

基于判别分析预测马铃薯甲虫发生与出土时间

廖江花¹⁺, 牛富帅¹⁺, 李超^{1*}, 刘娟¹, 关志坚²

¹新疆农业大学农学院, 农林有害生物监测与安全防护重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052;

²察布查尔县农业技术推广站, 新疆伊犁 835300

摘要:【目的】马铃薯甲虫是马铃薯生产过程中的毁灭性害虫。温度是影响马铃薯甲虫发生的重要因素, 明确马铃薯甲虫越冬期及发生期的温度对其发生的影响, 可为该害虫未来发生情况的预测和防治提供理论支持。【方法】采用逐步判别分析法对 1994—2021 年马铃薯甲虫越冬及发生期(上一年 12 月—当年 9 月)新疆察布查尔县马铃薯甲虫发生等级及出土时间进行判别分类, 建立发生预测模型。【结果】在训练组中, 马铃薯甲虫的发生等级、出土时间判别准确率分别为 100.00%、80.00%; 在预测组中, 马铃薯甲虫的发生等级、出土时间总判别准确率分别为 69.23%、76.92%, 认为判别结果较可信。【结论】通过对影响发生程度、出土时间判别的因素筛选发现, 察布查尔县马铃薯甲虫的出土和发生判别均受到 4 月温度的影响。

关键词: 马铃薯甲虫; 温度; 发生等级; 出土时间; 判别分析



开放科学标识码
(OSID 码)

Prediction of *Leptinotarsa decemlineata* occurrence and aboveground period based on linear discriminant analysis

LIAO Jianghua¹⁺, NIU Fushuai¹⁺, LI Chao^{1*}, LIU Juan¹, GUAN Zhijian²

¹Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control on Crop and Forest, College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China; ²Qapqal County Agricultural Extension Station, Ili, Xinjiang 835300, China

Abstract: 【Aim】*Leptinotarsa decemlineata* is a destructive pest affecting potato production. Temperature is an important factor affecting the occurrence of *L. decemlineata*. The influence of this factor on *L. decemlineata* occurrence during its overwintering period and occurrence duration was determined. Our study provides theoretical support for the future prediction and control of *L. decemlineata* occurrence and insights into the prediction of the occurrence of this pest in other areas. 【Method】We collected samples of *L. decemlineata* and used the stepwise discriminant analysis method to discriminate and classify the occurrence degree and aboveground periods of these beetles in Qapqal County from 1994 to 2021. 【Result】In the training group, the accuracy of the occurrence degree and aboveground period of *L. decemlineata* were 100.00% and 80.00%, respectively. In the prediction group, the accuracies of the occurrence degree and aboveground period of *L. decemlineata* were 69.23% and 76.92%, respectively; the results were considered to be credible. 【Conclusion】Through screening, the factors affecting the occurrence degree and aboveground period, the temperature in April were found to affect both the aboveground period and occurrence of *L. decemlineata* in Qapqal County.

Key words: *Leptinotarsa decemlineata*; temperature; occurrence grade; aboveground period; discriminant analysis

判别分析是根据已知对象的分类, 利用影响该分类的变量值建立判别函数, 再根据判别函数对未知对象进行判别分类的一种分析方法(黄圆圆, 2020; 张家齐等, 2020; Belshaw *et al.*, 2003)。逐步

判别分析是逐步进入变量, 找出显著影响的变量, 剔除不显著的变量, 是对变量进行筛选后建立判别分析函数的判别分析方法。判别分析法既考虑了各个主体出现的先验概率, 又考虑到了因为错判而

收稿日期(Received): 2023-02-10 接受日期(Accepted): 2023-05-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1400200); 国家自然科学基金(31660545); 农业农村部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室开放基金(KFJJ201905); 新疆维吾尔自治区天山英才计划资助(2021282)

作者简介: 廖江花, 女, 硕士研究生。研究方向: 昆虫生态与害虫防治。E-mail: ljh111196@163.com; 牛富帅, 男, 硕士研究生。研究方向: 昆虫生态与害虫防治。E-mail: niufushuai2023@163.com

+ 同等贡献作者(The two authors contribution equally to this work)

* 通信作者(Author for correspondence), 李超, E-mail: lichao@163.com

造成的损失,预测性能良好,回判估计的误判率低。病虫害发生预测可为病虫害防治确定合理的防治时间,起到减施增效的作用(李鸿筠等,2021;刘祖建等,2013;张眉等,2020)。前人曾利用马尔科夫链模型、回归分析等方法对病虫害的发生等级、发生量进行预测分析,与实际相比达到了较高的预测精确度(康爱国等,2012;李超等,2022)。张梅(2020)利用逐步判别分析对四川稻区迁飞性害虫的发生等级进行预测,张家齐等(2020)建立玉米茎腐病发生等级判别分析模型对该病害的发生程度进行预测,两者的预测结果均较准确。

病虫害的发生预测预报对保障农业生产、提高绿色防控水平具有重要意义(刘小平,2018;周杰等,2016;Williams & Liebhold, 2002)。温度是影响昆虫发生、越冬出土、发育繁殖的重要因素之一,也是昆虫发生预测需考虑的重要因素。张胜男等(2021)利用不同温度下昆虫卵巢发育速度,建立卵巢发育速率预测模型,预测昆虫发育;刘小宇等(2022)利用昆虫的适温范围、发育起点温度和有效积温预测昆虫在不同地区的发生世代数;刘孝贤等(2021)利用连续低温天数统计预测昆虫的越冬边界。利用温度对昆虫的发生分布进行预测,有助于准确掌握在不同温度下昆虫的发生、发育及可能的分布情况,可为昆虫的及时防治提供有利的理论支持。

马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say) 为茄科植物上的毁灭性害虫,对马铃薯产业造成重大损失(Alyokhin *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2014)。在我国新疆地区,马铃薯甲虫一般发生 1~3 代,以 2 代为主,以成虫越冬;成虫在 4 月下旬—5 月中旬出土,寻找寄主植物、产卵,8 月下旬—9 月上旬入土越冬(郭文超等,2011;吐尔逊·阿合买提等,2010)。发生期和越冬期的温度是影响马铃薯甲虫越冬代出土与发生程度的关键因素(Li *et al.*, 2014; Liao *et al.*, 2021)。本研究以新疆察布查尔县为例,利用逐步判别分析对当地马铃薯甲虫的发生等级和出土时间进行分类,通过对影响马铃薯甲虫发生的关键温度因子进行筛选,建立判别模型,为该甲虫种群预测预报与综合防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据资料

马铃薯甲虫发生等级、出土数据由察布查尔县

植保站提供,主要包括 1994—2021 年数据。线性判别温度数据选择离察布查尔县最近气象基准站点,伊宁气象站点的 1993—2021 年马铃薯甲虫发生期和越冬期的温度数据,具体数据参数如下。

马铃薯甲虫发生等级预测: $T_{m,n}$ 、 $L_{m,n}$ 、 $H_{m,n}$ 为预报气象因子, T 为平均温度, m 取值为 1~9 (当年 1—9 月)、12 (上一年 12 月), n 取值为 1~3 (上、中、下旬); L 为最低温度, m 取值为 1~5 (当年 1—5 月)、12 (上一年 12 月); H 为最高温度, m 取值为 6~9 (当年 6—9 月)。如 $T_{12,1}$ 代表上一年 12 月上旬平均温度。马铃薯甲虫越冬期与发生期温度均可影响发生等级,上一年 12 月—第二年 3 月通常为西北地区的冬季低温时期(赵锐锋等,2017),第二年 4 月马铃薯甲虫越冬代开始出土,4—5 月多降雨,也存在偶发低温情况,6 月逐渐开始升温,并出现高温天气,一直持续到 9 月(李彦斌等,2017),本研究选择对马铃薯甲虫发生影响最大时期的温度因素进行研究。

马铃薯甲虫出土时间预测: T_{mn} 、 L_{mn} 为预报气象因子, m 取值为 1~5 (当年 1—5 月)、12 (上一年 12 月), T 为平均温度, L 为最低温度。马铃薯甲虫出土时间的预测重点选取马铃薯甲虫出土前期的温度进行研究。

1.2 发生等级、出土时间分级

马铃薯甲虫发生等级划分:根据叶片的受损情况,将马铃薯甲虫的发生危害等级分为 5 级,叶片未受损或少数缺刻时为 0 级,叶片被取食 1%~25% 时为 1 级,26%~75% 叶片受害时为 2 级,76%~100% 叶片受害时为 3 级,叶片被完全取食、植株枯死时为 4 级(李超等,2011)。

马铃薯甲虫出土时间划分:结合前人研究与察布查尔县马铃薯甲虫历史出土数据,马铃薯甲虫的出土时间一般为 4 月下旬—5 月中上旬,本研究将马铃薯甲虫出土时间在 4 月 30 日之前(包含 4 月 30 日)定为出土时间 1,在 4 月 30 日之后为出土时间 2(吴立等,2016)。

1.3 线性判别分析方法

利用 SPSS 21.0 软件,采用逐步判别分析方法,筛选出判别关键变量,经过多次模型测试后,选择出预测准确率较高的模型,建立函数判别式。

选用伊宁气象站的温度数据作为参数,选用 1994—2008 年马铃薯甲虫的发生等级与出土时间

数据作为训练组,建立马铃薯甲虫发生等级、出土时间判别模型。2009—2021 年马铃薯甲虫的发生等级与出土时间数据作为预测组,利用建立的判别模型进行验证。在逐步分析中,本研究设定的进入模型的变量 F 值为 3.84,删除变量 F 值为 2.71。

判别函数的总体判别正确率/%=(预测正确个数/预测总个数)×100

2 结果与分析

2.1 马铃薯甲虫发生程度判别分析

2.1.1 马铃薯甲虫发生程度的线性判别函数建立 运用 1993—2021 年马铃薯甲虫越冬及发生期(上一年 12 月—当年 9 月),各旬的平均温度及高低温对马铃薯甲虫的发生等级进行判别分类,建立了 2 个判别函数,利用逐步判别筛选出对判别起显著性作用的 10 个变量,分别为 12 月中旬平均温度 $T_{12,2}$ 、4 月中旬平均温度 $T_{4,2}$ 、4 月下旬平均温度 $T_{4,3}$ 、7 月上旬平均温度 $T_{7,1}$ 、8 月下旬平均温度 $T_{8,3}$ 、9 月中旬平均温度 $T_{9,2}$ 、1 月中旬最低温度 $L_{1,2}$ 、3 月上旬最低温度 $L_{3,1}$ 、4 月下旬最低温度 $L_{4,3}$ 、5 月上旬最低温度 $L_{5,1}$ 。利用 SPSS 软件建立各发生等级判别函数如下。

$$Y_1 = - 5.832T_{12,2} + 3.280T_{4,2} + 2.124T_{4,3} + 24.055T_{7,1} + 8.847T_{8,3} + 5.922T_{9,2} + 4.414L_{1,2} + 0.384L_{3,1} - 2.089L_{4,3} - 1.481L_{5,1} - 831.539$$

$$Y_2 = 1.222T_{12,2} + 0.654T_{4,2} - 2.480T_{4,3} + 2.845T_{7,1} - 3.317T_{8,3} + 1.433T_{9,2} + 0.698L_{1,2} + 0.691L_{3,1} + 1.249L_{4,3} - 2.665L_{5,1} - 41.863$$

式中, Y_1 表示马铃薯甲虫发生等级为 2 级, Y_2 表示马铃薯甲虫发生等级为 3 级。

2.1.2 马铃薯甲虫发生程度的线性判别结果 训练组结果(表 1)显示,马铃薯甲虫实际发生程度为 2、3、4 级,经过判别分析后,判别正确率均为 100.00%;判别函数的总体判别正确率为 100.00%。

预测组结果(表 1)显示,马铃薯甲虫实际发生程度为 2 级的共 6 次,经过判别分析后,发生等级为 2 级的为 5 次,判别正确率为 83.33%;实际发生程度为 3 级的共有 7 次,经判别分类后,发生等级为 3 级的有 4 次,3 级判别的正确率为 57.14%;实际发生程度为 4 级的有 0 次,经判别分析后,发生等级为 4 级的有 0 次,4 级判别的正确率为 100.00%。判别函数的总体判别正确率为 69.23%。

表 1 马铃薯甲虫发生程度判别结果

Table1 Discriminant statistical table of the occurrence degree of <i>L. decemlineata</i>													
组别 Group	等级 Grade	预测个数 Number of predictions						预测率 Prediction rate/%					
		2 级	Grade 2	3 级	Grade 3	4 级	Grade 4	2 级	Grade 2	3 级	Grade 3	4 级	Grade 4
训练组 Forecasting grades	2		9		0		0		100.00		0.00		0.00
	3		0		5		0		0.00		100.00		0.00
	4		0		0		1		0.00		0.00		100.00
合计 Total			9		5		1		100.00		100.00		100.00
预测组 Prediction grades	2		5		3		0		83.33		42.86		0.00
	3		0		4		0		0.00		57.14		0.00
	4		1		0		0		16.67		0.00		100.00
合计 Total			6		7		0		100.00		100.00		100.00

2.2 马铃薯甲虫出土时间判别分析

2.2.1 建立马铃薯甲虫出土时间线性判别函数 在马铃薯甲虫的出土等级判别分类中,建立了一个判别函数 Y_4 ,筛选出对判别起着显著性作用的一个变量,为 4 月下旬的平均温度 $T_{4,3}$ 。利用 SPSS 建立的各出土等级的线性判别函数如下。

$$Y_3 = 0.636T_{4,3} - 5.836$$

$$Y_4 = 0.198T_{4,3} - 2.727$$

式中, Y_3 表示马铃薯甲虫不出土, Y_4 表示马铃薯甲虫出土。

2.2.2 马铃薯甲虫出土时间的线性判别结果 训练组判别结果(表 2)显示,马铃薯甲虫实际出土时

间为 1 级的共有 9 次,判别分析后,出土时间为 1 级的有 8 次,1 级判别的正确率为 88.89%;实际出土时间为 2 级的有 6 次,判别分析后,出土时间为 2 级的有 4 次,2 级判别的准确率为 66.67%;判别分析总体判别正确率为 80.00%。

预测组判别结果(表 2)显示,马铃薯甲虫实际出土时间为 1 级的共有 9 次,判别分析后,出土时间为 1 级的有 9 次,1 级判别的正确率为 100.00%;马铃薯甲虫实际出土时间为 2 级的有 4 次,判别分析后,出土时间为 2 级的有 1 次,2 级判别的准确率为 25.00%;判别分析总体判别正确率为 76.92%,函数判别分析可信。

表 2 马铃薯甲虫出土时间判别结果
Table 2 Discriminant statistical table of the unearthed time of *L. decemlineata*

组别 Group	等级 Grade	预测个数 Number of predictions		预测率 Prediction rate/%	
		1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2
训练组 Forecasting grades	1	8	2	88.89	33.33
	2	1	4	11.11	66.67
合计 Total		9	6	100.00	100.00
预测组 Prediction grades	1	9	3	100.00	75.00
	2	0	1	0.00	25.00
合计 Total		9	4	100.00	100.00

3 结论与讨论

在判别分类中,发生程度训练组的总体判别分类正确率为 100.00%,预测组的总体判别分类正确率为 69.23%,认为判别结果可信(吴立等,2016)。在训练组的判别分类中,出土时间的总体判别分类正确率为 80%,在预测组的判别分类中,出土时间的总体判别分类正确率为 76.92%,认为判别结果可信。

本研究通过逐步回归分析后发现,对察县地区马铃薯甲虫出土等级判别起显著作用的变量是 4 月下旬的平均温度,前人研究发现,该甲虫在 4 月下旬—5 月中上旬出土,出土前温度积累状况将影响出土时间(梁忆冰等,1999;吐尔逊·阿合买提等,2010)。4 月中旬平均温度、4 月下旬平均温度、3 月上旬最低温度、4 月下旬最低温度、5 月上旬最低温度影响马铃薯甲虫的发生等级判别,可能原因是温度开始回暖,温度的高低会影响马铃薯甲虫越冬出土温度的积累,由此影响出土数量(李超等,2014;吐尔逊·阿合买提等,2010)。12 月中旬平均温度、1 月中旬最低温度影响马铃薯甲虫的发生等级判别,可能原因是冬季低温会降低马铃薯甲虫越冬存活率(李超等,2011; Huan & Tan,2000),从而 影响后期的发生虫量。7 月上旬平均温度、8 月下旬平均温度影响马铃薯甲虫发生等级的原因可能为其产卵盛期在 7 月上旬—7 月下旬,故 7 月的温度将影响马铃薯甲虫的产卵,而 8 月温度将影响马铃薯甲虫卵孵化、幼虫的发育,且马铃薯甲虫二代成虫的羽化盛期在 8 月上旬—8 月下旬,因此,8 月的温度是影响马铃薯甲虫发生等级的重要因素(吐尔逊·阿合买提等,2010)。9 月中旬平均温度对马铃薯甲虫的发生程度判别有关,可能因为 8 月中下旬马铃薯甲虫开始入土越冬,少数发育较晚的第 2 代成虫最晚于 9 月底—10 月初越冬,因此,9 月中旬平均温度将影响马铃薯甲虫越冬虫量,从而

影响翌年出土虫量和发生程度。因此,本研究所获得影响马铃薯甲虫发生等级、出土时间的温度因素与实际情况相符。

本研究利用马铃薯甲虫的越冬期、发生期、出土期的上中下旬平均温度和高低温对马铃薯甲虫的发生、出土建立判别函数,判别的准确率均在 60%以上,且筛选出的温度变量与实际马铃薯甲虫发生、出土的情况相符,因而本研究所建立的判别函数是可行的,该判别函数的预测结果与李超等(2022)利用马尔科夫链模型预测马铃薯甲虫发生程度的预测结果较一致。但马尔科夫模型必须建立在大量统计数据的基础上,这也是运用马尔科夫预测方法预测环境事件的最基本的条件,故该方法一般适用于短期的趋势分析与预测。本研究中,判别函数处理分布不均匀的数据时表现出尤其明显的优势,且不需要辅助计算机程序或进行复杂的函数计算即可得到预测结果,操作简单方便,可为基层植保工作者预测预报提供简单可行的方法(王贝伦,2021)。

本研究仅利用察布查尔县马铃薯甲虫的出土、发生、温度数据建立判别函数,可能仅对当地的判别效果显著,但相关思路与结果可为其他地区该甲虫的发生、出土预测提供部分参考。本研究未考虑的其他一些环境因素,如土壤温度、降水量等,也有可能影响马铃薯甲虫的发生动态,在后续的实际应用和判别函数研究中还需进一步探索。

参考文献

郭文超, 邓春生, 李国清, 邓建宇, 姜卫华, 吴家和, 王佩玲, 谭万忠, 张青文, 2011. 我国马铃薯甲虫生物防治技术研究进展. 新疆农业科学, 48(12): 2217-2222.
黄圆圆, 2020. 天然沉香形成方式判别分析与国产沉香商品规格等级划分研究. 硕士学位论文. 广州: 广东药科大学.
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.
- 李超, 程登发, 郭文超, 刘怀, 张云慧, 孙京瑞, 2014. 新疆越冬代马铃薯甲虫出土规律及其影响因子分析. *植物保护学报*, 41(1): 1-6.
- 李超, 廖江花, 刘娟, 孙函函, 关志坚, 2022. 马尔科夫链模型在察布查尔马铃薯甲虫发生程度预测中的应用. *中国植保导刊*, 42(1): 36-39.
- 李超, 张智, 郭文超, 张云慧, 孙京瑞, 程登发, 刘怀, 2011. 基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究: 以新疆沙湾县为例. *生态学报*, 31(21): 6488-6494.
- 李鸿筠, 刘浩强, 姚廷山, 冉春, 胡军华, 2021. 柑橘矢尖蚧发生期预测回归方程研究. *植物保护*, 47(2): 83-87.
- 李彦斌, 程相儒, 李芳, 张燕, 白昀璐, 2017. 2016 年第六师垦区作物生育期气象条件分析与评述. *新疆农垦科技*, 40(1): 68-69.
- 梁忆冰, 林伟, 王跃进, 徐亮, 翟图娜, 陆平, 克依木, 张兰, 1999. 生态因子在马铃薯甲虫地理分布中的作用. *植物检疫*, 13(5): 257-262.
- 刘小平, 2018. 基于 SVM 的烟粉虱发生等级预测研究. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学.
- 刘小宇, 荣志云, 王连刚, 姚超, 张路生, 迟金强, 林倩, 董秀霞, 姚晓灵, 徐德坤, 萧玉涛, 李向东, 郑方强, 2022. 草地贪夜蛾的有效积温和发育始点及其发生世代预测. *环境昆虫学报*, 44(1): 1-10.
- 刘孝贤, 韩鹏, 张鑫, 张苹, 罗迪, 王婷, 吕昭智, 2021. 番茄潜麦蛾地理分布范围及越冬边界预测. *生态学杂志*, 40(10): 3243-3251.
- 刘祖建, 陈冰, 陈蔚烨, 王春霞, 梁盛铭, 陈观浩, 2013. 广东省西南部稻飞虱发生期和发生程度的气象预测模型. *中国农业气象*, 34(2): 204-209.
- 吐尔逊·阿合买提, 许建军, 郭文超, 刘建, 何江, 夏正汉, 付文君, 张冬梅, 2010. 马铃薯甲虫主要生物学特性及发生规律研究. *新疆农业科学*, 47(6): 1147-1151.
- 王贝伦, 2021. 机器学习. 南京: 东南大学出版社.
- 吴立, 霍治国, 杨建莹, 肖晶晶, 张蕾, 于彩霞, 张桂香, 2016. 基于 Fisher 判别的南方双季稻低温灾害等级预警. *应用气象学报*, 27(4): 396-406.
- 张家齐, 张毅, 石洁, 张笑晴, 郭宁, 张海剑, 2020. 基于判别分析的玉米茎腐病发生程度预测模型. *植物保护*, 46(2): 85-90.
- 张眉, 吴斌, 姜珊珊, 辛志梅, 郭霞, 王升吉, 辛相启, 2020. 济南地区葡萄霜霉病发生规律、流行关键气象因子分析及预测. *山东农业科学*, 52(12): 93-98.
- 张梅, 2020. 四川稻区主要迁飞性害虫种群动态研究. 博士学位论文. 重庆: 西南大学.
- 张胜男, 李国平, 田彩红, 黄建荣, 封洪强, 2021. 桃蛀螟卵巢发育过程及其与温度的关系. *植物保护*, 47(5): 134-138.
- 赵锐锋, 苏丽, 祝稳, 2017. 1961—2012 年西北干旱区极端温度事件季节性时空分析. *中国农学通报*, 33(12): 63-73.
- 周文杰, 赵庆展, 靳光才, 尹小君, 戴建国, 2016. 基于温湿系数的棉蚜发生等级预报模型. *植物保护学报*, 43(6): 986-994.
- ALYOKHIN A, BAKER M, MOTA-SANCHEZ D, DIVELEY G, GRAFIUS E, 2008. Colorado potato beetle resistance to insecticides. *American Journal of Potato Research*, 85(6): 395-413.
- BELSHAW R, GRAFEN A, QUICKE D L J, 2003. Inferring life history from ovipositor morphology in parasitoid wasps using phylogenetic regression and discriminant analysis. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 139(2): 213-228.
- HUAN D W A, TAN C S, 2000. Overwintering densities and survival of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in and around tomato (Solanceae) fields. *The Canadian Entomologist*, 132(1): 103-105.
- LI C, LIU H, HUANG F N, CHENG D F, WANG J J, ZHANG Y H, SUN J R, GUO W C, 2014. Effect of temperature on the occurrence and distribution of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in China. *Environmental Entomology*, 43(2): 511-519.
- LIAO J H, LIU J, GUAN Z J, LI C, 2021. Duration of low temperature exposure affects egg hatching of the Colorado potato beetle and emergence of overwintering adults. *Insects*, 12(7): 609.
- WILLIAMS D W, LIEBHOLD A M, 2002. Climate change and the outbreak ranges of two north American bark beetles. *Agricultural and Forest Entomology*, 4(2): 87-99.

(责任编辑:陈晓雯)