

DOI: 10.5846/stxb201509131888

徐建英, 桓玉婷, 孔明. 卧龙自然保护区野生动物肇事农地特征及影响机制分析. 生态学报, 2016, 36(12): - .

Xu J Y, Huan Y T, Kong M. Typical characteristics of farmlands in Wolong National Natural Reserve in Sichuan Province damaged by wildlife and the measures for mitigation. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(12): - .

# 卧龙自然保护区野生动物肇事农地特征及影响机制分析

徐建英\*, 桓玉婷, 孔明

首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

**摘要:** 野生动物肇事是保护区内部和周边地区的普遍现象, 严重影响了保护区生物多样性保护的有效性, 是当前保护区管理面临的新问题。本文以四川卧龙国家级自然保护区为例, 于 2014 年 7—8 月以问卷调查方式获取了 170 个农地的野生动物肇事信息, 建立了野生动物肇事与不同农地特征之间的二元 logistic 回归模型, 并通过赤池信息量准则筛选出三个拟合优良的回归模型。研究表明, 野生动物肇事与农地特征之间存在密切关系, 其中农地种植作物类型、农地与森林、公路的距离、围栏的使用等农地特征意义显著 ( $p$  值均小于 0.01)。文章进而探讨了上述农地特征对野生动物肇事的影响机制及原因, 并据此结果提出了野生动物肇事地的评价和管理、调整作物种植结构、统一规划和管理防护措施、减轻当地居民对农业的依赖等缓解人与野生动物冲突的对策。

**关键词:** 野生动物肇事; 农地特征; 缓解对策; 卧龙国家级自然保护区; 自然保护区管理

## Typical characteristics of farmlands in Wolong National Natural Reserve in Sichuan Province damaged by wildlife and the measures for mitigation

XU Jianying\*, HUAN Yuting, KONG Ming

College of Resource, Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

**Abstract:** Currently, damage to farmlands due to wildlife and human-wildlife conflicts has become a challenge for the management of reserves. Damage ascribed to wildlife is a universal phenomenon in and around natural reserves, leading to human-wildlife conflicts and seriously impairing the effectiveness of biodiversity conservation. Essentially, wildlife damage and human-wildlife conflicts occur when there is a shared landscape or habitat between humans and wildlife, leading to an increase in competition for space and resources. Therefore, it is necessary to research and discriminate typical characteristics of shared landscape for damage mitigation. Here we used the Wolong Natural Reserve as a case study site, interviewed 186 local residents living in the reserve, collected information concerning 170 farms, and then analyzed and identified the key characteristics of damaged farmlands with the Binary logistic regression model. Akaike Information Criterion ( $AIC$ ) was used to choose the three optimal models. The results revealed a significant correlation between wildlife damage farmland characteristics such as crop type planted, distance from farmland, distance from a rural road, and use of fences (with  $P$  values  $< 0.01$ ). Furthermore, we subsequently discuss the reasoning behind the existence of these correlations and the mechanisms affecting them. Specifically, farmlands growing corn and cabbage were more likely to be damaged because both these crops are palatable to wild animals. Farmlands located closely to forests had a higher probability of being damaged by wild animals. More than 60% farmland was converted into forested area by the Grain for Green Program, creating areas that

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41271552)

收稿日期: 2015-09-13; 修订日期: 2015-12-24

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xu-jianying@163.com

could act as a corridor or stepping stone for wild animals to more readily access farmlands. The distance of the farmland from a rural road played an important role in decreasing wildlife damage, since the road in the reserve hindered access to wild animals as well as their activities. Interestingly, statistically, the farmlands protected by fences had a higher probability of being damaged by wild animals. We believe that the local fence was not effective due to its poor durability and vulnerability to certain animals, such as wild boar and porcupine. After completing our analyses, we proposed the following wildlife damage mitigation measures: (1) farmlands should be managed according to their ranked risks to wildlife damage, (2) local residents should adjust or change their crop structure, and (3) local reserve managers should plan and regulate damaged farmland in a unified manner in order to increase the effectiveness of mitigation measures. In the long term, it is necessary to alleviate local dependence on agriculture and transform community focuses to alternative economic activities not related to farming such as tourism.

**Key Words:** wildlife damage; farmland characteristics; mitigation measures; Wolong National Natural Reserve; nature reserve management

野生动物肇事是世界各地尤其是保护区周边和内部普遍存在的一种现象<sup>[1-3]</sup>,主要肇事类型表现为破坏作物、捕食牲畜、攻击人类、传播疾病等。野生动物肇事不仅给当地居民造成经济损失,危害人身安全而且降低了当地居民生物多样性保护的积极性<sup>[1]</sup>,报复性杀害野生动物的事件时有发生<sup>[4-5]</sup>,在某些地区甚至成为野生动物数量锐减的重要原因<sup>[6]</sup>,在世界范围内引起广泛关注。当前,野生动物肇事已经成为威胁生物多样性保护,影响保护区与社区可持续发展的关键问题<sup>[7]</sup>。

究其本质,野生动物肇事的产生是人类与野生动物在空间和资源需求方面重叠和竞争性利用的结果<sup>[8]</sup>。为了有效预防和减缓人与野生动物冲突,须充分认识肇事空间的特征,辨别野生动物肇事地易受影响的程度及其关键因子<sup>[9-10]</sup>,从而提高防护措施的成效和针对性<sup>[11-12]</sup>。肇事地关键特征的辨别融合了肇事动物、肇事类型以及野生动物肇事的生态因素等多个方面,可以有效提高防护措施的科学性和目的性,降低防护和预防的成本,反之则可能造成资源的浪费和防护措施的无效,如 Karanth<sup>[13]</sup>等研究发现某保护区当地居民采取的 13 种措施中,没有一种能减轻野生动物对作物或者牲畜的破坏。另一方面,肇事空间具有明显的异质性和复杂性,其关键特征的辨别与区域、肇事动物及肇事类型等密切相关,以较为常见的农作物破坏为例,在不同区域,与肇事地关键特征相关的因子有所不同,已经发现的因子有农地与保护区<sup>[13]</sup>和森林边缘的距离<sup>[1,14-15]</sup>、农地与野生动物相对位置<sup>[5]</sup>、农地面积大小<sup>[1]</sup>、农地种植作物类型<sup>[16]</sup>等。

近年来,我国由于生态恢复和禁猎政策的实施,野生动物的数量大量增加,特别是在保护区和偏远贫穷的山区<sup>[17]</sup>,但在野生动物肇事的防护和预防措施方面的研究有待深入<sup>[18]</sup>,而预测潜在的肇事发生地对于野生动物肇事的防治尤为重要<sup>[19]</sup>。本研究拟以卧龙自然保护区为例,就野生动物肇事农地特征进行研究,研究目的包括:①分析卧龙自然保护区野生动物肇事的基本情况;②辨别和分析肇事农地关键特征;③提出预防和减缓人与野生动物冲突的措施及建议。

## 1 研究区概况

卧龙自然保护区位于四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县西南部,邛崃山脉东南坡(东经 102°52′—103°24′,北纬 30°45′—31°25′),面积约 2000 km<sup>2</sup>,处于成都平原向青藏高原的过渡地带,海拔变化显著,海拔高度介于 1150 m 至 6250 m 之间,山高谷深,生态系统类型多样。该保护区始建于 1963 年,于 1980 年加入联合国教科文组织“人与生物圈”保护区网,以大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca* David)、金丝猴(*Rhinopithecus roxellana* Milne-Edwards)、珙桐(*Davidia involucrate* Baill)等珍稀动植物及其生态系统为保护对象。

研究区域内辖卧龙和耿达两个镇,6 个行政村(卧龙一村,卧龙二村,卧龙三村;耿达一村,耿达二村和耿达三村),26 个村民小组。2013 年共有常住人口 5954 多人,其中农业人口 4729 人。人口主要以藏、羌和汉族

为主。当地居民主要从事农业活动,此外还从事建筑、运输、旅游、中草药采集等活动。保护区内映小(映秀-小金)公路即 303 省道纵贯整个自然保护区,是卧龙保护区与外界联系的主要通道(图 1)。

2 研究方法

2.1 数据获取

卧龙自然保护区野生动物的肇事类型为野生动物对农作物的破坏。本研究数据通过问卷调查的方式获取,调查内容包括研究区内农地受野生动物破坏情况及农地特征,其中农地特征数据包括农地所处山坡的位置,农地的坡度、面积,农地周围的植被、建筑、河流情况,种植的作物类型,农地至公路、机耕道、村落、森林的距离,以及采取的防护措施。调查范围为卧龙自然保护区卧龙镇和耿达乡所属的 6 个行政村,26 个村民小组。调查地点选在农户的家中。调查对象为年龄大于 18 岁的当地居民。数据收集工作在 2014 年 7 月—8 月内完成,总共获得 170 个农地相关信息,其中卧龙镇 78 个,耿达乡 92 个。

2.2 数据处理与分析

本研究数据处理采用 SPSS 软件中二元逻辑回归模型完成,其中因变量为野生动物破坏情况(有=1,无=0),自变量为农地的基本特征,农地特征的属性和描述见表 1。变量的选择通过逻辑回归模型建立过程中

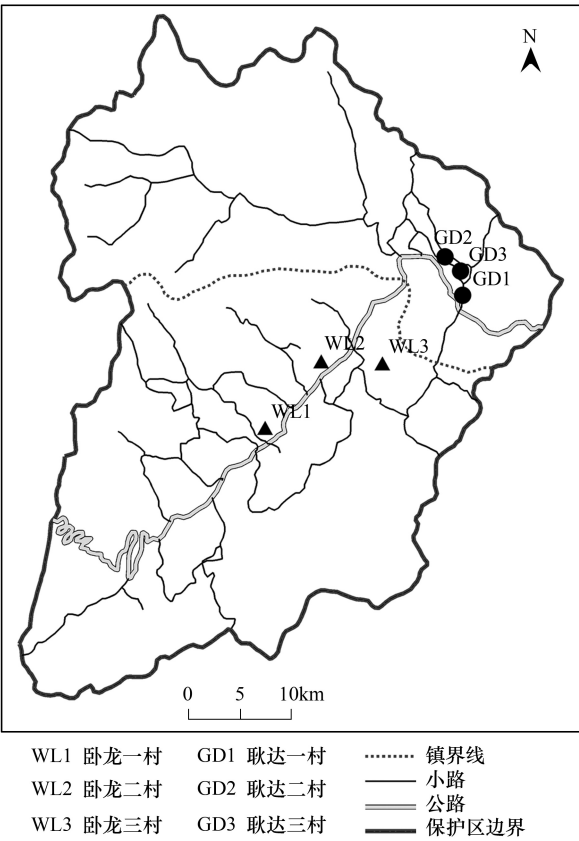


图 1 研究区域概况图

Fig.1 Map of Wolong Nature Reserve showing the villages surveyed

表 1 模型中自变量(农地特征)属性及描述

| Table 1 Independent variables (farmland characteristics) and their attributes in model |                     |            |                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|----------------------------------|
| 自变量<br>Independent variables                                                           | 描述<br>Description   | 单位<br>Unit | 数据描述<br>Characteristics          |
| 位置 Location on slope                                                                   | 农地处于山坡的位置           |            | 山脚:0 山腰:1 山顶:2 <sup>b</sup>      |
| 坡度 Gradient                                                                            | 农地的倾斜程度             | 度          | 12.7 <sup>a</sup>                |
| 面积 Area                                                                                | 农地的大小               | 亩          | 2.29 <sup>a</sup>                |
| 周围植被 Ambient vegetation                                                                | 农地周围的植被情况           |            | 都是农作物:1 都是林地:2 <sup>b</sup> 其他:0 |
| 建筑 Building                                                                            | 农地附近是否有建筑           | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 河流 River                                                                               | 农地附近是否有河流           | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 玉米 Corn                                                                                | 种植的作物类型             | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 莲花白 Cabbage                                                                            | 种植的作物类型             | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 土豆 Potato                                                                              | 种植的作物类型             | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 公路 Road                                                                                | 农地距离公路是否在 100 m 以内  | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 机耕道 Tractor road                                                                       | 农地距离机耕道是否在 100 m 以内 | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 距村距离 Distance to village                                                               | 农地距离家的距离            | km         | 1.289 <sup>a</sup>               |
| 森林 Forest                                                                              | 农地是否距离森林在 100 m 以内  | 是或否        | 是:1 否:0                          |
| 围栏 Fence                                                                               | 农地是否有围栏             | 是或否        | 是:1 否:0                          |

数据描述中的 0,1,2 分别表示模型中分类变量的不同类别;a 平均值; b 哑变量设置中的参照值

变量的向前步进和向后步进两种方式完成,其中后步进是指对已纳入方程的自变量按照其对因变量的贡献大小依次剔除,每剔除一个变量,则重新计算各个自变量对因变量的贡献,直到模型中所有自变量均符合入选标准,前进法与后进法相似,但是自变量只进不出。通过向前步进和向后步进两种进入方式得到 14 个模型,不同的模型具有不同的变量组合。

模型的筛选采用赤池信息量准则(即 Akaike information criterion、简称  $AIC$ )来衡量模型的拟合优良性<sup>[20]</sup>。具体来讲,赤池信息量准则采用  $AIC_c$  值和  $\Delta AIC_c$  值来进行模型的拟合优良性评估, $AIC_c$  用于衡量小样本情况下模型的拟合优良程度,表示为:

$$AIC_c = -2\log(L(\hat{\theta})) + 2K\left(\frac{n}{n-K-1}\right) \quad (1)$$

其中  $\log(L(\hat{\theta}))$  为模型的极大似然函数, $K$  为模型独立参数个数, $N$  为样本量的大小。

对于研究中获得 14 个模型,分别计算其  $AIC_c$  值。但是每个模型的变量不同,存在拟合优良度的差异,而  $\Delta AIC_c$  则是用来比较模型之间拟合优良度的差异。方程  $i$  的  $\Delta AIC_c$  表示为

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{\min} \quad (2)$$

$AIC_i$  指方程  $i$  的  $AIC$  值, $AIC_{\min}$  指拟合最好,即  $AIC$  值最小的方程。若  $\Delta_i$  在 0—2 之间说明模型模拟效果较好,若大于 10,则表示模型拟合效果较差,几乎没有参考价值。

根据  $\Delta AIC_c$  值的计算结果,对 14 个模型的拟合优良性进行排序。在模型和数据一定的情况下,为了进一步比较模型预测的准确性,对于各个模型的极大似然值进行标准化,即利用 Akaike weights ( $w_i$ ) 来表征模型的相对似然值,模型  $i$  的  $w_i$  表示为:

$$w_i = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\Delta_i\right)}{\sum_{r=1}^R \exp\left(-\frac{1}{2}\Delta_r\right)} \quad (3)$$

其中, $R$  表示模型的个数, $\Delta_i$  指模型  $i$  的  $\Delta AIC_c$  值。

### 3 结果分析

#### 3.1 野生动物肇事的基本情况

保护区内野生动物破坏农作物严重,在调查的 170 个农地中有野生动物破坏的 105 个(62%),无破坏的 65 个(38%)。受害作物类型主要包括玉米、土豆、莲花白、四季豆等。肇事动物主要包括野猪、猪獾、豪猪、黑熊、猴子、鹿等,时间均为夜间,但肇事动物不同破坏农作物部位不同,其中野猪取食成熟的玉米、莲花白、土豆,黑熊、猴子、豪猪主要取食成熟玉米,猪獾不取食农作物但是其拱地会破坏农田,鹿取食玉米苗、莲花白苗、四季豆等。肇事范围最广的野猪破坏 89 块农地,包括 74 块玉米地,25 块莲花白地,30 块土豆地。种植范围最广的农作物玉米是受害最严重的作物类型。

#### 3.2 肇事农地特征分析

农地的破坏情况与农地特征之间存在一定关系,如农地空间位置及自身属性、农作物类型、农地周边情况等特征不同,野生动物破坏情况也存在一定的差异。从农地空间位置来看,由于退耕还林工程的实施,大多数农地(64%)分布在山脚,但农地的破坏情况随着海拔高度的增加而增加(从山脚到山顶分别是 55%,74% 和 83%)(表 2),且坡度和面积较大的农地更容易受到野生动物破坏。从农地的农作物类型来看,种植玉米、土豆和莲花白的农地较没有种植的农地更容易受到野生动物破坏,特别是种植玉米的农地,野生动物的破坏达到 78%。

根据调查农地的周边情况特征,按照周围植被情况、建筑和河流的有无以及距离家、机耕道、公路和森林的距离、围栏等特征一一分析,研究结果表明,四周均是林地的农地更容易受到野生动物破坏,比例高达

86%,类似的森林附近的农地受破坏比例高(71%)。农地附近的建筑,如房屋、水电站等也会明显降低野生动物的破坏,较附近无建筑的农地低 16%,同样,如果农地周边有河流、公路也会降低野生动物的破坏。此外在设置围栏的农地中 80%受到野生动物破坏,高于没有设置围栏的农地(56%)。

表 2 肇事农地特征  
Table 2 Features of farmlands damaged by wildlife

| 变量 Variables             | 分类 Types          | 野生动物破坏情况 Damaged by wildlife or not |              | 总计 Total     |
|--------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|
|                          |                   | 无破坏 No damage                       | 有破坏 Damage   |              |
| 位置 Location on slope     | 山脚                | 49(45%)                             | 59(55%)      | 108(64%)     |
|                          | 山腰                | 13(26%)                             | 37(74%)      | 50(29%)      |
|                          | 山顶 <sup>a</sup>   | 2(17%)                              | 10(83%)      | 12(7%)       |
| 坡度 Gradient              | 均值                | 7.45(0—70)                          | 15.93(0—70)  | 12.69(0—70)  |
| 面积 Area                  | 均值                | 1.82(0.1—12)                        | 2.57(0.1—20) | 2.29(0.1—20) |
| 距村距离 Distance to village | 均值                | 0.73(0—7)                           | 1.632(0—10)  | 1.289(0—10)  |
| 周围植被 Ambient vegetation  | 只有耕地              | 20(49%)                             | 21(51%)      | 41(24%)      |
|                          | 只有林地 <sup>a</sup> | 3(14%)                              | 18(86%)      | 21(12%)      |
|                          | 其他                | 41(38%)                             | 67(62%)      | 108(64%)     |
| 建筑 Building              | 无                 | 28(30%)                             | 64(70%)      | 92(54%)      |
|                          | 有                 | 36(46%)                             | 42(54%)      | 78(46%)      |
| 河流 River                 | 无                 | 38(32%)                             | 80(68%)      | 118(69%)     |
|                          | 有                 | 26(50%)                             | 26(50%)      | 52(31%)      |
| 公路 Road                  | 100 m 外           | 39(34%)                             | 75(66%)      | 114(67%)     |
|                          | 100 m 内           | 25(45%)                             | 31(55%)      | 56(33%)      |
| 机耕道 Tractor road         | 100 m 外           | 33(38%)                             | 53(62%)      | 86(50%)      |
|                          | 100 m 内           | 31(39%)                             | 53(61%)      | 84(50%)      |
| 森林 Forest                | 100 m 外           | 29(57%)                             | 22(43%)      | 51(30%)      |
|                          | 100 m 内           | 35(29%)                             | 84(71%)      | 119(70%)     |
| 围栏 Fence                 | 无                 | 55(44%)                             | 69(56%)      | 124(73%)     |
|                          | 有                 | 9(20%)                              | 37(80%)      | 46(27%)      |
| 玉米 Corn                  | 无                 | 40(64%)                             | 21(34%)      | 61(36%)      |
|                          | 有                 | 24(22%)                             | 85(78%)      | 109(64%)     |
| 土豆 Potato                | 无                 | 47(47%)                             | 52(53%)      | 99(58%)      |
|                          | 有                 | 17(24%)                             | 54(76%)      | 71(42%)      |
| 莲花白 Cabbage              | 无                 | 39(42%)                             | 54(58%)      | 93(55%)      |
|                          | 有                 | 25(32%)                             | 52(68%)      | 77(45%)      |

表中数值表示对应类别的农地数量及比例;农地属性的均值和范围;a 哑变量设置中的参照值

3.3 基于 AICc 值的预测模型筛选

为了有效辨别肇事农地特征与野生动物破坏之间的关系,特别是肇事农地综合特征与野生动物破坏之间的关系,应筛选出最佳拟合模型。基于各模型的  $\Delta AICc$  值大小对 SPSS 软件中得到的 14 个回归模型进行筛选,结果表明(表 3),模型 1 具有最小的  $\Delta AICc$  值,模拟效果最好,包括的自变量有玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距家距离,模型的  $w_i$  为 0.2717,  $R^2$  为 0.540。其次是模型 2,  $\Delta AICc$  值为 0.090, 包含的自变量有玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流,  $w_i$  为 0.2597,  $R^2$  为 0.529。再次是模型 3,  $\Delta AICc$  为 0.270, 包括的自变量有玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距家距离、周围植被,  $R^2$  为 0.561,  $w_i$  为 0.2374。这三个模型  $\Delta AICc$  值和所占权重相差不大,是最有参考价值的三个模型,其他的模型权重相对更小,其中模型 9—14 的  $\Delta AICc$  大于 10,模型拟合效果较差,参考价值不大。

表 3 各模型的 AICc 分析结果

Table 3 Regression models ranked by AICc value

| 模型 Model | 自变量 Variables                                   | R <sup>2</sup> | $\Delta AICc$ | $w_i$  |
|----------|-------------------------------------------------|----------------|---------------|--------|
| 1        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离                         | 0.540          | 0             | 0.2717 |
| 2        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流                              | 0.529          | 0.090         | 0.2597 |
| 3        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被                    | 0.561          | 0.270         | 0.2374 |
| 4        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被、土豆                 | 0.565          | 1.676         | 0.1175 |
| 5        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏                                 | 0.502          | 3.353         | 0.0508 |
| 6        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被、土豆、建筑              | 0.567          | 3.672         | 0.0433 |
| 7        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被、土豆、建筑、机耕道          | 0.568          | 5.778         | 0.0151 |
| 8        | 玉米、莲花白、森林、公路                                    | 0.458          | 9.546         | 0.0023 |
| 9        | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被、土豆、建筑、机耕道、坡度       | 0.568          | 10.587        | 0.0014 |
| 10       | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被、土豆、建筑、机耕道、坡度、位置    | 0.571          | 12.462        | 0.0005 |
| 11       | 玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被、土豆、建筑、机耕道、坡度、位置、面积 | 0.571          | 14.929        | 0.0002 |
| 12       | 玉米、莲花白、森林                                       | 0.409          | 16.444        | 0.0001 |
| 13       | 玉米、莲花白                                          | 0.327          | 28.2294       | 0.0000 |
| 14       | 玉米                                              | 0.221          | 42.802        | 0.0000 |

### 3.4 预测模型的影响因子分析

拟合最优的 3 个模型各自变量回归结果和模型检验结果见表 4, 包括解释变量系数, 标准误、wald 检验值及显著性、OR 值, 以及整个模型的卡方值、显著性和预测组正确率。研究结果表明, 模型 1、模型 2 和模型 3 的卡方检验结果都很显著 ( $p < 0.001$ ), 预测组的正确率分别为 80.6%, 80.6%, 82.4%。Wald 检验结果表明影响野生动物破坏的因素按显著性排序依次为玉米、莲花白、森林、公路、围栏、河流、距村距离、周围植被。其中玉米、莲花白、森林、公路、围栏五个因子是影响野生动物破坏最显著的因子 ( $p < 0.01$ ), 各因子的作用方式和程度见表 4。

表 4 模型检验结果及各因子回归结果

Table 4 Regression results of top three ranked models

| 模型 Model | 因子 Variables | 方程中各因子回归结果 Factors in regression model |       |        |       |         | 模型检验结果 Model test |       |                           |
|----------|--------------|----------------------------------------|-------|--------|-------|---------|-------------------|-------|---------------------------|
|          |              | B                                      | S.E.  | Wals   | Sig.  | Exp (B) | 卡方 Chi square     | Sig.  | 预测准确率 Prediction accuracy |
| 1        | 河流           | -0.882                                 | 0.472 | 3.491  | 0.062 | 0.414   | 85.902            | 0.000 | 80.6                      |
|          | 玉米           | 3.303                                  | 0.614 | 28.991 | 0.000 | 27.204  |                   |       |                           |
|          | 莲花白          | 2.509                                  | 0.605 | 17.206 | 0.000 | 12.287  |                   |       |                           |
|          | 公路           | -1.423                                 | 0.497 | 8.189  | 0.004 | 0.241   |                   |       |                           |
|          | 距村距离         | 0.191                                  | 0.133 | 2.052  | 0.152 | 1.210   |                   |       |                           |
|          | 森林           | 1.960                                  | 0.498 | 15.460 | 0.000 | 7.098   |                   |       |                           |
|          | 围栏           | 1.466                                  | 0.534 | 7.540  | 0.006 | 4.332   |                   |       |                           |
| 2        | 河流           | -1.052                                 | 0.458 | 5.272  | 0.022 | 0.349   | 83.582            | 0.000 | 80.6                      |
|          | 玉米           | 3.355                                  | 0.614 | 29.863 | 0.000 | 28.642  |                   |       |                           |
|          | 莲花白          | 2.424                                  | 0.598 | 16.465 | 0.000 | 11.296  |                   |       |                           |
|          | 公路           | -1.584                                 | 0.490 | 10.450 | 0.001 | 0.205   |                   |       |                           |
|          | 森林           | 1.953                                  | 0.492 | 15.738 | 0.000 | 7.048   |                   |       |                           |
| 3        | 河流           | -0.955                                 | 0.496 | 3.705  | 0.054 | 0.385   | 90.178            | 0.000 | 82.4                      |
|          | 玉米           | 3.303                                  | 0.614 | 28.991 | 0.000 | 27.204  |                   |       |                           |
|          | 莲花白          | 2.509                                  | 0.605 | 17.206 | 0.000 | 12.287  |                   |       |                           |

| 续表          |                 |                                        |       |        |       |         |                   |      |                              |
|-------------|-----------------|----------------------------------------|-------|--------|-------|---------|-------------------|------|------------------------------|
| 模型<br>Model | 因子<br>Variables | 方程中各因子回归结果 Factors in regression model |       |        |       |         | 模型检验结果 Model test |      |                              |
|             |                 | B                                      | S.E.  | Wals   | Sig.  | Exp (B) | 卡方<br>Chi square  | Sig. | 预测准确率<br>Prediction accuracy |
|             | 玉米              | 3.266                                  | 0.616 | 28.157 | 0.000 | 26.207  |                   |      |                              |
|             | 莲花白             | 2.548                                  | 0.619 | 16.919 | 0.000 | 12.782  |                   |      |                              |
|             | 公路              | -1.463                                 | 0.511 | 8.179  | 0.004 | 0.232   |                   |      |                              |
|             | 距村距离            | 0.232                                  | 0.140 | 2.738  | 0.098 | 1.261   |                   |      |                              |
|             | 森林              | 1.818                                  | 0.506 | 12.922 | 0.000 | 6.159   |                   |      |                              |
|             | 围栏              | 1.513                                  | 0.550 | 7.581  | 0.006 | 4.542   |                   |      |                              |
|             | 周围植被            |                                        |       | 4.046  | 0.132 |         |                   |      |                              |
|             | 植被(1)           | -0.540                                 | 0.915 | 0.349  | 0.555 | 0.583   |                   |      |                              |
|             | 植被(2)           | -1.471                                 | 0.954 | 2.378  | 0.123 | 0.230   |                   |      |                              |

3.5 农地风险值分布

依据最优模型(模型 1)得到每个农地受野生动物破坏的概率值,其平均值为 0.62,整体上受破坏的风险较高,但农地受破坏的概率分布不均匀(图 1)。其中 42.4%的农地受害概率最高,受害概率在 0.8—1 之间,仅有 14.7%的农地受破坏概率较低(<0.2),其余农地受害风险介于二者之间。

4 讨论

农地特征与野生动物破坏之间存在密切关系,对其背后的作用机制的分析有助于了解野生动物肇事的生态学原因,提高和改善野生动物肇事的防护措施。上述回归分析结果表明,农地的受害情况与其综合特征密切相关,相较于单一农地特征与野生动物破坏之间的数量对应关系,模型的模拟和分析更具有科学性,研究发现种植玉米和莲花白、位于森林附近、远离公路,且实施了围栏措施的农地受到野生动物破坏的可能性更高。其中农作物种植类型与野生动物破坏之间关系密切,贡献较大( $B_{玉米}=3.303$ ,  $B_{莲花白}=2.509$ ),这可能和这两种作物的可食性较高有关,调查发现,绝大多数肇事动物均

会食用这两种作物,特别是玉米的植株和果实部分皆对动物有很大的吸引力。相关研究表明,作物类型与农地是否受野生动物破坏关系密切,如容易采摘且含热量高的作物尤其易受破坏<sup>[16]</sup>,而玉米是众多研究中遭受野生动物破坏最严重的作物之一<sup>[3,14]</sup>,其含有丰富的蛋白质、脂肪、维生素、微量元素、纤维素及多糖等,而莲花白是含维生素、粗纤维和矿物质最丰富的蔬菜之一,这些作物满足了野生动物对食物能量和元素的需求。此外新鲜作物汁液多易消化<sup>[21]</sup>,也是农作物深受野生动物喜爱的原因之一。而相关研究表明,种植野生动物不喜食的作物类型有助于减少野生动物对农地的破坏<sup>[22]</sup>,此外作物的成熟的季节也是重要的影响因素,应尽量避免作物的成熟季节与森林中自然食物匮乏的季节的重叠,降低成熟作物对野生动物的吸引力。

从农地周围环境来看,距离森林较近的农地更容易遭受野生动物破坏,预测作用意义明显( $B_{森林}=1.960$ ,  $p=0.000$ )。退耕还林工程的实施,不仅增加了野生动物的数量,而且大幅降低了研究区域内耕地与森林的距离,扩大了野生动物的活动范围,使得许多农地位于森林边缘或农林交错带,提高了野生动物肇事的频率和程度。森林既是动物的自然栖息地和食源地,也是动物活动的廊道和踏脚石,因此毗邻森林与野生动物破坏之间关系密切,但是森林外部植被覆盖度较低,不能为野生动物提供藏身之处,因此其在森林外的活动范围有

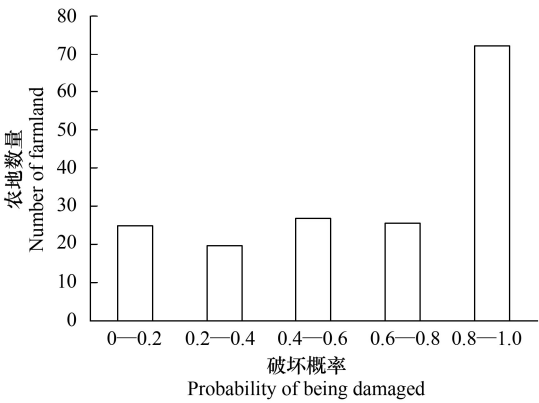


图 2 不同受害概率的农地数量  
Fig.2 Number of farmland damaged with different probability

限,本研究表明距离森林 100 m 以内更容易遭受野生动物破坏。森林距离是目前野生动物肇事空间规律相关研究中最普遍的结论<sup>[1,11,14-15]</sup>,但研究区域和动物类型不同,森林距离大小有所差异,如 Naughton-Treves<sup>[1]</sup>的研究表明,90%的野生动物对农作物的破坏集中在森林 160 m 内,90%的猩猩破坏集中在森林 140 m 内,90%的野猪破坏集中在森林 300 m 内,Nijman<sup>[23]</sup>研究表明远离森林的农地(>3000 m),其作物受叶猴破坏的可能性可降低一半,Karanth<sup>[13]</sup>发现农地离保护区近的居民受野生动物破坏造成的损失显著增加。

野生动物破坏与其活动过程中障碍物有关,研究发现公路和围栏两种障碍物对野生动物破坏的作用明显,但是方式不同( $B_{\text{公路}} = -1.423$ ,  $P_{\text{公路}} = 0.00$ ;  $B_{\text{围栏}} = 1.466$ ,  $P_{\text{围栏}} = 0.006$ ),其中距离 303 公路较近的农地野生动物破坏概率更低,而实施了围栏的农地受破坏概率更高,其根源在于二者作用机制不同。研究区域内的 303 公路贯穿整个保护区,是连接外界的唯一通道,车辆往来频繁,人口密集,人类活动集中,是研究区域内野生生物种群交流和繁衍的障碍<sup>[24]</sup>,有效降低了野生动物的可达性和破坏概率。而设置围栏的农地受破坏概率更高,可能和这些农地更易遭受野生动物破坏,居民选择性的在这些农地中设置围栏但围栏防护效果较差有关。研究发现,本地居民采用的围栏防护措施处于自发状态,缺乏统一的规划管理和充分的资金投入,目前所用围栏多是木制,空隙大,高度低(不足 1 米),耐久性差,野生动物可以轻易攀爬或沿地面挖洞进入农地,防护效果不甚理想,也可能和这些农地野生动物容易取食成功有关。围栏是目前国内外防止野生动物破坏的常用措施之一,但设置围栏的农地野生动物破坏更加严重在其他区域也有发现,如 Sitati<sup>[10]</sup>研究发现有围栏的农地受大象破坏更严重,以前被取食成功的农地会习惯性地受到大象破坏,Harich<sup>[25]</sup>研究发现有防护措施比没有防护措施的作物受害更严重,可能是因为受害前未采取防护措施而只是受害后才采取的措施,或措施无效有关。为了增加围栏的防护效果,须对围栏的牢固性、材质和耐久性等因素进行充分的调查研究,相关研究表明<sup>[11]</sup>,对野猪破坏来讲,波状铁围栏较渔网、金属丝网等围栏更为有效,此外,众多研究表明,电围栏在降低野生动物破坏方面,防护效果以及经济和社会效益明显,已在日本、尼泊尔、美国等多个国家得到证实<sup>[11,26-27]</sup>,此外在围栏上涂抹野生动物反感的物质也可以提高其防护效果,如在围栏的绳索上涂抹混合油、汽油、大象粪便和辣椒粉等物质,利用这些物质对大象皮肤的灼烧感和辣椒粉的气味可以有效的驱赶靠近农地的大象<sup>[28]</sup>。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

卧龙自然保护区内野生动物以野猪、猪獾、豪猪、黑熊、猴子、鹿等为主破坏农作物现象严重,62%的农地在一年内遭受过野生动物破坏,农地受破坏概率平均值为 0.62,42.4%的农地受害概率高在 0.8—1 之间,破坏最严重的作物也是种植最广泛的作物即玉米、莲花白、土豆。尤其是前二者是本文中预测野生动物破坏情况贡献最大的两个因子,在作物成熟季节对野生动物有较大的吸引力。此外农地与森林、公路距离和防护措施等肇事农地特征也与野生动物的破坏情况密切相关,距森林近是农地破坏严重的原因之一,公路对阻碍减少野生动物破坏有一定效果,而当地使用的木制围栏防护措施并不能完全阻挡野生动物进入农地。

### 5.2 建议

为了有效防护和减缓野生动物的破坏,根据对显著性肇事农地特征及其背后的生态作用的综合分析,提出建议如下:

(1) 野生动物肇事农地的评价和管理。根据肇事农地的特征,确定不同农地受野生动物破坏的风险等级,针对不同风险等级的农地采取不同的防护措施和管理模式,如可选择性地将森林附近的农地退耕,保留或开发位于公路附近且人为活动多的农地。

(2) 调整农作物的种植结构,在易受野生动物破坏的农地种植野生动物不喜食的作物,例如适应该地气候的中药材,减少农作物对于野生动物的吸引力。目前来看,野生动物喜食的玉米并不是当地居民主要的经济收入和粮食来源,主要作为猪饲料,因此,改种其他农作物对当地居民的影响较小;其次野生动物肇事农地

分布相对偏远,耕种难度高,人力投入大,建议改种的作物既能提高农业收入,又能避免大量的人力投入。此外,改种的农作物应可以有效阻隔野生动物进入农地,起到隔离带或缓冲带的作用,减少野生动物进入农地的机会。

(3)对野生动物肇事的防护措施进行统一规划和管理,提高防护效果。根据肇事农地特征与野生动物破坏情况的分析,优先确定高风险的肇事农地的分布特征,对围栏的设置进行的统一规划和管理。加大防护措施的资金投入,采用材质坚固,耐久性好的围栏材料,增加围栏高度,并适当借鉴其他地区的电围栏和围栏涂抹物质的经验。将围栏的建设、维护和管理纳入保护区工作范围,加强特殊季节,尤其是农作物成熟季节的管理。

(4)制定合理的野生动物危害补偿条例,及时开展野生动物危害生态补偿。制定并完善非重点保护野生动物对农地危害的补偿条例,针对不同作物确定不同的补偿标准;及时勘察、评估、记录农地损失,落实野生动物危害补偿。

(5)从长久来看,随着研究区域生态环境的恢复和野生动物数量的增加,野生动物和人类的冲突将会长期存在,因此建议将源于肇事农地的冲突进行转移,即减少当地居民对于农业的关注和依赖程度,充分利用保护区的资源禀赋,加强可替代产业的发展,如发展生态旅游和增加非农就业机会等。

#### 参考文献(References):

- [1] Naughton-Treves L. Predicting patterns of crop damage by wildlife around Kibale National Park, Uganda. *Conservation biology*, 1998, 12(1): 156-168.
- [2] 韦惠兰, 贾亚娟, 李阳. 自然保护区林缘社区野生动物肇事损失评估及补偿问题研究. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(2): 181-186.
- [3] 陈德照. 云南野生动物肇事危害情况及对策探讨. *西部林业科学*, 2007, 36(3): 92-96.
- [4] MacLennan S D, Groom R J, Macdonald D W, Frank L G. Evaluation of a compensation scheme to bring about pastoralist tolerance of lions. *Biological Conservation*, 2009, 142(11): 2419-2427.
- [5] Linkie M, Dinata Y, Nofrianto A, Leader-Williams N. Patterns and perceptions of wildlife crop raiding in and around Kerinci Seblat National park, Sumatra. *Animal Conservation*, 2007, 10(1): 127-135.
- [6] Woodroffe R, Thirgood S, Rabinowitz A. *People and Wildlife, Conflict or Co-existence?*. New York: Cambridge University Press, 2005: 1-505.
- [7] Pérez E, Pacheco L F. Damage by large mammals to subsistence crops within a protected area in a montane forest of Bolivia. *Crop Protection*, 2006, 25(9): 933-939.
- [8] Balmford A, Moore J L, Brooks T, Burgess N, Hansen L A, Williams P, Rahbek C. Conservation conflicts across Africa. *Science*, 2001, 291(5513): 2616-2619.
- [9] Osborne P E, Alonso J C, Bryant R G. Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: A case study with great bustards. *Journal of Applied Ecology*, 2001, 38(2): 458-471.
- [10] Sitati N W, Walpole M J, Leader-Williams N. Factors affecting susceptibility of farms to crop raiding by African elephants: Using a predictive model to mitigate conflict. *Journal of Applied Ecology*, 2005, 42(6): 1175-1182.
- [11] Saito M, Momose H, Mihira T. Both environmental factors and countermeasures affect wild boar damage to rice paddies in Boso Peninsula, Japan. *Crop Protection*, 2011, 30(8): 1048-1054.
- [12] Malo J E, Suárez F, Díez A. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(4): 701-710.
- [13] Karanth K K, Gopalaswamy A M, Prasad P K, Dasgupta S. Patterns of human-wildlife conflicts and compensation: Insights from Western Ghats protected areas. *Biological Conservation*, 2013, 166: 175-185.
- [14] Cai J, Jiang Z G, Zeng Y, Li C W, Bravery B D. Factors affecting crop damage by wild boar and methods of mitigation in a giant panda reserve. *European Journal of Wildlife Research*, 2008, 54(4): 723-728.
- [15] Honda T, Sugita M. Environmental factors affecting damage by wild boars (*Sus scrofa*) to rice fields in Yamanashi Prefecture, central Japan. *Mammal Study*, 2007, 32(4): 173-176.
- [16] Naughton-Treves L, Treves A, Chapman C, Wrangham R. Temporal patterns of crop-raiding by primates: linking food availability in croplands and adjacent forest. *Ecological Applications*, 1998, 35(4): 596-606.
- [17] Li H. State compensation: Relief for wildlife infringement. *Asian Social Science*, 2011, 7(10): 295-297.

- [18] 何馨成, 吴兆录. 我国野生动物肇事现状及其管理研究进展. 四川动物, 2010, 29(1): 141-143.
- [19] 沈洁滢, 崔国发. 国内外野生动物肇事现状及防控措施. 世界林业研究, 2015, 28(1): 43-49.
- [20] Burnham K P, Anderson D R. Model Selection and Multimodel Inference: A practical Information-Theoretic Approach. 2nd ed. New York: Springer, 2002.
- [21] Schley L, Roper T J. Diet of wild boar *Sus scrofa* in Western Europe, with particular reference to consumption of agricultural crops. Mammal Review, 2003, 33(1): 43-56.
- [22] Merkens M, Bradbeer D R, Bishop C A. Landscape and field characteristics affecting winter waterfowl grazing damage to agricultural perennial forage crops on the lower Fraser River delta, BC, Canada. Crop Protection, 2012, 37: 51-58.
- [23] Nijman V, Nekaris K A I. Testing a model for predicting primate crop-raiding using crop- and farm-specific risk values. Applied Animal Behaviour Science, 2010, 127(3/4): 125-129.
- [24] 王云, 李海峰, 崔鹏, 吴浩. 卧龙自然保护区公路动物通道设置研究. 公路, 2007, (1): 99-104.
- [25] Harich F K, Treyde A C, Sauerborn J, Owusu E H. People and wildlife: Conflicts arising around the Bia Conservation Area in Ghana. Journal for Nature Conservation, 2013, 21(5): 342-349.
- [26] Sapkota S, Aryal A, Baral S R, Hayward M W, Raubenheimer D. Economic analysis of electric fencing for mitigating human-wildlife conflict in Nepal. Journal of Resources and Ecology, 2014, 5(3): 237-243.
- [27] VerCauteren K C, Lavelle M J, Hygnstrom S E. A simulation model for determining cost-effectiveness of fences for reducing deer damage. Wildlife Society Bulletin, 2006, 34(1): 16-22.
- [28] [http://wwf.panda.org/what\\_we\\_do/how\\_we\\_work/conservation/species\\_programme/species\\_news/species\\_news\\_archive.cfm?9223/Elephants-get-a-chilli-reception](http://wwf.panda.org/what_we_do/how_we_work/conservation/species_programme/species_news/species_news_archive.cfm?9223/Elephants-get-a-chilli-reception).