

内蒙古草原蝗虫发生发展气象适宜度 指数构建方法

郭安红 王建林 王纯枝 宋迎波

(国家气象中心生态与农业气象室,北京 100081)

摘要 通过对内蒙古草原蝗虫发生发展关键气象条件进行分析,选取蝗虫生长发育期关键生理气象影响因子,建立草原蝗虫发生发展气象适宜度指数,对内蒙古草原蝗虫发生发展气象等级进行预报,平均预报准确率达到 68% 以上。用草原蝗虫发生发展气象适宜度指数根据气象站点观测资料可对站点区域蝗虫发生发展气象等级进行预报,从而根据站点空间分布和区域气象条件对草原蝗虫发生发展气象条件的满足程度进行空间分析,具有直观、便捷、分析能力强等业务化应用特点。

关键词 草原蝗虫 气象适宜度指数 气象等级预报

引言

蝗灾是我国危害农业生产和人民生活的重大自然灾害之一。2000~2003 年内蒙古草原连续 4 年暴发大面积蝗灾。2003 年最为严重,发生面积 $1133 \times 10^4 \text{ hm}^2$,成灾面积 $586 \times 10^4 \text{ hm}^2$;蝗灾最为严重的内蒙古锡林郭勒草原,蝗虫成灾面积 $467 \times 10^4 \text{ hm}^2$,严重成灾面积达 $200 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。内蒙古草原地处京津地区的西北部,草原退化严重,生态环境非常脆弱,蝗虫成灾后将进一步加速草原的退化速度,造成难以恢复的毁灭性破坏。对国家正在实施的天然草原保护工程和环北京地区风沙源治理工程建设成果产生严重破坏。

我国病虫害发生及危害的实时监测、发展趋势的预报业务多年来主要由植保部门承担。近年来,气象部门深入开展了病虫害发生发展气象等级预报技术研究和相关业务服务,主要以主导病虫害发生

发展的环境气象条件为指标,进行病虫害发展趋势的气象条件预报分析研究。本文根据影响内蒙古草原蝗虫发生发展的关键气象因子,参照有关气象等级预报模型思路^[1,2],初步构建了草原蝗虫发生发展气象适宜度指数,通过该指数可以综合评判草原蝗虫发生发展的气象条件适宜程度,从而对草原蝗虫发生发展气象条件进行预报预警。

1 资料和方法

1.1 蝗虫发生发展资料的整编

选取历史资料记载 1961~2004 年内蒙古草原蝗虫发生较为严重(点名记载)的主要地区和旗县为统计样本(表 1)。整理蝗虫发生发展情况和危害程度;根据草原蝗虫发生情况和危害情况(同时参照内蒙古全区发生危害情况),划分草原蝗虫发生等级(表 2)。

表 1 1961~2004 年蝗虫发生较为严重的主要地区

乌兰察布盟	巴彦淖尔盟	锡林郭勒盟	赤峰市	通辽市	呼和浩特市	包头市
兴和县、卓资县、土默特右旗,察右前旗、武川、四子王、达茂旗、察右后旗	乌拉特中旗、乌拉特后旗,乌拉特后旗	多伦,锡林浩特、西乌旗、多伦,苏尼特右旗	阿鲁科尔沁旗	扎鲁特旗	呼和浩特	包头市

表2 内蒙古草原蝗虫发生等级划分

等级	描述	虫口密度	全区发生面积/10 ⁴ hm ²
1级	严重	>60 只/m ² , 局地聚集	>39
2级	中度	15~60 只/m ² , 局地聚集	1~39
3级	轻度	<15 只/m ²	<1

注:内蒙古草原蝗虫防治标准为 15 只/m²。

1.2 相关气象资料的处理

根据表1所选旗县,选取1961~2004年蝗虫生长发育期主要气象资料,包括上一年7~9月相对湿度、气温、上一年11月至当年3月降水、当年4~6月地温、当年5~7月气温、相对湿度、当年4~6月降水(包括降水量和降水日数),建立内蒙古草原蝗虫发生发展气象资料数据库。

1.3 方法

根据气象资料和蝗虫发生等级的对应关系,筛选影响蝗虫发生发展的关键气象因子(影响蝗虫发生密度、发生面积、危害程度等的主要气象因子),根据关键因子构建气象适宜度指数,通过适宜度指数对内蒙古草原蝗虫发生发展气象等级进行预报。

2 内蒙古草原蝗虫发生发展关键气象条件分析

影响蝗虫发生发展的主要因素是虫源基数、气象条件、天敌和人为防控等。其中气象因子是最关键的因子之一^[3]。蝗虫生活史须经历卵、蝗蝻和成虫3个阶段,由于蝗虫为变温动物,外界温度的高低直接决定了蝗虫机体的体温,较高的气温加快了蝗虫的发育速率、缩短龄期并增加了取食量;另外蝗虫产卵期、越冬期、孵化期等生长发育关键期间适宜的温湿度条件会增加蝗虫的存活率,从而增加了蝗虫种群的密度和危害程度,易形成大暴发的态势。

2.1 产卵期主要气象影响因子

一般认为,蝗虫灾害的形成与虫源基数关系较显著,越冬基数一直是草原部门、植保部门预报来年虫情发生趋势的一个主要依据。虽然根据历史发生情况来看,蝗虫发生重灾年第2年不一定是大发生年,但是对产卵期气象条件分析结果表明,7月中、下旬蝗虫产卵期较凉爽(20~25℃,最适日平均温度为21℃左右),蝗虫发生等级较高(表3)。

2.2 越冬期和孵化期主要气象影响因子

一般情况下,暖冬有利于各种害虫虫卵的顺利

越冬。越冬期的土壤温度状况决定虫卵的存活情况,孵化期的土壤温度决定蝗虫虫卵胚胎发育和出土的情况,这二者是影响蝗虫虫卵孵化率的关键因素。内蒙古草原地区从11月土壤温度就降至0℃以下,形成冻土阶段。冻土不利于卵的保存,这是因为冻土的形成与消失过程中的冻融作用会破坏表土中的虫卵。但是冬季降雪对于蝗卵越冬是十分有利的。冬雪形成的保护层有利于蝗卵躲过冬季的严寒和土壤冻融过程,且雪水利于越冬卵的水分保持和土壤松软,利于蝗卵孵化出土。4~5月,内蒙古草原蝗虫相继进入卵胚形成关键期和孵化出土期,温度较高则利于卵胚形成和孵化出土。孵化适宜土壤温度大约在16.5~23.0℃,最适孵化土壤温度约在18.0~19.0℃。

降水主要影响蝗卵孵化和虫蝻存活率。在蝗卵孵化期降水较多,一方面会产生蝗卵孵化期整体的“推迟效应”,另一方面会增加卵的死亡率,使蝗蝻出土数量减少。研究表明,在锡林郭勒盟,蝗虫密度与4月降水负相关($r=0.4833, n=11$),表明4月降水过多对该区蝗卵孵化和出土是不利的^[4]。但是,如果春季降水过少、极度干旱对蝗虫孵化也很不利,此时土壤水分含量太低,蝗虫体内的水分会向土壤渗透,导致蝗卵失水而干瘪。

2.3 虫蝻-成虫期主要气象影响因子

内蒙古草原蝗虫主要是“土蝗”,成虫虽然有完全发育的翅,但远距离迁飞能力较弱。3龄期以前,蝗蝻活动能力较弱,对外界环境变化的抵抗力也较弱,环境条件的剧烈变化对此期的蝗蝻具有较大的杀伤力。例如5月终霜冻对刚孵化出土的蝗蝻具有致命打击,另外,蝗虫孵化出土后降水的强度和分布对蝗蝻的生长发育也有影响,暴雨和强度较大的降水对蝗虫的生长发育非常不利,这一方面是湿度过大不利于蝗虫的生长发育,另外强降雨的机械作用也会造成蝗虫死亡率上升。

3龄以后,蝗蝻活动能力较强,对不良环境具有一定程度的躲避和抵抗能力,此时气象条件对蝗虫的影响减弱。例如,当气温超过26℃时,蝗虫便会停止活动,抱于草上或静伏于草根附近,待气温下降后又逐渐恢复活动,若遇大风、阴天、降雨,则静伏于草下不活动^[5]。

除上述气象因子外,还有其它气象因子共同影响内蒙古草原蝗虫的发生发展情况。例如空气湿度

过大会影响蝗虫的生长发育,同时空气湿度也会影响蝗虫的性成熟和寿命^[6]。在气温较高和干燥的天气条件下,蝗虫不会直接饮水,而是通过大量取食间接获得植物体内的水分。因此,在6~7月较高的气温和较低的空气湿度条件下,蝗虫的取食量会大大增加,并且不利于蝗虫向周围草场扩散危害。另外,光照会影响蝗虫的交配和繁殖,蝗虫产卵地一般选择在植被覆盖率不高,地势向阳的地区,由于日照充

足,昼夜温差变化较大,有利于虫卵的孵化;在食物丰富、光照充足、植被覆盖率在25%~50%的地区蝗虫生长发育快,因而蝗灾发生区一般都是光照时间比较长的地区。

根据内蒙古草原蝗虫生物学特性^[7]与气象条件相关性的分析,总结得出草原蝗虫生长发育期主要生理气象指标如表3。

表3 蝗虫发生发展主要生理过程与气象条件关系

发育期	适宜气象条件	关键气象条件与发生等级的关系
产卵期(上一年6月下旬至7月下旬)	适宜平均空气温度为20~25℃,最适日平均温度为21℃左右,最适空气相对湿度在63%左右	7月中、下旬气温在20~21℃蝗虫发生等级较高
越冬期(上一年11月至当年3月)	暖冬,冬季有降水(雪)	上一年11月至当年3月降水量15~25mm,蝗虫发生等级较高
孵化期(4~5月)	地表温度大约在16.5~23.0℃,最适孵化地表温度大约在18.0~19.0℃,土壤相对湿度30%~70%	4、5月地温偏高,4月上旬至5月中旬累积降水量较低,则蝗虫发生等级较高
幼虫-成虫期(6~7月)	适宜温度在25~40℃之间,最适温度范围为28~34℃。	6月中旬至7月下旬气温高蝗虫发生等级较高

3 蝗虫发生发展气象适宜度指数和气象等级预报

选取内蒙古草原地区蝗虫产卵期、越冬期、孵化期关键气象影响因子:上年7月中下旬平均气温(T_1)、上年11月至当年4月降水量(P_w)、4月地温(D_4)、4月降水量(R_4)作为草原蝗虫发生发展气象适宜度指数的主要预报因子。根据4月地温雨系数(C_4)的计算及其区间划分,对上述预报因子进行不同的归一化处理,并根据资料分析及数值试验,得出

虫害适宜度指数计算公式。

3.1 4月地温雨系数(C_4)的计算及区间划分

$$4\text{月地温雨系数}(C_4) = \frac{4\text{月平均地温}}{4\text{月降水量}} \quad (1)$$

$C_4 < 1$, 4月降水量较丰沛; $C_4 \geq 1$, 4月降水量小于10mm。

3.2 D_4 、 R_4 、 P_w 、 T_1 的归一化处理

表4为各关键预报因子归一化处理参照表。

表4 D_4 、 R_4 、 P_w 、 T_1 归一化处理参照表

$C_4 < 1$	$C_4 \geq 1$
$D_4 \geq 10^\circ\text{C}, X_1 = 1; D_4 < 10^\circ\text{C}, X_1 = 0$	$D_4 \geq 10^\circ\text{C}, X_1 = 1; D_4 < 10^\circ\text{C}, X_1 = 0;$
$2 \leq R_4 < 10\text{mm}, X_2 = 2; 10 \leq R_4 < 25\text{mm}, X_2 = 1; R_4 \geq 25\text{mm}$ 或 $R_4 < 2\text{mm}, X_2 = 0;$	$2 \leq R_4 < 10\text{mm}, X_2 = 1; R_4 < 2\text{mm}, X_2 = 0;$
$10 \leq P_w < 40\text{mm}, X_3 = 2; P_w > 40\text{mm}, X_3 = 1; P_w < 10\text{mm}, X_3 = 0$	$P_w \geq 15\text{mm}, X_3 = 2; P_w < 15\text{mm}, X_3 = 0$
$T_1 \leq 21^\circ\text{C}, X_4 = 1; T_1 > 21^\circ\text{C}, X_4 = 0$	$T_1 \leq 21^\circ\text{C}, X_4 = 1; T_1 > 21^\circ\text{C}, X_4 = 0$

注: D_4 为4月地温, R_4 为4月降水量, P_w 为上一年11月至当年4月降水量, T_1 为上一年7月中下旬平均气温。

3.3 虫害适宜度综合指数(Z)计算

利用归一化处理的预报因子 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 建立的虫害适宜度综合指数(Z)计算公式如下:

$$Z = \begin{cases} (X_1 + X_3)^2 + 3X_1 + 2.5X_2 + 1.5X_3 + X_4 & C_4 < 1 \\ (X_1 + X_3)^2 + 3X_1 + 7X_2 + 2.5X_3 + X_4 & C_4 \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

主要依据:①当 $C_4 < 1$, 4 月降水量相对较丰沛, 代表春季降水较好的站点和年份, 地温较低或降水量过多会限制蝗虫的生长发育, 特别是上一年 11 月至当年 4 月整体降水量过多不利蝗虫的发生发展。② $C_4 \geq 1$, 代表春季降水较少的站点和年份, 一般情况下 4 月降水量小于 10 mm。上一年 11 月至当年 4 月整体降水量较多非常有利蝗虫的发生发展。③根据上述分析, 4 月降水量和上一年 11 月至当年 4 月整体降水量在 C_4 值不同时表现不同; 取值范围有所不同, 权重系数也不同。④根据历史资料分析, 当 4 月地温和上一年 11 月至当年 4 月整体降水量同时适宜时, 会极大地促进蝗虫发生发展。因此, 通过数值试验确定了 X_1 和 X_3 的二次多项式表达。⑤ 6 月以后进入 3 龄蝗蛹阶段, 蝗虫自主活动能力增强, 一定程度上能够躲避不利条件的影响, 对外界适应能力也较强, 此时如果不出现较大的气象灾害(如暴雨、霜冻等)蝗虫发生发展程度变化不大。

3.4 内蒙古草原蝗虫发生发展气象条件等级预报

根据草原蝗虫发生发展气象适宜度指数, 可对内蒙古草原蝗虫发生发展气象条件等级进行预报(表 5)。

表 5 内蒙古草原蝗虫发生发展气象适宜度指数参照表

气象条件	适宜度综合指数(Z)	气象等级
适宜	$Z \geq 12$	1
较适宜	$8 \leq Z < 12$	2
不适宜	$Z < 8$	3

4 预报准确率和回代检验

4.1 预报准确率

$$\text{准确率} = \frac{\text{预报与实际相符站个数}}{\text{实际发生相应级别站个数}} \times 100\%$$

各级别预报会产生多报(别的级别报到该级别)和漏报(该级别的报为其它级别), 详见表 6。

表 6 内蒙古草原蝗虫发生发展气象条件等级预报准确率

	1 级	2 级	3 级	总计
实际发生相应级别个数(站次)	24	25	12	61
预报相应级别个数	26	19	16	61
预报与实际相符个数	20	15	7	42
准确率/%	83.33	60	58.3	68.85

由于内蒙古草原蝗虫发生发展气象适宜度指数和气象等级预报是根据草原蝗虫发生发展过程中密

切相关的气象条件研发的。其表达形式完全依赖于气象条件, 而蝗虫发生等级划分仍采用密度、发生面积等灾害指标, 该灾害指标还受虫源基数、天敌条件和人为防治的影响, 因此在气象条件的满足程度和蝗虫发生灾害指标之间还有其他因素影响, 在提高预报准确率方面还需要对其他因素进行分析。

4.2 1995 年轻害年和 2001 年重害年回代检验

利用内蒙古草原蝗虫发生发展气象适宜度指数对内蒙古草原蝗虫发生发展气象条件等级进行预报, 平均准确率达到 68%, 说明该地区草原蝗虫的发生发展很大程度上受气象条件的制约。选取内蒙古草原蝗虫轻发生年 1995 年和重发生年 2001 年对蝗虫发生发展气象条件等级进行回代预报(图 1、2), 与蝗虫实际发生面积和区域进行对应分析。

分析结果表明, 1995 年内蒙自治区气象条件适宜草原蝗虫发生发展的区域较小并且分散, 主要集中于通辽、赤峰、鄂尔多斯、呼和浩特等地区, 锡林郭勒盟也有部分区域气象条件适宜草原蝗虫发生发展。根据草原部门的资料, 1995 年内蒙古草原蝗虫发生面积 $155.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其中包头市 $29.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 巴彦淖尔盟 $19.36 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 锡林郭勒盟 $25.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。2001 年内蒙自治区气象条件适宜草原蝗虫发生发展的区域较广, 主要集中在通辽、赤峰、锡林郭勒盟西部、乌兰察布市、巴彦淖尔盟等地区; 2001 年内蒙古草原蝗虫发生面积 $835.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 是 1995 年的 5 倍多, 其中锡林郭勒盟 $603.2 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、通辽和赤峰 $44.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 乌兰察布盟 $45.84 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 巴彦淖尔盟和鄂尔多斯 $24.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 包头市 $35.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。总的来看, 气象条件较适宜的地区草原蝗虫发生面积较高。

5 结论

(1) 根据内蒙古草原蝗虫发生发展气象条件分析, 选取 4 月地温、4 月降水量、上一年 11 月至当年 4 月降水量、上一年 7 月中下旬平均气温等气象资料建立草原蝗虫发生发展气象适宜度指数, 进而对内蒙古草原蝗虫发生发展气象等级进行预报, 平均预报准确率达到 68% 以上, 显然, 上述关键时段关键气象条件对内蒙古草原蝗虫发生发展具有决定性作用。

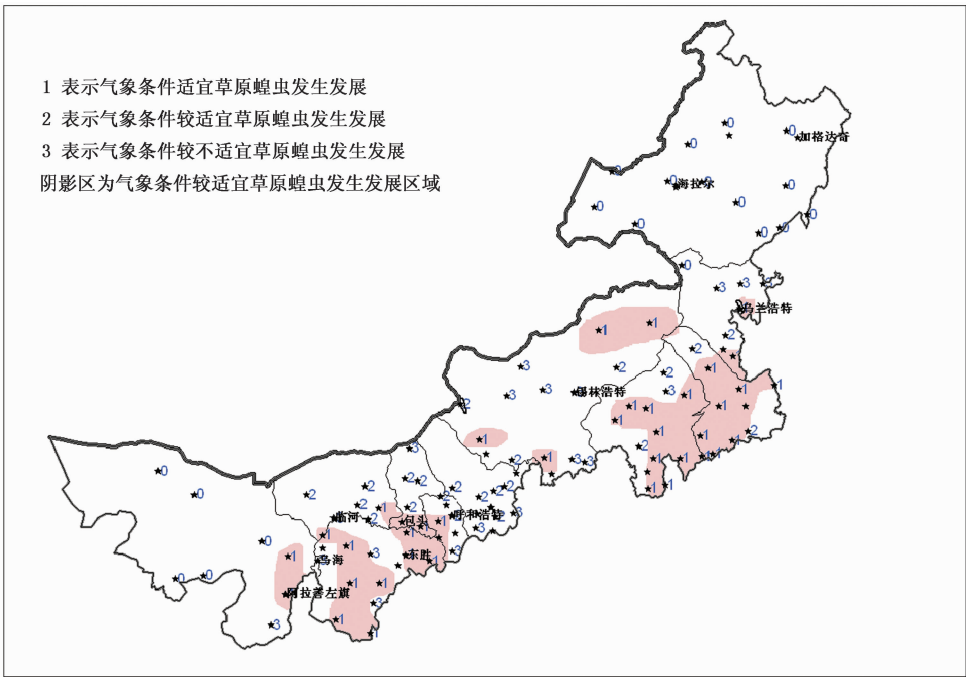


图 1 1995 年内蒙古草原蝗虫发生发展气象条件等级预报

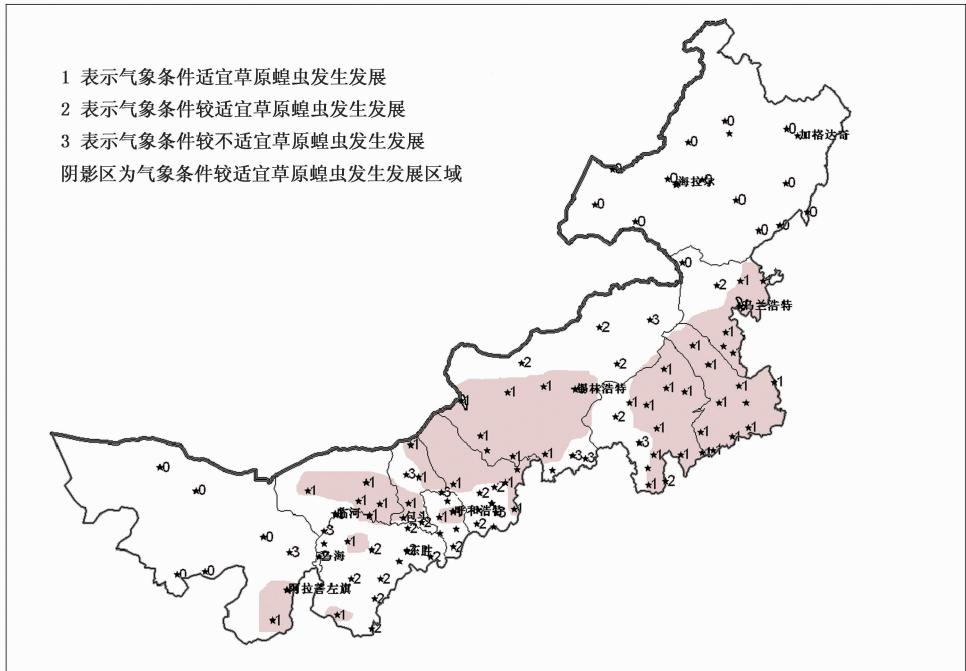


图 2 2001 年内蒙古草原蝗虫发生发展气象条件等级预报

(2)草原蝗虫大发生除了受气象条件的重要影响外,还受虫源基数、天敌条件和人为防治的影响,内蒙古草原蝗虫发生发展气象等级只对气象条件的满足程度进行了分析。总体上来看,气象条件较适宜的地区草原蝗虫发生面积较高。

(3)通过草原蝗虫发生发展气象适宜度指数可根据气象站点观测资料对站点区域蝗虫发生发展气象等级进行预报,从而根据站点空间分布和区域气象条件对草原蝗虫发生发展气象条件的满足程度进行空间分析,具有直观、便捷、分析能力强等业务化

应用特点。

(4)今后的工作,一方面对气象适宜度指数进行改进,考虑其它气象条件(如湿度、日照和干燥度等)对蝗虫习性、繁殖等产生的影响,以及气象灾害(如暴雨、霜冻等)的影响;另一方面需要对虫源基数、天敌条件和人为防治等进行综合分析,提高预报准确率。

参考文献

- [1] 张尚印,祝昌汉,高歌,等. 森林火灾天气等级确定及监测预报方法[J]. 气象科技,2001,29(2):45-48.
- [2] 牛若芸,翟盘茂,孙明华. 森林火险气象指数及其构建方法回

顾[J]. 气象,2006,36(12):3-9.

- [3] Stiling Peter. Density-dependent processes and key factors in insect populations [J]. Journal of Animal Ecology,1988,57:581-593.
- [4] 郭安红,乌兰巴特尔,刘庚山,等. 内蒙古草原蝗虫大面积发生与区域气象条件[J]. 自然灾害学报,2005,14(3):272-277.
- [5] 姜衍春. 青海草原蝗虫与环境温度[J]. 青海草业,1994,3(1):30-34.
- [6] 郭安红,高素华,刘玲. 内蒙古草原蝗虫与气候[M]. 北京:气象出版社,2005:111-116.
- [7] 能乃扎布. 内蒙古蝗虫[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,1999:9-21.

Meteorological Suitability Index of Grasshopper Growth and Development in Inner Mongolia

Guo Anhong Wang Jianlin Wang Chunzhi Song Yingbo

(National Meteorological Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract: Based on the analysis of meteorological conditions during the growth and development of grasshoppers in Inner Mongolia, the key physiological-meteorological factors at the main growth and development stages of grasshoppers are selected to construct the meteorological suitability index of grasshoppers which is used to predict the meteorological grades for the growth and development of grasshoppers. The average prediction accuracy of meteorological grades is 68%. Through calculating the meteorological suitability index and predicting the meteorological grades for the growth and development of grasshoppers, based on the meteorological data from meteorological stations over the grassland in Inner Mongolia, the spatial analysis of the meteorological conditions and the growth and development of grasshoppers can be made. The application proved that the index is simple, convenient, and useful in operational service.

Key words: grasshopper, meteorological suitability index, meteorological grade prediction