

人兽冲突视角下野猪致害防控手段有效性 及经济生态分析

鞠一格¹ 张正一² 杨永昕³ 孟和达来³
贺伟³ 张书理^{2*}

(1 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

(2 赤峰市野生动植物保护协会, 赤峰 024000) (3 赤峰市森林草原保护发展中心, 赤峰 024000)

摘要: 人与野生动物冲突是野生动物管理和环境保护的重要议题。在野猪 (*Sus scrofa*) 退出“三有”名录的背景下, 对野猪致害防控手段进行有效性评估, 并在经济与生态层面进行成本效益分析, 显得尤为重要。于2022年及2023年的8月21日至10月9日在罕山林场与黑里河林场28块样地设置82个相机位点开展实验, 采用有效性评价、Kruskal-Wallis检验、成本效益分析和可推广性分析等方法, 得出使用防控方案比空白对照方案效果更优, 两者的差异具有统计学意义, 其中单独使用防控方案的效果优于叠加使用, 红外感应警报器是局部最优方案, 具有较好的经济和生态效益, 且可推广。以期为遭受野猪危害的地区提供经济生态可行的解决方案, 更好地缓解人兽冲突。

关键词: 人兽冲突; 野生动物肇事; 野猪; 成效评估; 经济生态分析

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号: 1000–1050 (2025) 04–0527–10

Effectiveness and economic-ecological analysis of wild boar damage prevention and control measures from the perspective of human-wildlife conflict

JU Yige¹, ZHANG Zhengyi², YANG Yongxin³, Menghedalai³, HE Wei³, ZHANG Shuli^{2*}

(1 School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

(2 Chifeng Wildlife and Plant Protection Association, Chifeng 024000, China)

(3 Chifeng Forest and Grassland Protection and Development Center, Chifeng 024000, China)

Abstract: Human-wildlife conflict is an important issue for wildlife management and environmental protection. With the removal of wild boar (*Sus scrofa*) from the list of ‘three species’, it is vital to evaluate the effectiveness of prevention and control measures against wild boar and to conduct cost-benefit analysis at both economic and ecological levels. From August 21st to October 9th in 2022 and 2023, 82 cameras were set up in 28 sample plots in the Hanshan and Heilihe Forest Farms. Effectiveness evaluation, Kruskal-Wallis test, cost-benefit analysis, and replicability analysis were used to conclude that the use of the prevention and control measure was significantly more effective than the blank control measure. The use of the prevention and control measure alone is better than the stacked use, and the infrared sensor alarm is the locally optimal measure with better economic and ecological benefits and replicability. We hope to provide economically and ecologically feasible solutions for areas affected by wild boar, and to better manage human-animal conflicts.

Key words: Human-animal conflict; Wildlife accident; Wild boar; Effectiveness evaluation; Economic-ecological analysis

人与野生动物冲突是全球野生动物保护面临的共同挑战。随着野生动物保护力度不断加大, 我国野生动物栖息环境持续改善, 种群数量实现恢复增长。野生动物与人类生产生活区域重合,

产生了较多冲突 (Samojlik *et al.*, 2018), 在局部区域冲突频发且类型多样。云南亚洲象 (*Elephas maximus*)、青海棕熊青藏亚种 (*Ursus arctos pruinosus*)、吉林虎东北亚种 (*Panthera tigris altaica*) 等危

作者简介: 鞠一格 (1997–), 女, 博士研究生, 主要从事森林与生态经济方面的研究. E-mail: juyige@bjfu.edu.cn

收稿日期: 2023–12–26; 接受日期: 2024–03–11

* 通讯作者, Corresponding author, E-mail: zhangshuli67@126.com

害人类生命安全、毁坏庄稼、伤害家畜、造成经济损失(宴亚权等, 2019), 使当地群众有田难耕、有畜难养、有房难住, 影响正常生产生活秩序。

野猪 (*Sus scrofa*) 是全球性肇事物种, 在美洲 (Snow *et al.*, 2016)、欧洲 (Schley *et al.*, 2008) 和亚洲 (王文瑞等, 2018) 等地区均有分布。近年来, 由于生态环境改善、土地利用变化及野猪自身生存能力强等原因, 中国的野猪肇事问题快速凸显 (苗震等, 2022)。肇事类型可分为破坏农作物 (占比 67.81%)、侵害家畜 (8.53%)、致人受伤 (19.32%) 和死亡 (4.34%) 等 (王亚辉等, 2023), 其中最常见的是破坏农作物。生活在林缘、林缘附近、林间或县界的居民面临野猪致害的风险较高 (李汀一, 2010; 江晓萍等, 2018), 食物来源是影响人与野猪冲突的重要因素 (李兰兰等, 2010), 每年 8—10 月的农田成熟期是冲突爆发的高峰期, 主要破坏玉米 (*Zea mays*)、水稻 (*Oryza sativa*)、红薯 (*Ipomoea batatas*) 和花生 (*Arachis hypogaea*) 等粮食作物 (Andrzejewski and Jezierski, 1978)。野猪食性杂, 环境适应性强, 缺少天敌, 致使人类生活地和野生动物栖息地不再泾渭分明, 人与野猪冲突日益加剧, 数据显示, 中国 34 个省级行政区中 28 个省 (市、自治区) 有野猪分布, 其中 26 个省 (市、自治区) 的 857 个县 (市、区) 存在野猪致害, 对当地群众的生产生活造成了不利影响。

生态应保护, 经济要发展, 人与自然和谐共生, 如何平衡? 2023 年 6 月 30 日, 国家林业和草原局公布新调整的《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》, 在部分地区致害严重的野猪已被调出名录。这无疑释放了良好的信号, 但也使得人兽矛盾愈发显性化, 更应该探索新时期下人与野猪和谐相处的新思路。故本研究于 2023 年 4—7 月进行了前期实验, 着重解决驱避剂配比问题并探究可行性防控方案, 且对野猪防控方案进行有效性评估和经济生态分析, 以内蒙古自治区赤峰市罕山林场与黑里河林场为研究区域, 于 2023 年 8 月 21 日至 10 月 9 日进行实地实验, 并与 2022 年没有使用防控方案的同同样地 (空白对照方案) 对比, 采用有效性评估、Kruskal-Wallis 检验、成本-效益分析与可推广性分析方法探讨方案的有效性、方案差异性、经济与生态效果和可推

广性, 以期对相关群众与政府部门提供可行方案, 合理解决人与野生动物冲突。

1 研究方法

1.1 研究地区

罕山林场 (东经 $118^{\circ}18'$ ~ $118^{\circ}55'$, 北纬 $43^{\circ}59'$ ~ $44^{\circ}27'$) 位于内蒙古自治区赤峰市北部, 巴林右旗北部, 地处大兴安岭山脉阿尔山支脉, 地貌类型主要为山地, 地势从东北向西南逐渐倾斜, 地形属于中低山区。林区属暖温带向寒带的过渡地区, 冬季寒冷干燥, 夏季温暖多雨, 是草原向森林、东亚阔叶林向大兴安岭温带针叶林双重交汇的过渡地带, 同时又是东北区、华北区、蒙新区野生动物区系的交汇点。这里独特的过渡属性, 使其极具典型性和代表性, 成为连接动植物区系的纽带和桥梁 (韩铭等, 2015) (图 1)。

黑里河林场 (东经 $118^{\circ}16'$ ~ $118^{\circ}33'$, 北纬 $41^{\circ}18'$ ~ $41^{\circ}35'$) 位于内蒙古自治区赤峰市南部, 宁城县西部, 地处燕山山脉北麓, 七老图山脉中段, 是华北平原向蒙古高原的过渡地带, 地貌隶属燕山山脉, 七老图山支脉中低山地貌组合, 地势西高东低, 山脉地形复杂。林区属暖温带大陆性季风气候, 冬季漫长寒冷, 夏季短促炎热, 雨热同季, 地处东亚阔叶林区, 是东北针阔混交林向华北落叶阔叶林的过渡地带 (韩铭等, 2015) (图 1)。

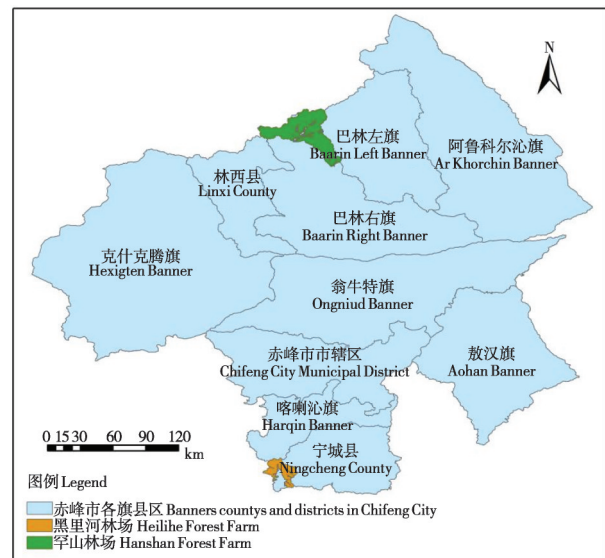


图 1 研究地区位置示意图

Fig. 1 Schematic location of the study areas

丰富的森林资源为众多的野生动物提供了理想的栖息繁育场所,这里良好的水源、适宜的气候及丰富的植被群系,为野猪提供了绝佳的生存场地,但是也为野猪的“肆意”活动提供了空间。

1.2 方法

1.2.1 数据来源

本研究在相关研究的基础上增加具体方法,包括1:3、1:6和1:24(玉米/500g:香味剂/g)的驱避剂,红外感应警报器、超声波驱避器及红外感应警报器和超声波驱避器叠加使用,其中红外感应警报器可以进行不同的声音设置以应对野猪的用进废退,并且防控装置均为太阳能驱动,无额外电池或充电成本,清洁节能。

经过两年的实地观察、走访和实验,罕山林场与黑里河林场开展实验的最佳时间是玉米灌浆后至成熟前。同时,鉴于两地地理位置与气候条件不同,防止各个样地间的相互干扰,选取的不同样地间距大于200 m(崔爽和刘丙万,2020)。两组实验人员分别于2022年与2023年8月24日至10月7日(45 d)、2023年9月9日至10月9日(31 d)在黑里河林场采用控制变量法开展实验。实验人员于2022年与2023年8月21日至9月20日(31 d)在罕山林场采用控制变量法开展实验。其中,2022年的黑里河林场和罕山林场各14块样地(共28块样地)没有使用防控方案,为空白对照组;2023年的28块样地使用防控方案,为实验组。

在黑里河林场的兴家营子村、二道梁子村与罕山林场的罕山沟村、正沟等地布设红外相机,以日为单位连续监测,共设置82个相机位点(刘雪华等,2018;王道等,2022),相机固定在距离地面80 cm的树上或人工相机支架上,相机参数设置为连拍照片+视频模式,单次触发连续拍摄照片3张后录像60 s,自动记录触发时间和日期,感应灵敏度设置为低。通过每日上午08:00提取红外相机监测数据观测是否有野猪出没,并设置2个太阳能实时监控,辅助判断野猪出没时间,方便第二天及时进行野猪致害面积调查。

通过红外相机观测方法和实地调研方法,获取野猪侵害农作物的信息。记录实验期内野猪危害时间、发生地位置、危害类型、危害面积和农作物(玉米)产量。

1.2.2 有效性评估

本研究以野猪危害防控有效期长度(day)、进入样地的野猪数量(num)及农作物损失率(%)衡量防控效果(赵澄曦和刘丙万,2023)。野猪危害防控有效期长度定义为从实验开始到野猪首次进入样地的天数。农作物损失率定义为从实验开始到农田收获期间,受到野猪危害作物面积之和占整体样地面积的百分比,同时,各类型数据采用统一的计量单位以增加可比性,通过计算各方案的平均值±标准差(mean±SD),以直观的数据反映方案之间的差异,所有数据均通过Excel和Stata进行处理。

1.2.3 Kruskal-Wallis 检验

由于本研究为小样本数据、观测值相互独立且存在多个分组,故在Stata16软件中采用Kruskal-Wallis检验分析空白对照方案、驱避剂方案及防控装置方案,3种方案在野猪危害防控有效期长度、进入样地的野猪数量及农作物损失率3个方面是否存在差异。通过计算秩平均值差值(c^2)以进行Kruskal-Wallis检验,选取 $P < 0.01$ 作为显著性判定标准,若 $P < 0.01$,则显著拒绝原假设(原假设:3种不同防控方案的有效性相同)。为了进一步探索两两方案的有效性差异,需进行多重比较(梁秀琴等,2023)。

1.2.4 成本-效益分析

本研究所涉及的方案旨在创造社会效益而非商业利润、具备效益正外部性特征且方案实验结果可供当地政府推广,成本-效益评价是从国家和社会角度出发考察和分析方案向社会提供的有益效果(UNFCCC,2011),该方法本质是将方案货币化的效益与成本进行比较,效益成本比(BCR)公式如下:

$$BCR = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

其中, B_t 、 C_t 分别表示各项效益和成本, t 表示折算期间, i 表示社会折现率。

对多个独立方案进行相对比优时,需优化效益成本比,采用增量效益成本比($\frac{\Delta B}{\Delta C}$),计算公式如下:

$$\frac{\Delta B}{\Delta C} = \left(\sum_{t=0}^n B_{kt}(1+i)^{-t} - B_{jt}(1+i)^{-t} \right) / \left(\sum_{t=0}^n C_{kt}(1+i)^{-t} - \sum_{t=0}^n C_{jt}(1+i)^{-t} \right) \quad (2)$$

其中, B_{kt} 、 B_{jt} 和 C_{kt} 、 C_{jt} 分别表示第 k 方案与第 j 方案在第 t 期的效益和成本。若增量效益成本比为负

数,则证明后一个方案成本更高,或是效益更低;若增量效益成本比为正数,则证明后一个方案成本更低,或是效益更高。

若要进行成本效益分析,关键是识别不同防控方案的投入及产出情况,如果能准确地计算各项投入及产出的现金流量,就能获取有效的成本效益分析结果。

成本明细具体包含香味剂与玉米饲料的单价,具体方案的投入具有一定的稳定性,成本均为商品单价,并未涉及国内运杂费,单价无季节性差异,且经由以往实验可知本研究涉及的具体方案均有一定距离的防控范围,因而在一块样地只放置一种驱避剂或防控装置。

方案的效益可分为农作物(玉米)产量带来的直接经济效益、野生动物致害补偿和农地带来的间接生态效益。由于各具体方案的产出受天气和市场价格的影响,具有一定的波动性。因此,本研究在对各项参数进行设定时采取保守策略,相关数据以周边群众的经验判断及实际市场状况为准。其中,经济效益为玉米产出带来的农民收入,其中玉米单价以1.2元/500 g计算,此处为单位重量的平均价格;野生动物致害补偿依据2023年1月5日颁布的《内蒙古自治区陆生野生动物致害补偿管理办法》,其中规定造成农作物、经济林木损失的,损失部分按上年度当地该类农作物、经济林木的市场平均价格计算,补偿全部损失的60%;生态效益指农田生态系统的生态服务功能及其核算,包含气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性保护、食物生产、原材料和娱乐文化方面,鉴于数据可获得性,本文参考谢高地等(2003)的研究,基于全国平均状态的生态系统生态服务价值的单价,采用当量因子法计算各项方案下货币化的生态效益(表1)。

1.2.5 可推广性分析

一种野猪防控方案的推广不应只适用于一个地方或一组数据,因此要验证方案的可操作性与可复刻性,需进行方案可推广性分析(曹源等,2023)。由于中国气候分布差异较大,原有农田基本条件不同,因此,在方案推广时,需要充分考虑当地气候条件、土壤条件与生产条件,进一步考虑农作物产出规模。本研究鉴于黑里河林场与罕山林场均处于较干旱地区,产量较低,故将样

表1 中国农田生态系统单位面积生态服务价值表/(元/hm²)

Table 1 Chinese ecosystem services value unit area of farmland/(yuan/hm²)

生态服务 Ecosystem services	农田 Farmland
气体调节 Gas regulation	442.4
气候调节 Climate regulation	787.5
水源涵养 Water conservation	530.9
土壤形成与保护 Soil formation and conservation	1 291.9
废物处理 Treatment of waste	1 451.2
生物多样性保护 Biodiversity conservation	628.2
食物生产 Food production	884.9
原材料 Raw material	88.5
娱乐文化 Entertainment and culture	8.8

本中玉米产量数据均提升30%后重新计算成本与效益,并进行上述的成本效益分析,若得到和上述成本效益分析相同的结果,则可以验证本研究结果能够被推广。

2 结果

2.1 防控方案的有效性

表2中各数据反映了不同防控方案的防控有效期、进入样地的野猪数量和农作物损失率。可以直观地看出,不同研究样地使用了不同的防控方案,而不同方案在野猪危害防控有效期、进入样地的野猪数量及农作物损失率指标上的表现均存在差异(表2)。在空白对照方案、使用驱避剂和放置防控装置的情况下防控有效期分别为(0±0) d、(22.00±15.86) d和(20.39±10.42) d;野猪进入数量分别为(2.03±1.29)只、(0.60±0.52)只和(1.00±0.59)只;农作物损失率分别为(16.58±11.91)%、(0.27±0.50)%和(3.41±7.43)% (表3)。空白对照方案相比其他两类方案,防控有效期更短、野猪进入数量更多、农作物损失率更大。

2.2 不同防控方案的差异性分析

空白对照方案、驱避剂和防控装置在防控有效期、野猪进入数量和农作物损失率3个方面的秩平均差值分别为47.41、18.26和33.17,统计检验后其 $P < 0.01$,即显著拒绝“3种防控方案的有效性相同”的原假设,3个方案在防控有效性上存在显著区别(表3)。

多重比较结果显示,空白对照方案与驱避剂及防控装置之间在防控有效性上存在显著差异($P < 0.000 1$),而驱避剂与防控装置之间的差异不显著($P = 0.185 5$)(表4)。

表 2 黑里河林场与罕山林场驱避剂、红外感应警报器与超声波驱避器实验结果

实验方案 Experimental methods	防控有效期 Validity period of the prevention and control/d		野猪进入数量 Number of wild boars entries		农作物损失率 Rate of crop loss/%	
	黑里河 14 块样地 14 plots in Heilihe	罕山 14 块样地 14 plots in Hanshan	黑里河 14 块样地 14 plots in Heilihe	罕山 14 块样地 14 plots in Hanshan	黑里河 14 块样地 14 plots in Heilihe	罕山 14 块样地 14 plots in Hanshan
1:3 驱避剂 1:3 repellent	14	5	1	1	0.90	0.13
1:3 驱避剂 1:3 repellent	14	4	1	1	1.42	0.33
1:6 驱避剂 1:6 repellent	26	5	1	1	0	0.24
1:24 驱避剂 1:24 repellent	45	31	0	0	0	0
1:24 驱避剂 1:24 repellent	45	31	0	0	0	0
红外感应警报器 Infrared sensor alarm	31	16	0	1	0	0.04
红外感应警报器 Infrared sensor alarm	31	14	1	2	1.45	0.05
红外感应警报器 Infrared sensor alarm	31	8	0	1	0	0.08
红外感应警报器 + 超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent	31	7	0	1	0	0.45
红外感应警报器 + 超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent	31	5	0	2	0	0.30
红外感应警报器 + 超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent	31	5	0	2	0	0.39
超声波驱避器 Ultrasonic repellent	31	18	0	1	0	0.05
超声波驱避器 Ultrasonic repellent	12	19	1	1	0	0.05
超声波驱避器 Ultrasonic repellent	30	16	0	1	0	0.45

表 3 不同防控方案的 Kruskal-Wallis 检验结果

方案 Measures	空白对照方案 Blank-check measure	驱避剂 Repellent	防控装置 Containment device	χ^2	P
防控有效期 Validity period of the prevention and control/d	0 ± 0	22.00 ± 15.86	20.39 ± 10.42	47.41***	0.000 1
野猪进入数量 Number of wild boars entries	2.03 ± 1.29	0.60 ± 0.52	1.00 ± 0.59	18.26***	0.000 1
农作物损失率 Rate of crop loss/%	16.58 ± 11.91	0.27 ± 0.50	3.41 ± 7.43	33.17***	0.000 1

χ^2 为秩平均值差值，***表示在 1% 水平上显著
 χ^2 is rank-mean differences, *** indicate significance at the 1% levels respectively

表 4 不同方案的多重比较

方案 Measures	对比方案 Comparative measures	防控有效期 Validity period of the prevention and control	P 值 P value	野猪进入数量 Number of wild boars entries	P 值 P value	农作物损失率 Rate of crop loss	P 值 P value
空白对照方案 Blank-check measure	驱避剂 Repellent	27.80***	< 0.000 1	21.10***	0.000 2	27.80***	< 0.000 1
空白对照方案 Blank-check measure	防控装置 Containment device	28.11***	< 0.000 1	13.17***	0.003 8	28.11***	< 0.000 1
驱避剂 Repellent	防控装置 Containment device	0.31	0.480 7	7.93	0.108 7	0.31	0.185 5

表中值为秩平均值差值，***表示在 1% 水平上显著
The values in the table are rank-mean differences, *** indicate significance at the 1% levels respectively

2.3 成本-效益评价

表5介绍了各项方案的成本明细,具体包含香味剂与玉米饲料的单价,以及各项方案所需成本。其中,香味剂单价为10元/500 g,玉米饲料单价为1.8元/500 g,红外感应警报器和超声波驱避器分别为55元/个和20元/个。

方案效益的具体测算结果如表6所示,其中红外感应警报器的总效益最高,为22 857.26元;红外感应警报器与超声波驱避器叠加使用的总效益最低,为10 119.78元。

表7呈现了不同方案下增量效益成本比的分析结果。表格的行由方案成本从小到大排列,分别测算超声波驱避器、红外感应警报器等相比空白对照方案的增量效益成本比,以此类推。在所有情景中,其中任何方案相比放置红外感应警报器的增量效益成本比均为负数,且红外感应警报器

表5 各项防控方案的成本明细

Table 5 Cost breakdown of different prevention and control measures

投入 Input	单价/(元/500g) Unit price/ (yuan/500g)	单价/元 Unit price/yuan
香味剂 Flavouring agent	10	—
玉米饲料 Corn feed	1.8	—
1:3驱避剂 1:3 repellent	—	55.8
1:6驱避剂 1:6 repellent	—	57.6
1:24驱避剂 1:24 repellent	—	68.4
红外感应警报器 Infrared sensor alarm	—	55
超声波驱避器 Ultrasonic repellent	—	20
红外感应警报器+超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent	—	75

相比其他方案的增量效益成本比均为正数,说明相比其他方案,红外感应警报器单独使用更具成本与效益优势。

表6 各项防控方案的效益明细(单位:元)

Table 6 Benefits breakdown of different prevention and control measures (Unit: yuan)

效益 Benefit	玉米经济效益 Economic benefits of maize	野生动物致害补偿 Compensation for damage caused by wildlife	生态效益 Ecological benefit	总效益 Total benefit
空白对照方案 Blank-check measure	8 758.54	2 132.04	3 280.39	14 170.97
1:3驱避剂 1:3 repellent	12 285.30	17.28	3 456.84	15 759.42
1:6驱避剂 1:6 repellent	8 790.00	0.00	2 649.66	11 439.66
1:24驱避剂 1:24 repellent	11 605.50	0.00	3 566.85	15 172.35
红外感应警报器 Infrared sensor alarm	17 572.80	104.33	5 180.13	22 857.26
红外感应警报器+超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent	7 739.60	135.90	2 244.28	10 119.78
超声波驱避器 Ultrasonic repellent	12 768.60	18.19	3 863.41	16 650.20

表7 各项防控方案的增量效益成本比

Table 7 Incremental benefit-cost ratio of different prevention and control measures

增量效益成本比 Incremental benefit-cost ratio	空白对照 方案 Blank-check measure	超声波驱避器 Ultrasonic repellent	红外感应 警报器 Infrared sensor alarm	1:3驱避剂 1:3 repellent	1:6驱避剂 1:6 repellent	1:24驱避剂 1:24 repellent	红外感应警报器+ 超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent
空白对照方案 Blank-check measure	—	—	—	—	—	—	—
超声波驱避器 Ultrasonic repellent	123.96	—	—	—	—	—	—
红外感应警报器 Infrared sensor alarm	157.93	177.34	—	—	—	—	—
1:3驱避剂 1:3 repellent	28.47	-24.88	-8 872.30	—	—	—	—
1:6驱避剂 1:6 repellent	-47.42	-138.58	-4 391.38	-2 399.87	—	—	—
1:24驱避剂 1:24 repellent	14.64	-30.53	-573.50	-46.59	345.62	—	—
红外感应警报器+超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent	33.06	-118.73	-636.87	-293.73	-75.86	-765.54	—

值得注意的是，红外感应警报器与超声波驱避器叠加使用相比红外感应警报器单独使用的增量效益成本比为-636.87，相比超声波驱避器单独使用的增量效益成本比为-118.73，均为负数，进一步说明两者的叠加使用不具备成本与效益优势，同时结合方案的有效性分析，单独使用方案的效果在野猪危害防控有效期、进入样地的野猪数量及农作物损失率上优于两者叠加使用。

2.4 可推广性分析

若将玉米产量数据均提升30%后计算各项方

案的增量效益成本比，结果显示，红外感应警报器相比其他方案的增量效益成本比均为正数，如相比空白对照方案及超声波驱避器，其增量效益成本比分别为194.95和219.26；其他任何方案相比放置红外感应警报器的增量效益成本比均为负数，如1:3驱避剂相比放置红外感应警报器的增量效益成本比为-10 887.71。这进一步验证了放置红外感应警报器更具成本与效益优势，具备可推广性(表8)。

表8 可推广性分析中各项方案的增量效益成本比

Table 8 Incremental benefit-cost ratios of measures in the replicability analysis

增量效益成本比 Incremental benefit-cost ratio	空白对照 方案 Blank-check measure	超声波驱避器 Ultrasonic repellent	红外感应 警报器 Infrared sensor alarm	1:3 驱避剂 1:3 repellent	1:6 驱避剂 1:6 repellent	1:24 驱避剂 1:24 repellent	红外感应警报器 + 超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent
空白对照方案 Blank-check measure	—	—	—	—	—	—	—
超声波驱避器 Ultrasonic repellent	152.40	—	—	—	—	—	—
红外感应警报器 Infrared sensor alarm	194.95	219.26	—	—	—	—	—
1:3 驱避剂 1:3 repellent	36.06	-28.94	-10 887.71	—	—	—	—
1:6 驱避剂 1:6 repellent	-58.36	-170.47	-5 416.81	-2 985.29	—	—	—
1:24 驱避剂 1:24 repellent	17.78	-37.86	-709.43	-63.19	423.83	—	—
红外感应警报器 + 超声波驱避器 Infrared sensor alarm + Ultrasonic repellent	-66.08	-145.52	-783.90	-362.90	-91.62	-935.09	—

3 讨论

本研究开展于野猪被调出《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》、猎捕管理发生变化及开展猎捕活动程序更加简便的时代背景下，但实施野猪种群调控的主体并非当地群众，其不能随意捕杀野猪。本研究坚持保护优先的原则，追求野猪防控与保护之间的平衡点，科学精准施策，防止陷入“滥捕滥杀—数量锐减—野生动物保护—泛滥成灾—滥捕滥杀”的窠臼。因此，本研究主要探究多种先进的非致死性防控方案的有效性及其经济生态效果。

具体来说，对于是否选取防控方案的问题上，本研究得到的结论是无论采取何种防控方案，都比空白方案更好，国内外专家学者对人与野猪冲突管理与实践也更好地证明了这一点，相关学者更多是研究非致死性防控方案或致死性防控方案的效果(苗震等，2022)。

对于应采取单一防控方案还是叠加方案，本研究认为单独使用非致死性防控方案的效果要优于叠加使用。这可能与一些研究结果存在差异，比如有学者认为单一防控措施效果有限，而应基于不同社会背景制定野猪管理综合方案，或是综合使用虎声音和粪便，或是设置电子围栏、加强巡逻和改进沟渠设计等复合措施(Massei *et al.*, 2011; 崔爽和刘丙万, 2020; Zhang *et al.*, 2024)。但也有学者提出中国当地农民使用几种驱避剂以保护农田免受野猪致害的效果并不好(Cai *et al.*, 2008)。因此，本研究结果也有一定的合理性。但为何红外感应警报器与超声波驱避器的叠加使用效果低于红外感应警报器单独使用，有以下猜想：首先，红外感应警报器与超声波驱避器叠加可能导致设备互相干扰，致使野猪的感官系统遭受双重刺激进而产生应激反应，这反而可能增加对环境的破坏性，此问题需要动物行为学的进一步证明；其次，本研究侧重于经济及生态效果分析，

叠加使用的成本比单一使用更大,这也可能影响本研究结果。

对于防控方案的选择,本研究结果认为红外感应警报器为局部最优方案。作为一种新型智能驱赶装置,红外感应警报器负责感应过往野猪并给警报器发送信号,警报器通过发出刺耳声以驱赶野猪。声音强会增加对野猪的刺激(柳丽华等, 2009)。使用声音来驱赶野生动物有着悠久的历史,我国一些地方的村民使用声音驱赶野生动物,鼓声、枪声、天敌动物叫声和同类物种惨叫声等均比较有效(Damiba and Ables, 1993; 张铭天等, 2015; 宋琪和刘丙万, 2018; 崔爽和刘丙万, 2020);在非洲多采用一些花费低的技术和材料制造一些报警装置,用于给周边的村民报警(O'Connell-Rodwell *et al.*, 2000)。本研究增加了两类新型智能驱赶装置,有效弥补了涉及干扰措施的文献数量较少(仅占非致死性防控对策文献总数的 19.1%)的缺陷(苗震等, 2022)。

本研究仍存在一些可以改进的地方。本研究从缓解人兽冲突和增强当地群众民生福祉的角度出发,一方面,考虑到《中华人民共和国野生动物保护法》禁止使用毒药、电击、爆炸物、电子诱捕装置等危害性极大的工具,当地群众不能肆意捕杀野猪;另一方面,鉴于当地群众的财产承受能力,本研究均采用驱赶属性强和可支付性强的实验方法。但有研究表明致死性防控对策能明显减轻野猪对农作物的损害(Geisser and Reyer, 2004),后续研究也进一步说明,非致死性防控方法是缓解人兽冲突的辅助手段,直接减少种群密度的致死性防控方法应是首选手段(Bobek *et al.*, 2017)。有关致死性防控对策的研究表明,毒杀可以快速、大规模地降低野猪种群密度(Snow *et al.*, 2019)。然而,考虑实际国情,毒杀手段面临非法、公众舆论、高昂的研发及推广药物成本、环境损害风险和非目标动物损害的不确定性等问题(Massei, 2011)。而种群调控可以人为、计划可控,可行性及安全性相对较高(Quurós-Fernández *et al.*, 2017; Da Rosa *et al.*, 2018),是野猪防控的常用技术(Ballari *et al.*, 2015)。因此,未来研究会以野猪种群调控为突破点,采取实地实验方法,探索不同配比引诱剂的吸引效果,通过引诱剂与捕猪笼的组合使用,对野猪数量进行调控,并辅助以现

有的新型智能驱赶装置。

综上所述,本研究通过 2022 年与 2023 年赤峰市黑里河林场与罕山林场的实地调研数据,采用有效性评价、Kruskal-Wallis 检验、成本效益分析和可推广性分析等方法,探究 1:3、1:6 和 1:24 驱避剂,红外感应警报器、超声波驱避器及红外感应警报器与超声波驱避器叠加使用 6 种具体防控方案的有效性、差异性、经济和生态可持续性及其可推广性,得出使用防控方案比空白对照方案效果更优,两者的差异具备统计学意义,其中方案叠加使用的效果并不优于单独使用,红外感应警报器是局部最优方案,具有最好的经济和生态效益。以期当地群众提供可操作性强、行之有效的方案选择,解决野猪危害庄稼和影响人民安全的问题。

参考文献:

- Andrzejewski R, Jezierski W. 1978. Management of a wild boar population and its effects on commercial land [J]. *Acta Theriologica*, **23** (19): 309–339.
- Ballari S A, Cuevas M F, Cirignoli S, Valenzuela A E J. 2015. Invasive wild boar in Argentina: using protected areas as a research platform to determine distribution, impacts and management [J]. *Biological Invasions*, **17** (6): 1595–1602.
- Bobek B, Furtek J, Bobek J, Merta D, Wojciuch-Ploskonka M. 2017. Spatio-temporal characteristics of crop damage caused by wild boar in north-eastern Poland [J]. *Crop Protection*, **93**: 106–112.
- Cai J, Jiang Z G, Zeng Y, Li C W, Bravery B D. 2008. Factors affecting crop damage by wild boar and methods of mitigation in a giant panda reserve [J]. *European Journal of Wildlife Research*, **54**: 723–728.
- Cao Y, Liu G N, Li N, Sun H, Wang Y H, Yang L, Chen K W, Chen W Q. 2023. Comparative phytoremediation efficiency and cost-benefit analysis of different *Amaranthus*-traditional Chinese medicine plants intercropping systems on Cd-contaminated farmland soils [J]. *Applied Chemical Industry*, **52** (7): 2036–2041, 2047. (in Chinese)
- Cui S, Liu B W. 2020. The research on the time continuity and space popularization of the control measures of wild boar [J]. *Acta Theriologica Sinica*, **40** (4): 364–373. (in Chinese)
- Da Rosa C A, Wallau M O, Pedrosa F. 2018. Hunting as the main technique used to control wild pigs in Brazil [J]. *Wildlife Society Bulletin*, **42** (1): 111–118.
- Damiba T E, Ables E D. 1993. Promising future for an elephant population – a case study in Burkina Faso, West Africa [J]. *Oryx*, **27** (2): 97–103.
- Dou Y Q, Yu H H, Li Y, Luo M C. 2019. Current situation and man-

- agement suggestions of human-wildlife conflict in nature reserves in China [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, **40** (2): 491–496. (in Chinese)
- Geisser H, Rayer H U. 2004. Efficacy of hunting, feeding, and fencing to reduce crop damage by wild boars [J]. *Journal of Wildlife Management*, **68** (4): 939–946.
- Han M, Li Q, Cao X J, Wang L P, Zhang S L, Hong H, Li X Y, Bai Z M, Yang Z J, Han J H. 2015. *Chifeng Forestry Record* [M]. Chifeng: Inner Mongolia Science and Technology Press, 330–335. (in Chinese)
- Jiang X P, Xu J L, Li J Q, Xu Y S, Li Z. 2018. Spatial distribution of human-wild boar conflicts in Jiangxi Province based on MaxEnt niche model [J]. *Journal of Forest and Environment*, **38** (3): 334–340. (in Chinese)
- Lang X Q, Feng Q, Duan B L. 2023. Research on well-being effect of ecosystem services in mining area of western Shanxi Loess Plateau [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, **30** (4): 431–437. (in Chinese)
- Li L L, Wang J, Shi J B. 2010. Human-wild boar (*Sus scrofa*) conflict: current status, influence factors and management recommendations [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, **29** (4): 642–645, 648. (in Chinese)
- Li T Y. 2011. Survey of wild boar damaged crops in the western slope of Zhangguangcai Mountain, Heilongjiang Province [D]. Master thesis. Harbin: Northeast Forestry University. (in Chinese)
- Liu L H, Min L J, Shen W, Pan Q J. 2009. Analysis of genetic structure in wild boar and their crossbred populations [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, **40** (2): 173–179. (in Chinese)
- Liu X H, Wu P F, He X B, Zhao X Y. 2018. Application and data mining of infra-red camera in the monitoring of species [J]. *Biodiversity Science*, **26** (8): 850–861. (in Chinese)
- Massei G, Roy S, Bunting R. 2011. Too many hogs? A review of methods to mitigate impact by wild boar and feral hogs [J]. *Human-Wildlife Interactions*, **5** (1): 79–99.
- Miao Z, Lu X Y, Zhou X H, Zhang W. 2022. Systematic evaluation of research on countermeasures for the prevention and control of wild boar-human conflict [J]. *Acta Ecologica Sinica*, **42** (6): 2501–2509. (in Chinese)
- O'Connell-Rodwell C E, Rodwell T, Rice M, Hart L A. 2000. Living with the modern conservation paradigm: can agricultural communities co-exist with elephants? A five-year case study in East Caprivi, Namibia [J]. *Biological Conservation*, **93** (3): 381–391.
- Quirós-Fernández F, Marcos J, Acevedo P, Gortázar C. 2017. Hunters serving the ecosystem: the contribution of recreational hunting to wild boar population control [J]. *European Journal of Wildlife Research*, **63** (3). DOI: 10.1007/s10344-017-1107-4.
- Samojlik T, Selva N, Daszkiewicz P, Fedotova A, Wajrak A, Kuijper D P J. 2018. Lessons from białowieża forest on the history of protection and the world's first reintroduction of a large carnivore [J]. *Conservation Biology*, **32** (4). DOI: 10.1111/cobi.13088.
- Schley L, Dufrêne M, Krier A, Frantz A C. 2008. Patterns of crop damage by wild boar (*Sus scrofa*) in Luxembourg over a 10-year period [J]. *European Journal of Wildlife Research*, **54** (4): 589–599.
- Snow N P, Jarzyna M A, Vercauteren K C, Bellard C. 2016. Interpreting and predicting the spread of invasive wild pigs [J]. *Journal of Applied Ecology*, **54** (6). DOI: 10.1111/1365-2664.12866.
- Snow N P, Lavelle M J, Halseth J M, Glow M P, Vannatta E H, Davis A J, Pepin K M, Tabor R T, Leland B R, Staples L D, Vercauteren K C. 2019. Exposure of a population of invasive wild pigs to simulated toxic bait containing biomarker: implications for population reduction [J]. *Pest Management Science*, **75** (4): 1140–1149.
- Song Q, Liu B W. 2018. The impact of solar blinkers on the crop damage control of wild boar [J]. *Chinese Journal of Zoology*, **53** (1): 32–39. (in Chinese)
- UNFCCC. 2011. Assessing the costs and benefits of adaptation options: an overview of approaches [EB/OL]. United Nations Framework Convention on Climate Change, 13.
- Wang W R, Tian L, Tang Q, Deng X Y. 2018. Game between ecosystem disservices and resident survival under ecological restoration: a case of the retreat of farmers led by the invasion of wild boars [J]. *Geographical Research*, **37** (4): 772–782. (in Chinese)
- Wang X, Li F, Li C Q, Li T F, Yang L Y, Yang R. 2022. Analysis on the activity rhythm and damage of wild boar (*Sus scrofa*) in Xishui National Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, **43** (2): 323–330. (in Chinese)
- Wang Y H, Yang A X, Yang Q Y, Kong X B, Fan H. 2023. Spatiotemporal characteristics of human-boar conflicts in China and its implications for ecosystem 'anti-service' [J]. *Acta Geographica Sinica*, **78** (1): 163–176. (in Chinese)
- Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zheng D, Li S C. 2003. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Natural Resources*, **18** (2): 189–196. (in Chinese)
- Zhang M T, Liu B W, Liu D. 2015. The research on the damage control of wild boar (*Sus scrofa*) around Hunchun Area, Jilin Province [J]. *Chinese Journal of Zoology*, **50** (6): 819–827. (in Chinese)
- Zhang N, Hong Y, Yuan X Q, Zhao L L S, Zhang M H. 2024. Characteristics of wild boar-damaged farmland and assessment of effectiveness of prevention measures in Northeast China [J]. *Animals*, **14** (21). DOI: 10.3390/ani14213079.
- Zhao C X, Liu B W. 2023. Research on the effectiveness of electronic fence in preventing and controlling wild boars endangering farmland in Hunchun, Jilin Province [J]. *Chinese Journal of Zoology*, **58** (4): 514–522. (in Chinese)
- 王文瑞, 田璐, 唐琼, 邓小永. 2018. 生态恢复中生态系统反服务与居民生存的博弈: 以甘肃“猪进人退”现象为例 [J]. *地理研究*, **37** (4): 772–782.
- 王亚辉, 杨遼郗, 杨庆媛, 孔祥斌, 樊辉. 2023. 中国人-野猪冲突时空特征及对生态系统“反服务”的启示 [J]. *地理学报*, **78** (1): 163–176.

- 王道, 李飞, 李崇清, 李腾飞, 杨伶俐, 杨瑞. 2022. 习水国家级自然保护区野猪活动特征和危害分析 [J]. 野生动物学报, **43** (2): 323–330.
- 刘雪华, 武鹏峰, 何祥博, 赵翔宇. 2018. 红外相机技术在物种监测中的应用及数据挖掘 [J]. 生物多样性, **26** (8): 850–861.
- 江晓萍, 徐基良, 李建强, 徐迎寿, 李忠. 2018. 基于 MaxEnt 生态位模型分析江西省人与野猪冲突的空间分布 [J]. 森林与环境学报, **38** (3): 334–340.
- 李兰兰, 王静, 石建斌. 2010. 人与野猪冲突: 现状、影响因素及管理建议 [J]. 四川动物, **29** (4): 642–645, 648.
- 李汀一. 2011. 黑龙江省张广才岭西麓野猪危害研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文.
- 宋琪, 刘丙万. 2018. 太阳能警示灯对野猪危害农田影响研究 [J]. 动物学杂志, **53** (1): 32–39.
- 张鸣天, 刘丙万, 刘丹. 2015. 吉林珲春地区野猪危害防控研究 [J]. 动物学杂志, **50** (6): 819–827.
- 苗震, 芦欣怡, 周学红, 张伟. 2022. 野猪与人冲突防控对策研究的系统评价 [J]. 生态学报, **42** (6): 2501–2509.
- 赵澄曦, 刘丙万. 2023. 吉林珲春电子围栏防控野猪危害农田的效果研究 [J]. 动物学杂志, **58** (4): 514–522.
- 柳丽华, 闵令江, 沈伟, 潘庆杰. 2009. 野猪及其杂交群体的遗传多样性和遗传分化的研究 [J]. 畜牧兽医学报, **40** (2): 173–179.
- 曹源, 刘刚宁, 李娜, 孙辉, 王宇豪, 杨力, 陈岢威, 陈文清. 2023. 不同籽粒菀-中药材间作系统对镉污染农田土壤的修复效果比较及成本效益分析 [J]. 应用化工, **52** (7): 2036–2041, 2047.
- 崔爽, 刘丙万. 2020. 野猪危害防控措施时间延续性及空间推广性研究 [J]. 兽类学报, **40** (4): 364–373.
- 梁秀琴, 冯强, 段宝玲. 2023. 晋西黄土高原矿区生态系统服务福祉效应研究 [J]. 水土保持研究, **30** (4): 431–437.
- 韩铭, 李勒, 曹显军, 王丽萍, 张书理, 洪海, 李显玉, 白志明, 杨志军, 韩婧华. 2015. 赤峰市林业志 [M]. 赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 330–335.
- 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 2003. 青藏高原生态资产的价值评估 [J]. 自然资源学报, **18** (2): 189–196.
- 窦亚权, 余红红, 李娅, 罗明灿. 2019. 我国自然保护区人与野生动物冲突现状及管理建议 [J]. 野生动物学报, **40** (2): 491–496.