x_{n,01}\}, \quad (3)$$

$$\Phi_{02} = \{x_{1,02}, x_{2,02}, \dots, x_{n,02}\}。 \quad (4)$$

当 $R_{iy} > 0$ 时, $x_{i,01} = \frac{\max(x_i) - \text{avg}(x_i)}{\sigma(x_i)}$,

$$x_{i,02} = \frac{\min(x_i) - \text{avg}(x_i)}{\sigma(x_i)};$$

当 $R_{iy} < 0$ 时, $x_{i,01} = \frac{\min(x_i) - \text{avg}(x_i)}{\sigma(x_i)}$,

$$x_{i,02} = \frac{\max(x_i) - \text{avg}(x_i)}{\sigma(x_i)}。$$

上式中 R_{iy} (秩相关系数) 为第 i 个因子与夏蝗发生程度的相关系数。式(2)~(4)中, x_i 为第 i 个因子的实际值; $\sigma(x_i)$, $\text{avg}(x_i)$, $\max(x_i)$, $\min(x_i)$ 分别为第 i 个因子的均方差、平均值、历史最大值和历史最小值,均为 1980—2006 年气象资料。

计算实际气象向量与两个参照向量 Φ_{01} , Φ_{02} 之间的欧氏距离

$$d_1 = \sum_{i=1,n} P_i \cdot \sqrt{(t_i' - x_{i,01})^2}, \quad (5)$$

$$d_2 = \sum_{i=1,n} P_i \cdot \sqrt{(t_i' - x_{i,02})^2}。 \quad (6)$$

经过归一化处理,则气象条件有利于夏蝗发生

的距离比指标

$$d_r = \frac{d_1}{d_2}。 \quad (7)$$

式(5),(6),(7)中, t_i' 为第 i 个因子的标准化值, d_1 , d_2 分别表示实际向量与易发生和与不易发生夏蝗的气象向量之间的距离, d_r 值越大,表示气象条件有利于夏蝗的发生,反之气象条件不利于夏蝗的发生, P_i 为第 i 因子在该距离指标中的贡献权重,计算方法为

$$U_i = R_{iy} \cdot (1 - \sum_{j=1,n} R_{ij} \cdot R_{jy}), \quad (8)$$

$$U = \sum_{i=1,n} R_{iy} - (\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} R_{iy} \cdot R_{jy} \cdot R_{ij}), \quad (9)$$

$$P_i = \frac{U_i}{U}。 \quad (10)$$

式(8),(9),(10)中, R_{iy} 为第 i 个因子与夏蝗发生程度的相关系数(秩相关系数), R_{ij} 为第 i, j 因子之间的相关系数, R_{jy} 为第 j 个因子与夏蝗发生程度的相关系数, U_i 表示第 i 个因子对夏蝗发生程度的独立影响程度, U 为整个因子集的影响程度, P_i 为第 i 个因子的贡献度,即第 i 个因子的影响在气象条件总影响中所占的比例,各因子贡献度之和 $\sum P_i = 1$, 当 $P_i < 0$ 时,表示第 i 个因子对夏蝗的影响已被其他因子的交叉相关所包含,在模式中自动剔除,减少因子之间的线性相关性。

利用最小误差统计分析方法^[19],经历史反查,建立了气象条件向量的距离比分级指标集(见表 2),当计算结果 d_r 值大于第 I 级分级指标 d_I , 并小于 $d_{r(I+1)}$ 时,预报夏蝗发生程度为第 I 级。据此建立夏蝗发生程度的气象向量距离预报模型。

表 2 基于气象距离比的环渤海不同蝗区夏蝗发生程度等级指标

Table 2 The indexes of meteorological Euclidean distance ratio for predicting the locust occurrence extent

蝗区站	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
黄骅	<0.6	0.6~0.7	0.8~0.9	1.0~1.3	>1.4
安新	<0.3	0.3~0.4	0.5~0.7	0.8~0.9	>1.0
平山	<0.5	0.5~0.6	0.7~1.0	1.1~1.4	>1.4
大城	<0.4	0.4~0.7	0.8~1.0	1.1~1.3	>1.4

表 2 中数据为夏蝗发生程度为 1,2,3,4,5 级对应的 d_r 指标值,夏蝗发生程度同植保站统一指标。

2.3 基于夏蝗自身生物潜能发生程度预报模型

飞蝗本身具有极强的适生和繁殖能力,夏蝗发生与前期的发生状态有密切关系,具有生物延续性,

其每年秋蝗的残蝗密度是下一代夏蝗发生的虫源基数,对夏蝗的发生程度起着重要作用^[4]。用直线回归方法建立夏蝗发生程度的生物潜能预报模型: $y = ax + b$ 式中, y 为发生程度预报值; x 为上一代秋蝗残蝗密度。所建方程(见表 3)均通过 0.01 的显

著性检验。

表3 环渤海不同蝗区夏蝗自身潜能预报模型

Table 3 The self-biotic predicting model of locust around the Bohai Sea

蝗区站	关系式	样本数	复相关系数
黄骅	$y=1.58+0.0044x$	27	0.503
安新	$y=1.8+0.003139x$	27	0.809
平山	$y=2.56+0.0031x$	27	0.632
大城	$y=0.93+0.0047x$	20	0.672

2.4 夏蝗发生程度的生物-气象集成预报模型

将气象条件影响与夏蝗自身生物潜能结合^[16],并进行权重集成,建立夏蝗生物-气象综合预报模型

$$y = \sum_{i=1,n} b'_i \cdot y_i \quad (11)$$

式(11)中, y 为夏蝗发生程度的综合预报结果; y_i

为 i 种模型的预报值; b'_i 为第 i 种模型的集成权重,模型的拟合率越高,其权重越大,本文以模型的历史拟合率表示

$$b'_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1,n} b_i} \quad (12)$$

式(12)中, b_i 为第 i 种模型的历史拟合率; n 为集成模型个数。

表4、表5为利用不同模型进行历史拟合及延伸预报的结果。其中,两年延伸预报中有1站相差1级,经过实地调查分析,其原因可能是2007年秋季降水偏多,一些地块不能及时耕作,成为撂荒地,使夏蝗发生程度偏重。总体上,综合预报准确率明显提高,并且使预报方法更趋向于机理化,可供飞蝗发生区进行业务化应用。

表4 不同预报模型的夏蝗发生程度历史拟合率比较

Table 4 Historical fitting accuracy of three types of predicting models for the locust extent

蝗区站	距离方法			潜能方法			集成方法		
	预报等级	误差	趋势拟合率/%	预报等级	误差	趋势拟合率/%	预报等级	误差	趋势拟合率/%
	最大误差	发生率		最大误差	发生率		最大误差	发生率	
黄骅	2	5/27	81	2	5/27	81	1	4/27	85
安新	1	2/27	93	2	3/27	89	1	1/27	96
平山	2	4/27	85	2	6/27	78	1	2/27	93
大城	2	3/20	85	2	4/20	80	1	2/20	90

表5 不同预报模型的夏蝗发生程度延伸预报与实际情况比较

Table 5 Forecasting effects for different models of locust

蝗区站	2007年				2008年			
	实测	距离方法	潜能方法	集成方法	实测	距离方法	潜能方法	集成方法
黄骅	5	5	4	5	4	3	3	3
安新	3	3	2	3	3	3	2	3
平山	3	3	4	3	3	3	3	3
大城	3	3	3	3	3	3	3	3

3种预报方法的时效略有不同,气象距离模型提前1个月,自身生物潜能可提前3个月,综合预报模型提前1个月。因此,在业务中可将3种模型综合应用。

3 结论与讨论

1) 应用秩相关系数进行气象因子普查,发现前期气象因子具有滞后和累积效应,4个不同蝗区的前一年秋蝗发生的关键期7—8月气温对夏蝗发生程度有显著影响,气温越高越有利于秋蝗发育和繁殖,对来年夏蝗的发生有明显促进作用;3个蝗区的前一年10月为秋蝗产卵吸水关键期,决定蝗卵能否

成活,降水偏多有利于蝗卵完成发育,对来年夏蝗发生有利。冬季和春季的气温、蝗卵孵化出土前的降水对不同蝗区夏蝗发生程度均有一定影响。

2) 环渤海4个蝗区的气象距离指标模型预报拟合率为81%~93%,两年延伸预报(2007年和2008年)结果有1蝗区站相差1级,其他站趋势准确;基于自身生物潜能模型,预报拟合率为78%~89%,两年延伸预报结果有两蝗区站相差1级,其他站趋势准确;基于夏蝗群体动态演变的生物特性与气象条件结合的综合集成预报模型,预报拟合率为85%~96%,两年延伸预报结果2008年有1站与实际相差1级。总体上集成预报模型效果优于单一预报模型。

本文根据历史资料,利用秩相关系数法对影响飞蝗的关键气象因子进行筛选,虽然有一定的生物学意义,但若对关键气象因子进行人工气候箱的试验研究^[20]来验证将更有说服力;对夏蝗自身潜能预报利用的是前一年秋蝗残蝗基数做为因变量,但夏蝗发生情况还要经历冬季和早春时段,这一时段外界环境条件对其尚有一定的消长作用,因此,还需根据冬季蝗卵越冬死亡率和春季蝗卵孵化率对预报进行订正。本文对夏蝗发生程度进行了试预报,在飞蝗监测预测过程中还要考虑具体地点的实际情况,今后应尝试发生面积的预报及遥感发生地点的监测,将遥感监测与发生程度和面积预报有机结合,以达到飞蝗有效防治目的。

致 谢:中国气象科学研究院霍治国研究员在本文撰写过程中提出了宝贵意见,在此特表感谢。

参 考 文 献

- [1] 陈怀亮,张弘,李有. 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,2007,28(2):212-216.
- [2] 姜燕,霍治国,李世奎,等. 东亚飞蝗发生的生态环境辨识及监测预测. 生态学杂志,2007,26(5):737-742.
- [3] 帕尔哈提·努尔. 气候条件对蝗害形成中的影响. 新疆畜牧业,2008(2):51-52.
- [4] 任春光,张书敏,唐铁朝,等. 白洋淀东亚飞蝗发生日趋严重原因分析. 植物保护,2002,28(1):35-37.
- [5] 季荣,谢宝瑜,李典谟. 河北省南大港农场 2002 年夏蝗发生特点及原因分析. 昆虫知识,2002,39(6):430-432.
- [6] 任春光,唐铁朝. 河北省东亚飞蝗发生动态及未来灾变趋势分析. 昆虫知识,2003,40(1):80-82.
- [7] 马世骏. 东亚飞蝗发生与气候条件的关系. 昆虫学报,1958,8(1):31-40.
- [8] 高素华,刘玲,郭安红. 高温干旱与蝗虫发生研究. 自然灾害学报,2005(3):169-174.
- [9] 杨洪升,季荣,王婷,等. 新疆蝗虫发生的大气环流背景及长期预测. 生态学杂志,2008,27(2):218-222.
- [10] 封传红,王思忠,蒋凡,等. 温度对四川省甘孜州西藏飞蝗分布的影响. 植物保护,2008,34(1):67-75.
- [11] 马世骏,丁岩钦,李典谟. 东亚飞蝗中长期数量预测的研究. 昆虫学报,1965,14(4):319-338.
- [12] 姚树然,李春强,王贵生. 河北夏蝗大发生与气象条件的关系. 昆虫知识,2006,43(4):482-486.
- [13] 张书敏,任春光,王贵生. 东亚飞蝗的长期预测预报技术研究. 中国植保导刊,2006,26(7):9-11.
- [14] 孔海江,陆维松,吕国强,等. 干旱前期温度偏高对河南省东亚飞蝗发生的影响. 南京气象学院学报,2003,26(4):516-524.
- [15] 邓自旺,周晓兰,倪绍祥,等. 环青海湖地区草地蝗虫发生预报的气候指标研究. 植物保护,2005,31(2):29-33.
- [16] Mukerji M K, Gage S H. A model for estimating hatch and mortality of grasshopper egg population based on soil moisture and heat. *Annals of the Entomological Society of America*, 1978,71(2):183-190.
- [17] 张书敏. 河北省东亚飞蝗的发生与治理. 北京:中国农业出版社,2006.
- [18] 项静恬. 动态和静态数据处理——时间序列和数据统计分析. 北京:气象出版社,1996.
- [19] 魏淑秋,刘桂莲. 中国与世界生物气候相似研究. 北京:海洋出版社,1994.
- [20] 刘静,张宗山,张立荣,等. 银川枸杞炭疽病发生的气象指标研究. 应用气象学报,2008,19(3):333-340.

An Integrated Bio-meteorological Forecasting Method for the Occurrence Level of Locust Around the Bohai Sea of China

Yao Shuran¹⁾ Guan Fulai²⁾ Li Chunqiang¹⁾

¹⁾ (Hebei Provincial Key Lab for Meteorological and Eco-environment, Hebei Provincial Meteorological Institute, Shijiazhuang 050021)

²⁾ (Hebei Provincial Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021)

Abstract

Locust is an important loss-causing pest around the Bohai Sea of China, and its occurrence degree is close related with weather and climate conditions. In order to study the relationship objectively, four typical locust areas around the Bohai Sea are chosen as experimental areas, which are coast, reservoir, depression shallow lake and water logging areas, respectively. Based on the observed climate and locust data from 1980 to 2008, Spearman order correlation method is used to analyze the meteorological factors affecting the occurrence degree of locust. The results show that meteorological factors have accumulated effects on locust. The temperature in July and August has a significant effect on summer locust of the next year in four locust areas, and higher temperature is more favorable for locust growth and reproduction. October is the key time for the egg life of autumn locust in three areas (reservoir, depression shallow lake and water logging areas), and sufficient rainfall is favorable for the development of locust egg, increasing the occurrence degree of summer locust in the next year. In addition, air temperature in winter and spring and rainfall affect the extent of summer locust in four areas before locust eggs hatch and come out of soil. The historical modeled accuracy are 81%—93% and 78%—89% by the Euclidean distance model modified with the weights of meteorological factors and biological model based on locust bio-characteristics for predicting the locust extent, respectively. The extended forecast result of last two years is fairly accurate, i. e. , one level difference for one area of the former model and one level difference for two areas of the latter model, and correct in all other areas. Then a comprehensive model is established by integrating the meteorological and biological models to forecast the locust occurrence extent and its historical modeled accuracy are 85%—96%. There is only one level difference in one area for the two years extended forecast, showing that the accuracy of integrated model is better than the single models.

Key words: locust occurrence extent; meteorological conditions; Euclidean distance model; integrated predicting