叶尔羌河流域胡杨春尺蠖虫害分布的河流廊道效应分析

贾　翔[1,2]，　闫志明[3*]，　陈蜀江[1,2]，　尹小英[1,2]，　陈孟禹[4]，　黄铁成[1,2,5]

（1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院，乌鲁木齐　830054；2. 乌鲁木齐空间遥感应用研究所，乌鲁木齐　830054；3. 新疆农业大学管理学院，乌鲁木齐　830052；4. 苏州科技大学外国语学院，苏州　215009；5. 北京林业大学，精准林业北京市重点实验室，北京　100083）

摘要　为验证胡杨 *Populus euphratica* 春尺蠖 *Apocheima cinerarius* Erschoff 分布的河流廊道效应，以新疆巴楚县夏河林区胡杨林分布区作为研究区域，研究胡杨春尺蠖的传播规律，在前期采用多时相、中等分辨率的 MODIS 数据提取 2001、2006、2011、2016 年虫害发生区域的基础上，结合实地调查，对河流廊道效应进行验证。结果表明：近16 年来胡杨春尺蠖的发生面积逐年增加，且增加趋势较为明显，无虫害区占比下降达 59.48 百分点；春尺蠖的空间分布体现出明显的河流廊道效应，距河流越远，虫害发生率越低，河流是其重要的传播途径；林业部门要注重对胡杨春尺蠖发生的重点区域进行精准防治，使春尺蠖发生的热点区域缩小。

关键词　胡杨；　春尺蠖；　空间格局；　廊道效应

中图分类号：　S 763　　**文献标识码：**　A　　**DOI：**　10.16688/j.zwbh.2018480

Analysis of the river corridor effect of the distribution of *Apocheima cinerarius* on *Populus euphratica* in the Yarkant river basin

JIA Xiang[1,2]，　YAN Zhiming[3]，　CHEN Shujiang[1,2]，　YIN Xiaoying[1,2]，　CHEN Mengyu[4]，　HUANG Tiecheng[1,2,5]

（1. *College of Geography and Tourism*，*Xinjiang Normal University*，*Urumqi*　830054，*China*；2. *Urumqi Institute of Spatial Remote Sensing Applications*，*Urumqi*　830054，*China*；3. *College of Management*，*Xinjiang Agricultural University*，*Urumqi*　830052，*China*；4. *School of Foreign Languages*，*Suzhou University of Science and Technology*，*Suzhou*　215009，*China*；5. *Key Laboratory of Precision Forestry*，*Beijing Forestry University*，*Beijing*　100083，*China*）

Abstract　In order to verify the river corridor effect of the distribution of *Apocheima cinerarius* Erschoff on *Populus euphratica*，the distribution area of *P*. *euphratica* in Xiahe forest region of Bachu county，Xinjiang was used as the research area to study the occurrence of *A*. *cinerarius*. The multi-temporal and medium-resolution MODIS data were extracted for pest occurrence areas in 2001，2006，2011 and 2016，and combined with field investigations，the river corridor effect was verified. The results showed that the occurrence area of *A*. *cinerarius* on *P*. *euphratica* increased；the increasing trend was more obvious in the past 16 years，and the proportion of non-pest areas decreased by 59.48 percentage points. The spatial distribution of *A*. *cinerarius* reflected the obvious river corridor effect. The farther away from the river，the lower the incidence of pests，and the river was its main transmission route. The forestry department should pay attention to the key occurrence areas of *A*. *cinerarius* for precise prevention and control and reducing the hot spot of *A*. *cinerarius*.

Key words　*Populus euphratica*；　*Apocheima cinerarius*；　spatial pattern；　corridor effect

胡杨耐旱耐涝，是自然界稀有的树种之一[1]。塔里木盆地的西南缘巴楚县夏河林区是新疆少数几个胡杨林分布的集中区域之一[2-3]，天然胡杨林面积达 8.7×10^4 hm^2，夏河两岸丛生胡杨。近年来，胡杨林病虫害较为严重，其中尤以春尺蠖虫害最为严重[4]。春尺蠖属鳞翅目，尺蛾科，是一种食叶害虫，

收稿日期：　2018－11－17　　**修订日期：**　2019－01－31
基金项目：　国家自然科学基金(31460167,41661002)；国家重点研发计划（2016YFC0501503）；新疆维吾尔自治区高校科研计划(XJEDU2019Y031)
* 通信作者　E-mail：Yanzhiming88@163.com

是胡杨林的重要害虫。春尺蠖于 1958 年 3 月首次在塔里木河流域的胡杨林中发现,此后迅速蔓延,现已遍布研究区所在的塔里木河胡杨林中[5]。由于夏河林区胡杨林面积大、分布范围广、难以深入、虫害传播速度快,目前只能采用飞防,但飞防无法进行精准防控,防治率偏低,效果也不甚理想。春尺蠖严重威胁着胡杨林的生存和人工绿洲的生态安全[6]。如何高效精准定位虫害发生区域并掌握虫害传播规律,成为虫害防治中一道迫在眉睫的难题。

目前针对春尺蠖的研究主要集中在生活环境、空间分布及防治措施等方面[7],娄国强等[8]研究证实新疆和田地区 2001 年—2003 年胡杨春尺蠖种群呈聚集分布且动态变化。余昊等[9]分析并模拟了春尺蠖的成虫、卵块和 1 龄幼虫的种群分布状况。白彬等[10]分析了 2003 年—2006 年塔里木河流域春尺蠖的空间分布规律并掌握了其与土壤、降水量、最低温度等地理生境要素之间的关系。黄铁成[11]通过 MODIS NDVI 数据构建了时间序列曲线并最终确定虫害发生区域。其他的研究主要集中在对春尺蠖的防治上,如用药的多少和用药之后达到的效果预测和检验[12-14]。

胡杨春尺蠖幼虫一般通过吐丝进行迁移,迁移的范围大小与吐丝时风力的大小息息相关,在其吐丝过程中若有人、牲畜、车辆等外物介入,也会随着这些媒介进行迁移,这在野外调查中得到了证实。在野外调查中也发现胡杨春尺蠖的空间分布呈现明显的廊道效应,即春尺蠖发生区域随着距离河流的远近,呈现出有规律的变化:距离河流越近,虫害发生率越高,反之,虫害发生率越低。

关于廊道效应的研究多集中于城市扩展[15]、景观格局[16]、轨道交通[17]等方面。Tong Huali 等[18]运用多源遥感数据研究发现赣州区的城市扩展有明显的廊道效应;周华荣等[19]研究发现林地、湿地景观一般都集中分布于沿河两岸 10 km 缓冲带,且距河越近斑块密度越大,最大斑块指数也越大;Andualem 等[20]利用空间分析统计方法来分析亚的斯亚贝巴轻轨的空间可通达性、用户人口和覆盖范围,轻轨的廊道效应比较明显,识别服务区域中的具有重叠范围的站点,可为站点选址提供科学依据,进而提高轻轨的使用效率并降低运营成本。有关虫害分布的廊道效应现象尚未见公开报道。

本文基于上述发现,借助 2001 年—2016 年的 MODIS 13Q1 NDVI 数据确定胡杨春尺蠖的发生区域,分析不同宽度的河流廊道内春尺蠖发生面积和发生率,验证春尺蠖在分布空间上具有廊道效应,为有关部门对春尺蠖进行针对性治理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　材料

作为巴楚绿洲生态的重要屏障,夏河林区内分布着茂密的原始胡杨。该区域内河流较多,有叶尔羌河、提孜那甫河、突来买买提河和克孜河,但多为季节性河流,最终与和田河汇合后注入塔里木河。选择远离居民点,位于胡杨林深处的非飞防区域作为研究区(图 1),79°17′10″E～79°52′53″E,39°39′4″N～40°11′21″N,总面积 19.79 万 hm^2。

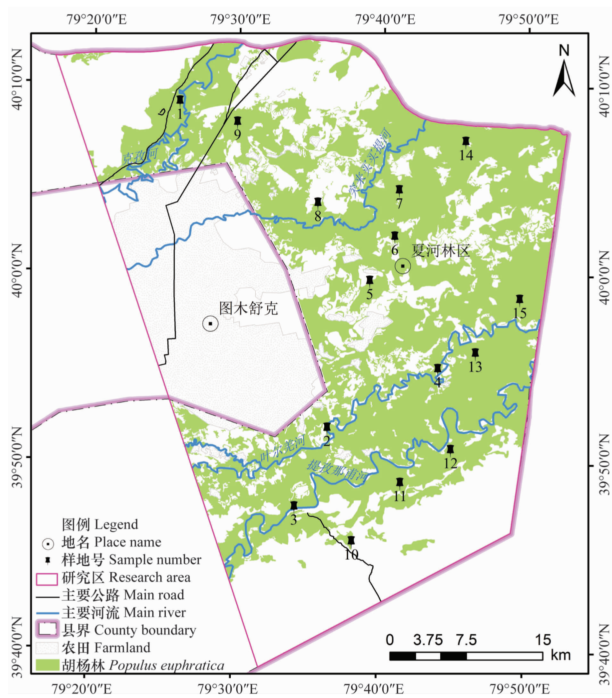

图 1　研究区胡杨林分布

Fig. 1　Distribution areas of *Populus euphratica* in this study

野外调研数据:结合实地情况,利用典型抽样方法,选取 15 个固定样地(图 1),样地规格 100 m×100 m,每个样地选取 20 株胡杨(涵盖多个郁闭度),于每年 2—5 月到各样地进行详细调查,主要记录单位枝、株各虫龄尺蠖数量等指标。

MOD13Q1 植被指数:选用 2001、2006、2011 和 2016 年 MOD13Q1 的"250 m 16-day NDVI"波段,制作 NDVI 时间序列曲线发现特征点并提取春尺蠖虫害信息。覆盖研究区的 MOD13Q1 影像有 2 轨,

轨道号为 h24v04 和 h24v05，每年 23 期，共计 92 期 184 幅。

矢量数据：来源于国家基础地理信息中心提供的 1∶25 万全国基础地理数据库，包括行政界限、省市县地标、主要河流、公路铁路等矢量要素数据。

软件使用：ENVI 5.4＋IDL 8.6 批量处理 MOD13Q1 影像，ArcGIS 10.5 处理矢量数据。

1.2　分析方法

1.2.1　MODIS13Q1 NDVI 数据的预处理

综合实地调查虫情数据和黄铁成[11]的研究成果后发现，研究区胡杨春尺蠖发生于每年的 3－5 月，3 月下旬至 4 月中下旬为春尺蠖幼虫期，在此期间幼虫大量啃食胡杨幼芽和幼叶，致使 NDVI 骤减。因此将 2001、2006、2011 和 2016 年作为研究年份，借助 MODIS13Q1 影像，分析 NDVI 曲线特征点，诊断并分离春尺蠖虫害信息，从而提取夏河林区胡杨春尺蠖分布区域。

借鉴黄铁成[11]的处理方法，利用 ENVI＋IDL 对 MOD13Q1 影像进行波段提取、数据镶嵌、投影变换、图像裁剪、波段融合等批量处理，采用 S-G 滤波方法[20]分析并重构上述得到的时间序列曲线，使其能够更好地体现 NDVI 的整体趋势，从而得到研究区 4 年 92 期的 NDVI 时间序列曲线（图 2）。

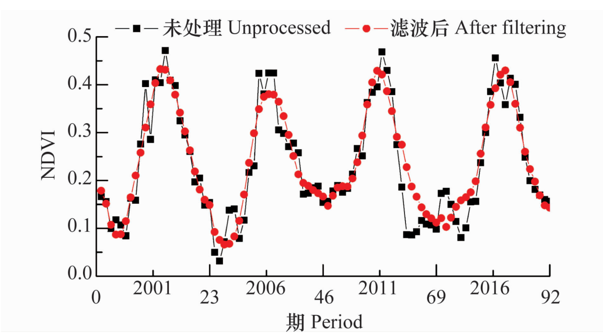

图 2　胡杨 NDVI 时间序列曲线

Fig. 2　NDVI time spectrum curve of *Populus euphratica*

春尺蠖的幼虫暴食期处于第 7 期到第 9 期之间，这段时间内遭受虫害的胡杨林 NDVI 值降低。因此仅对 4 年的第 7 期和第 9 期数据进行波段运算（第 9 期－第 7 期），最终得到 $NDVI_{差}$，该值范围为［－1，1］。运用 ArcGIS 10.5 的重分类功能，将 $NDVI_{差}$为［－1，0）的区域即春尺蠖虫害发生区域分为 4 个等级：1 级代表极重度虫害发生区域，$NDVI_{差}$为［－0.136 7，－0.013 7）；2 级代表重度虫害发生区域，$NDVI_{差}$ 为［－0.013 7，－0.008 2）；3 级代表中度虫害发生区域，$NDVI_{差}$ 为［－0.008 2，－0.004 2）；4 级代表轻度虫害发生区域，$NDVI_{差}$为［－0.004 2，0）；5 级代表无虫害发生区域，$NDVI_{差}$为［0，1］。最终得到 2001 年－2016 年虫害各等级的空间分布（图 3）。

采取混淆矩阵[22]方法，用 2016 年现地调查实际采集的 15 个固定样地中的 300 株样木春尺蠖数据与虫害各等级空间分布结果进行对比验证，平均精度达 95%，证明了上述结果和提取方法的适用性。

1.2.2　胡杨林春尺蠖的廊道效应验证

廊道效应是指距河流主干道远近胡杨春尺蠖发生率的变化规律，即大体上是距河道越远，虫害发生越少。

基于河流廊道宽度的研究，分析不同宽度的河流廊道内胡杨春尺蠖的发生情况，通过不同宽度的河流廊道内的胡杨春尺蠖发生面积，得到各廊道内河流春尺蠖的发生率，从而证明春尺蠖在空间分布上具备廊道效应。而对研究区春尺蠖的研究正好可以反映出春尺蠖在空间分布上具有河流廊道效应，结合实地调查数据对其进行验证。

1）研究区主要河流缓冲区构建

根据研究区河流范围和影像数据特点，采用缓冲带分析方法，距河道两侧各 0.5 km（共计 1 km）划分一个缓冲带，共划分 7 个缓冲带，具体为 1、2、3、4、5、10 和 20 km 的缓冲带（图 4）。

2）胡杨春尺蠖发生情况随距河道远近的变化

ArcGIS 10.5 的廊道分析工具主要是计算两个输入累计成本栅格的累计成本总和，运用该工具，对每年各缓冲带的胡杨春尺蠖虫害发生情况进行分析，计算每年胡杨春尺蠖虫害的发生率（表 2）。

3）廊道效应验证的固定样地设置

在设置样地时，主要考虑其通达性和距河流的远近，离河流不能太远或太近，充分考虑每条河流和各个郁闭度的胡杨。研究区主要有 4 条河流，在 15 个固定样地共 300 株样木，每株样木的东南西北方向各选取 1 个标准枝，样枝长 50 cm，细数每个标准枝的幼虫数量，将各方向标准枝上幼虫数量的均值作为样木的幼虫数量，并做记录。

林业调查部门于 2001 年－2016 年每年 2－5

月针对固定样地进行调查,同时作者所在课题组于 2012 年—2016 年的每年 3—4 月赴样地进行实地调查,重点调查幼虫数量,最后得到近 5 年每株样木的幼虫数量(表 3)。

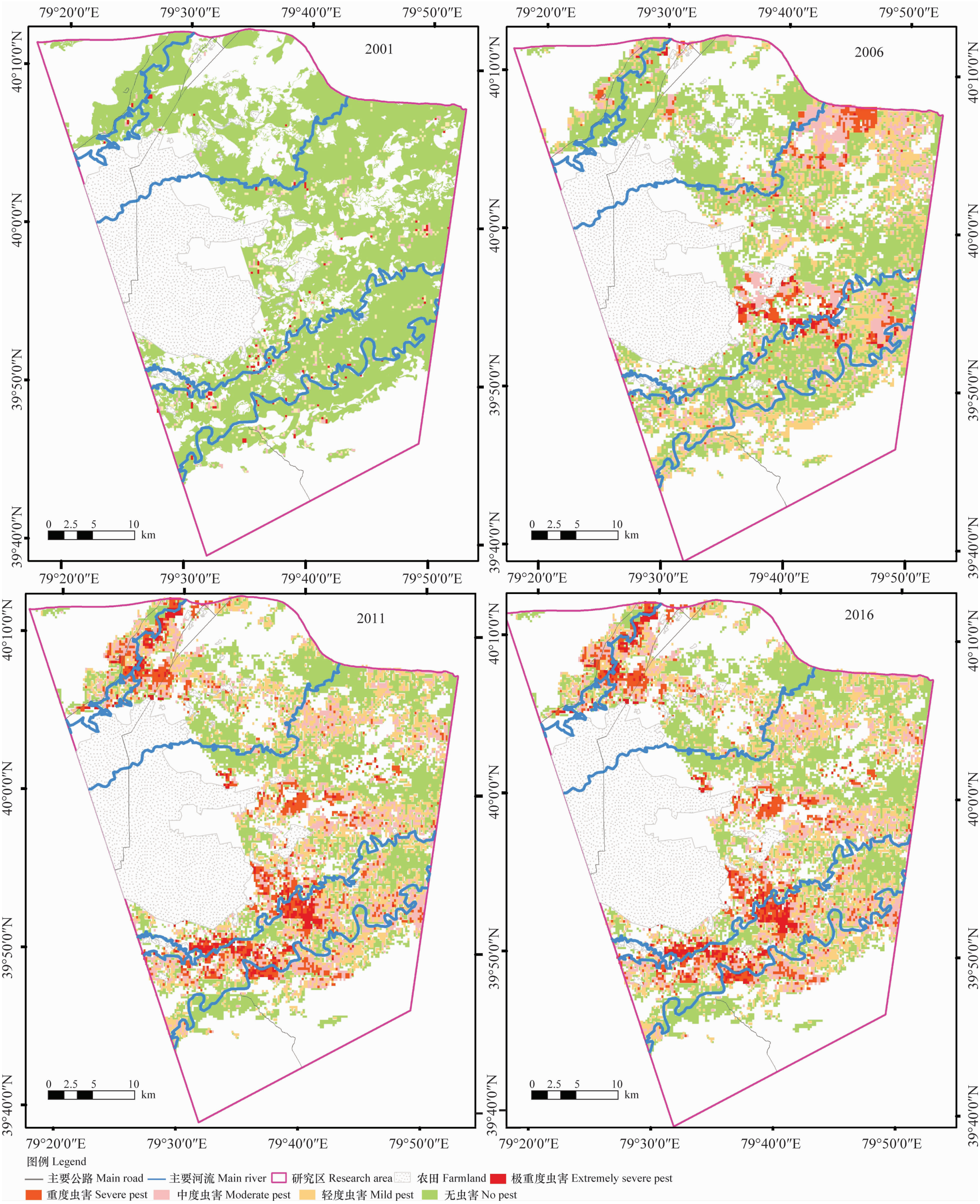

图 3　研究区 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年胡杨春尺蠖虫害各等级空间分布

Fig. 3　The spatial pattern of *Apocheima cinerarius* on *Populus euphratica* from 2001, 2006, 2011 and 2016

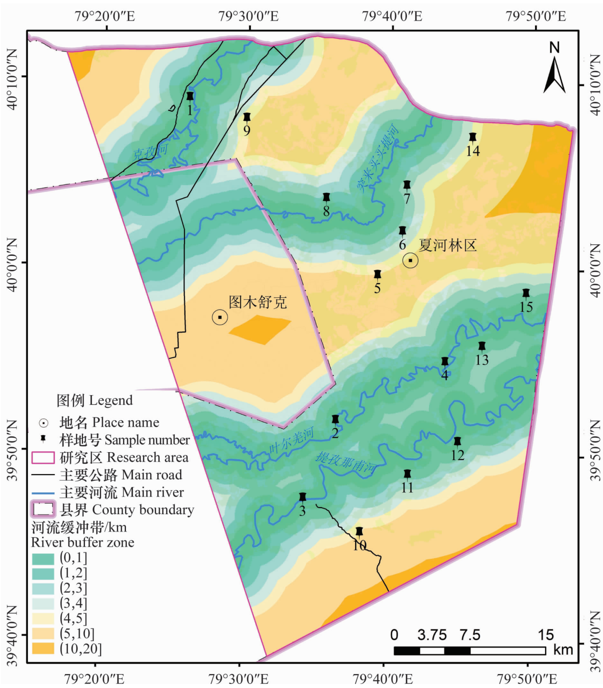

图 4　叶尔羌河流域河流廊道区域

Fig. 4　Location map of the river corridor in the Yarkand Darya river basin

2　结果与分析

2.1　胡杨春尺蠖的空间格局

近16年来研究区胡杨春尺蠖的发生范围在逐步扩大，且扩大较为明显(图3)。

2001年，春尺蠖发生区域相对较为分散，在叶尔羌河流域分布相对多一点。在极重度区域附近零散分布有重度和中度发生区域。轻度发生区域大部分分布在研究区的中部地区，整体来说无虫害的面积比例占据非常大，虫害发生程度较低。

2006年，春尺蠖发生区域分布在叶尔羌河流域两岸，在叶尔羌河和提孜那甫河中间分布的也相对集中，在突来买买提河和克孜河附近也有极重度虫害的发生，但相对叶尔羌河附近的极重度区域来说较为分散，面积相对较小。重度发生区域有两个集中分布区，即叶尔羌河的中部和突来买买提河的下游，中度发生区占次年重度区域面积的85%。中度发生区域出现在突来买买提河和叶尔羌河，主要靠近重度区域，分布也较为集中。轻度区域主要分布在提孜那甫河附近和研究区的中部。无虫害发生的区域占一半以上。

2011年，春尺蠖发生区域主要出现在克孜河、叶尔羌河与提孜那甫河，分布较为集中，分布面积增加。重度发生区域分布在S309省道附近，在叶尔羌河流域将极重度区域包围在中间，在研究区的中部地区也有一片相对集中的分布区域。中度发生区域主要分布在重度区域的周围，分布于研究区的各处，中间夹杂着轻度区域。

2016年，春尺蠖极重度发生区域主要分布在中部地区，一部分在叶尔羌河和突来买买提河中间，另一部分在克孜河和S309省道之间。重度发生区域也集中分布在研究区的中部地区，中度发生区域分布在极重度和重度区域的周围，分布范围较广且分散，面积较大。轻度发生区域分布的范围更为分散，基本无大面积的集中分布区域。

近16年来胡杨春尺蠖的发生面积逐年增加，且增加趋势较为明显(表1)。其中：极重度、重度、中度、轻度发生区占比分别提高了4.98、11.36、19.52、24.62百分点，无虫害区占比则下降了59.48百分点。

表1　2001年—2016年夏河林区胡杨春尺蠖不同虫害等级结构表

Table 1　Different grades of pest insect occurrence in the Xiahe forest region from 2001 to 2016

虫害等级 Pest level	2001		2006		2011		2016	
	面积/hm^2 Area	百分比/% Percentage	面积/hm^2 Area	百分比/% Percentage	面积/hm^2 Area	百分比/% Percentage	面积/hm^2 Area	百分比/% Percentage
极重度虫害 Extremely severe pest	75.50	0.08	1 606.25	1.79	3 112.50	3.46	4 550.00	5.06
重度虫害 Severe pest	406.25	0.45	6 325.00	7.04	8 925.00	9.93	10 612.50	11.81
中度虫害 Moderate pest	906.25	1.01	9 287.50	10.34	15 462.50	17.21	18 443.75	20.53
轻度虫害 Mild pest	1 612.50	1.80	13 487.50	15.01	19 837.50	22.08	22 837.50	25.42
无虫害 No pest	86 843.25	96.66	59 137.50	65.82	42 506.25	47.31	33 400.00	37.18
合计 Total	89 843.75	100.00	89 843.75	100.00	89 843.75	100.00	89 843.75	100.00

2.2　胡杨林春尺蠖发生的廊道效应

2.2.1　廊道效应胡杨距河道远近的分布变化

提取每个缓冲带内的胡杨林分布(图4)，发现离河道(0,1]、(1,2]、(2,3]、(3,4]、(4,5]、(5,10]、(10,20]km的胡杨林面积分别为15 781、12 462、10 100、8 244、5 950、17 194、16 413 hm^2，合计占研究区

胡杨林总面积的 96.17%,能够覆盖大部分的胡杨林区域,在研究廊道效应时具有代表性。整体表现出距离河流越远,胡杨林的分布面积越小,郁闭度越低。

2.2.2 廊道效应虫害距河道远近变化验证

运用河流缓冲区分析方法,对虫害发生区域进行叠加分析后发现,2001 年—2016 年距离河流 1 km 内的胡杨春尺蠖发生率最高,均高于当年虫害发生的平均水平,且距河流越远虫害发生率越低,这种现象较为明显(表 2)。因此研究区胡杨春尺蠖虫害发生情况具有明显的廊道效应。

表 2　胡杨春尺蠖发生情况随河道距离的变化

Table 2　Occurrence variation of *Apocheima cinerarius* on *Populus euphratica* with the distance from the river

虫害等级 Pest level	2001		2006		2011		2016	
	虫害面积/hm² Area of pest occurrence	虫害率/% Incidence rate	虫害面积/hm² Area of pest occurrence	虫害率/% Incidence rate	虫害面积/hm² Area of pest occurrence	虫害率/% Incidence rate	虫害面积/hm² Area of pest occurrence	虫害率/% Incidence rate
[0,1]	1 093.75	6.93	4 006.25	25.39	6 275.00	39.76	8 737.50	55.37
(1,2]	712.50	5.72	3 100.00	24.87	4 931.25	39.57	6 887.50	55.27
(2,3]	387.50	3.84	2 406.25	23.82	3 950.00	39.11	5 531.25	54.76
(3,4]	218.75	2.65	1 950.00	23.65	3 200.00	38.82	4 450.00	53.98
(4,5]	156.25	2.63	1 381.25	23.21	2 306.25	38.76	3 200.00	53.78
(5,10]	987.50	5.74	2 862.50	16.65	6 487.50	37.73	8 737.50	50.82
(10,20]	712.50	4.34	2 575.00	15.69	5 700.00	34.73	8 112.50	49.43
合计 Total	4 268.75	4.96	18 281.25	21.22	32 850.00	38.13	45 656.25	53.00

2.2.3 廊道效应固定样地验证

通过表 3 可以发现,各样地的春尺蠖数量与该样地距离河流的距离呈现负相关关系,距离河流越远,样地的春尺蠖数量越低,整体上体现了春尺蠖虫害发生情况具有廊道效应。

为了更加精确地验证廊道效应,将 300 株样木的春尺蠖数量(表 3)与该样木离所处河流的距离进行拟合(图 5),拟合度达到 0.815 8,拟合效果较好,春尺蠖数量与该样木离河流的距离具有负相关关系,基本呈现距离河流越远虫害发生率越低的趋势,实地调查数据反映了春尺蠖虫害发生率具有明显的廊道效应。

结合图 4 和表 3 发现,在平行河流的方向,在同一平行面下,春尺蠖数量变化较小,即春尺蠖的发生情况相对一致;在与河流垂直的方向,春尺蠖的数量随着距河流距离增大呈现下降的趋势,即春尺蠖数量与离河流距离成负相关,离河越远,春尺蠖数量越少。4 个样地的数据全部符合廊道效应的表现。

表 3　样地样木的胡杨春尺蠖发生情况

Table 3　Occurrence of *Apocheima cinerarius* on *Populus euphratica* in sample plots

样木编号 Sample no.	春尺蠖数量/头 Numbers of *Apocheima cinerarius*														
	叶尔羌河 Yarkant river				提孜那甫河 Tizinafu river				突来买买提河 Turimat river					克孜河 Krut river	
	样地 2 Site 2	样地 4 Site 4	样地 13 Site 13	样地 15 Site 15	样地 3 Site 3	样地 10 Site 10	样地 11 Site 11	样地 12 Site 12	样地 5 Site 5	样地 6 Site 6	样地 7 Site 7	样地 8 Site 8	样地 14 Site 14	样地 1 Site 1	样地 9 Site 9
1	32	7	3	2	19	3	2	3	2	2	4	3	2	5	2
2	31	6	3	4	19	0	4	3	2	2	0	4	3	4	2
3	28	6	3	0	17	0	0	3	1	4	0	5	2	4	1
4	32	7	3	4	19	1	4	3	2	0	6	0	4	5	2
5	31	6	3	3	19	2	3	3	2	3	0	5	2	4	2
6	24	5	2	5	15	0	5	2	0	0	0	4	0	3	0
7	25	5	2	0	15	1	0	5	3	0	2	0	0	4	3
8	21	4	2	0	13	1	0	4	0	5	1	0	3	3	0
9	24	5	2	4	15	4	4	0	1	0	2	5	0	5	1
10	23	5	2	5	14	0	5	4	0	3	2	0	0	2	0
11	20	4	2	0	12	0	0	0	2	4	1	0	2	0	2
12	19	4	2	0	12	0	0	2	1	0	3	4	3	6	1
13	17	3	2	0	10	0	0	4	3	0	0	0	0	2	3
14	15	3	1	3	9	3	3	0	0	0	0	0	0	4	0

续表 3　Table 3(Continued)

样木编号 Sample no.	春尺蠖数量/头 Numbers of *Apocheima cinerarius*														
	叶尔羌河 Yarkant river				提孜那甫河 Tizinafu river				突来买买提河 Turimat river					克孜河 Krut river	
	样地 2 Site 2	样地 4 Site 4	样地 13 Site 13	样地 15 Site 15	样地 3 Site 3	样地 10 Site 10	样地 11 Site 11	样地 12 Site 12	样地 5 Site 5	样地 6 Site 6	样地 7 Site 7	样地 8 Site 8	样地 14 Site 14	样地 1 Site 1	样地 9 Site 9
15	19	4	2	0	12	1	0	2	0	3	0	3	0	3	0
16	13	3	0	0	8	0	0	3	1	0	5	0	4	0	1
17	12	2	3	4	7	1	4	0	0	0	4	0	0	2	0
18	13	3	0	0	8	3	0	0	4	0	0	0	0	3	4
19	15	3	3	0	9	0	0	3	0	0	0	4	0	0	0
20	12	2	0	0	7	0	0	0	0	4	0	2	0	2	0
合计 Total	426	87	40	34	259	20	34	44	24	30	30	39	25	61	24

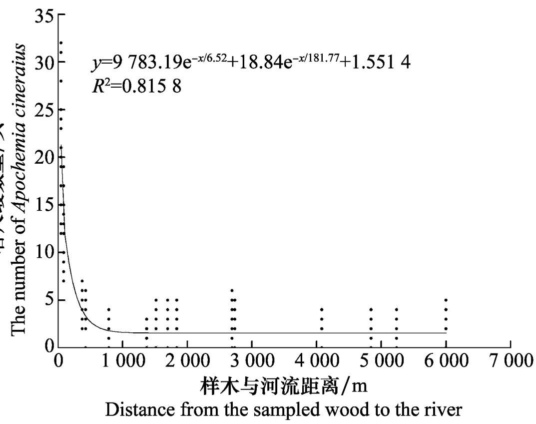

图 5　样地样木的胡杨春尺蠖数量与距河流距离散点图

Fig. 5　Scatter plot of the number of *Apocheima cinerarius* and the distances from the sampled wood to the river

3　结论与讨论

胡杨对于稳定干旱荒漠河流地带的生态平衡，防风固沙，调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤，具有十分重要的作用。近些年来，受到人为过度开发因素的影响，大量胡杨林消失，加之气候和生态环境的变化，导致现有的胡杨林大范围衰败，病虫害广泛蔓延，尤以胡杨春尺蠖发生最为严重。因此，科学监测虫害的发生状况，深入了解其传播规律，对于及时高效的治理和预防病虫害意义重大。

1）2001 年—2016 年胡杨春尺蠖分布有一个显著的特点，即虫害分布基本都是低一等级的发生区域包围着高一等级发生区域。即极重度区域周围大多分布着重度区域，重度区域周围分布着中度区域，以此类推。在夏河林区，胡杨春尺蠖的蔓延方向是从虫害发生区域向周围蔓延，且随着时间的推移，虫害扩散源的症状逐渐加重。目前，春尺蠖对夏河林区胡杨林的危害越来越大，虫害发生率超过 50%，形势非常严峻，所以必须对其进行飞防，针对每年的极重度胡杨春尺蠖发生区域开展专项治理。

2）研究区的胡杨林主要分布在距河道 0～5 km 范围，缓冲带面积的变化正好体现出距河道远近与胡杨分布的相关关系，主要由于越远离河流，胡杨获得的水分供给越少，胡杨的生长环境越差，故而距离河流越远，胡杨面积越小，反之，距离河流越近，胡杨的分布面积越大，且越集中。邱琳[23]借助 GF-1、Landsat 8 和 HJ 1 A/B 数据研究发现塔里木河中游的胡杨林主要沿河道分布，邻近沿河道处植被覆盖度相对较高，远离河道处植被覆盖度较低。本文的研究结论与其一致。

3）廊道按起源分为人工廊道和自然廊道[24]。本研究中的廊道为自然廊道中的河流廊道。河流廊道体现在随着距离河流的远近，胡杨林春尺蠖发生区域出现有规律的变化。因距离河流越远，胡杨面积越小，在验证胡杨春尺蠖发生情况是否具有廊道效应时，不能仅仅依靠廊道分析得出的虫害分布面积来推算是否具有廊道效应。因此本文提出胡杨春尺蠖虫害率，即利用每个缓冲区虫害胡杨面积与该区胡杨总面积之比，来衡量这个缓冲区内胡杨春尺蠖的发生情况，进而验证其是否具备廊道效应，以有效避免因胡杨林分布具备廊道效应的影响。

在河流附近区域分布的胡杨春尺蠖虫害等级相对较高，随着与河流距离增加，虫害等级逐渐降低，且越是河流的交叉处，春尺蠖分布越集中。这体现了胡杨林春尺蠖在扩散蔓延过程中，具有显著的河流廊道效应。实地调查数据证实，胡杨春尺蠖数量与其离河流的距离具有负相关关系，但其关系并非呈现线性关系，拟合发现指数函数较为合适，拟合度较高，可能是受到河流和样地样木的差异以及道路、农田等其他因素的影响。在野外调查中，发现春尺蠖蛹可随流水转移，作者所在的课题组将蛹进行灌

水试验,长时间灌水后,并未发现蛹死亡,且在第二年可正常羽化,表明蛹不怕水,且可随水流转移。春尺蠖的传播途径不仅限于河流,同时还包括风、人、牲畜、车辆等多种方式,因此深入探究其空间分布的驱动因子和传播途径以便提出针对性防治措施也成为下一步的研究重点。

4) 2001 年-2016 年,胡杨春尺蠖发生率逐年上升,如果不进行防治,其发生面积会进一步增加,且发生程度会更加严重。在进行春尺蠖防治时,要注重对当年极重度虫害发生区域进行防治,可以减轻第二年虫害的发生情况,同时可适当对虫害发生的严重区域进行精准防治,使严重区域减少。

目前关于胡杨林分布区 NDVI 的研究主要使用 MODIS13Q1 数据,该数据获取简便且易处理,但存在分辨率较低的缺点。虽然研究区属于干旱荒漠地带,相对于其他区域受到云等其他因素的干扰小,但是研究结果仍然存在一定的误差。在后续研究过程中,应结合野外调查数据,进一步提高数据的精确度,力争做到精准监测精准防治。

参考文献

[1] 王世绩. 全球胡杨林的现状及保护和恢复对策[J]. 世界林业研究, 1996, 9(6): 37-44.

[2] WANG Dandan, YU Zhitong, PENG Gang, et al. Water use strategies of *Populus euphratica* seedlings under groundwater fluctuation in the Tarim River Basin of Central Asia [J]. Catena, 2018, 166: 89-97.

[3] LIAN Conglong, YAO Kun, DUAN Hui, et al. Exploration of ABA responsive miRNAs reveals a new hormone signaling crosstalk pathway regulating root growth of *Populus euphratica* [J/OL]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(5): 1481.

[4] 于明久,于立增,方芳. 春尺蠖防治技术试验研究[J]. 现代农村科技,2013(3):60-61.

[5] 郭志华,肖文发,张真,等. RS 在森林病虫害监测研究中的应用[J]. 自然灾害学报,2003,12(4):73-81.

[6] 哈米提,巴海提·居马汗,魏建荣. 新疆额敏县山杨楔天牛发生与为害调查[J]. 植物保护,2012,38(6):151-153.

[7] 张小梅. 库尔勒市东山胡杨发展现状及主要病虫害的综合防治[J]. 防护林科技,2016(3):97-100.

[8] 娄国强,吕文彦,余昊,等. 基于 GS 和 GIS 的春尺蠖种群分布动态研究[J]. 昆虫学报,2006,49(4):613-618.

[9] 余昊,王登元. 春尺蠖种群空间分布型及抽样技术研究[J]. 新疆农业科学,2004,41(5):296-298.

[10] 白彬,陈蜀江,耿庆龙,等. 塔里木河流域春尺蠖发生空间分布与生境关系研究[J]. 江西农业学报,2008(5):56-58.

[11] 黄铁成. 新疆塔里木河流域吐加依林春尺蠖危害遥感监测研究[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学,2012.

[12] FERREIRA S, BATISTA D, SERRAZINA S, et al. Morphogenesis induction and organogenic nodule differentiation in *Populus euphratica* Oliv. leaf explants [J]. Plant Cell Tissue & Organ Culture, 2009, 96(1): 35-43.

[13] 田乃祥,马占鸿. 胡杨锈病病原与防治对策[J]. 植物保护,1990,16(3):17-18.

[14] 王少山,曹玉,罗志兵,等. 阿拉尔地区发生小蠹虫危害新疆杨[J]. 植物保护,2002,28(1):62.

[15] 张亦汉,曾湛荆. 番禺区城市建设用地的廊道效应分析[J]. 国土资源遥感,2014,26(4):157-162.

[16] YANG Han, WANG Yaqi, ZHOU Huarong. Corridor effect of change on landscape pattern along Irtysh River basin in China [C]// Second IITA International Conference on Geoscience & Remote Sensing, 2010.

[17] 宗跃光. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 3-8.

[18] TONG Huali, SHI Peiji, ZHU Guofeng, et al. The characteristics of oasis urban expansion and drive mechanism analysis: a case study on Ganzhou District in Hexi Corridor, China [J]. Sciences in Cold & Arid Regions, 2015, 7(3): 282-292.

[19] 周华荣,肖笃宁,周可法. 干旱区景观格局空间过程变化的廊道效应——以塔里木河中下游河流廊道区域为例[J]. 科学通报, 2006, 51(S1): 66-72.

[20] ANDUALEM A, TAKELE N. Analysis of the spatial accessibility of Addis Ababa's light rail transit: the case of east-west corridor [J]. Urban Rail Transit, 2018, 4(3): 1-14.

[21] FAHREDDIN S, CEMAL K. Filtering continuous glucose monitoring signal using Savitzky-Golay filter and simple multivariate thresholding [J]. Procedia Computer Science, 2016, 102: 342-350.

[22] 乔红波,师越,司海平,等. 基于无人机数字图像与高光谱数据融合的小麦全蚀病等级的快速分类技术[J]. 植物保护,2015,41(6):157-162.

[23] 邱琳. 塔里木河中游胡杨林春尺蠖幼虫危害遥感监测[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018.

[24] BROTCHIE J F, DICKEY J W, SHARPE R. Growth corridor studies [M]// General planning technique and its applications at the regional, urban, and facility planning levels. Topaz. Springer Berlin Heidelberg, 1980: 15.

(责任编辑: 田 喆)