

刺槐与紫花苜蓿间作预防兔害的效果

韩崇选¹, 王明春¹, 王培新², 张芳宝³, 杨清娥¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 陕西省森林病虫害防治检疫总站, 陕西 西安 710082;
3. 延安市森林病虫害防治检疫站, 陕西 延安 716000)

摘 要:为了预防草兔对林木的危害,以刺槐与紫花苜蓿间作与不间作幼林刺槐为对象,设冬季行间保留 0、10、20、30 cm 和 40 cm 宽紫花苜蓿种植带 5 个处理,3 次重复,研究草兔危害与保留模式的关系。结果表明,引起草兔对林木危害的主要原因是林内草本食源的季节性匮乏,冬春季草兔对刺槐的危害量、剪株数和致死量分别占全年总量的 88.0%、90.4% 和 86.3%。草兔以食草为主,但草本食源不能完全代替木本食源,不能仅依赖调整林内食物构成和食物量完全抑制危害。林木被害程度与冬季行间保留紫花苜蓿宽度呈极显著的正相关,冬季在刺槐幼林行间保留 20 cm 宽紫花苜蓿可有效地预防草兔危害。

关键词:草兔;刺槐;紫花苜蓿;间作模式;预防效果

中图分类号:S764.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)03-0149-08

Effect of *Robinia pseudoacacia*-*Medicago sativa* Intercropping to Prevent Hare Damage

HAN Chong-xuan¹, WANG Ming-chun¹, WANG Pei-xin², ZHANG Fang-bao³, YANG Qing-e¹

(1. College of Forestry Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Shaanxi Station of Forest Pest Management, Xi'an, Shaanxi 710082, China; 3. Yan'an Station of Forest Pest Management, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

Abstract: In order to prevent hare damages to forests, effect of *Robinia pseudoacacia*-*Medicago sativa* intercropping on the damages was investigated. Ribbon-shaped open spaces with the widths of 0, 10, 20, 30 cm and 40 cm were reserved in the young growth of *R. pseudoacacia* plantations with triplicates to find optimal width of open space for *M. sativa* intercropping. The results demonstrated that the main cause for the young trees to be damaged by cape hares was the seasonal shortage of herbal food sources under forests. During the winter and the spring seasons, the amount of damages, the number of the young trees bitten off by the hares, and the number of died trees accounted for 88.0% ± 1.8%, 90.4% ± 3.1% and 86.3% ± 5.7% of the totals of a year, respectively. Though cape hares mainly fed on grasses, woody plants were inevitably damaged by hares. Therefore, it was impossible to achieve complete prevention of hare damage by adjusting food composition or food quantity. The degree of hare damage was positively correlated with the width of reserved open space for *M. sativa* intercropping in *R. pseudoacacia* plantations. The optimal width was 20 cm, by which the hare damage could be effectively prevented.

Key words: cape hare; *Robinia pseudoacacia*; *Medicago sativa*; intercropping model; preventive effect

野生动物,尤其是啮齿动物的危害多发生在人类活动频繁的林区,对林业经济和生态建设造成巨大的危害^[1-4]。随着全球变暖和极端气候事件的频

繁发生,加之大面积营造的人工纯林为啮齿动物创造了理想的滋生条件,使其发生具有爆发性和不确定性^[5-7]。20 世纪 90 年代以来,随着林业产业结构

调整和大规模生态工程建设的实施,生态环境显著改善,也使得草兔(*Lepus capensis*)数量剧增、危害猖獗,造成大面积幼林死亡或衰退,并有进一步恶化的趋势^[8-10]。在生态系统中,有害生物对林木危害的实质是竞争有限的空间和食物资源^[11],可通过改变现有生态元,增加林内食物资源的多样性和丰富度可有效地缓解有害生物,尤其是草食动物对林木的危害。但是,通过额外供食,提高林内食物的数量的方式,会增加野生动物的依赖性,当停止供食时会导致更严重的危害,并且成本较高,只适合短期应用^[12-14]。因此,寻找一种经济、简便、有效的生态调控方法就成为抑制食草动物危害的关键问题^[15-22]。林草间作是常用的农林复合模式,可有效地缓解林畜争地矛盾^[23-25],而如何利用林草间作模式预防草兔对林木的危害也成为亟待研究的一个重要课题。为此,结合国内外研究成果和草兔取食特性^[11,19-22],以及我国林业生态造林工程建设的实际情况,在陕北黄土高原退耕还林(草)工程区选择典型立地,进行林间间作草兔喜食的紫花苜蓿(*Medicago sativa*)预防林地草兔危害的追踪调查和效果分析研究,旨在探索减缓林地兔害的有效林草间作模式,促进林牧交错区生态环境建设和畜牧产业健康有序的发展,实现林木兔害预防与环境保护的有机结合,提

高林业生态工程的整体效益。

1 材料与方法

2007 年 7 月通过大面积踏查,确定以陕北榆阳区、神木县、米脂县、定边县和安塞县的退耕还林(草)工程区 2003 年—2005 年新造林地作为调查和研究基地,选择立地条件相近的套种和不套种紫花苜蓿的刺槐幼林为研究对象。根据草兔对林木的危害规律,设计 5 种冬季保留紫花苜蓿模式,即行间保留 40、30、20、10 cm 和 0 cm 宽紫花苜蓿种植带,冬季不收割。每处理 3 次重复,根据林地分布的实际情况,每重复 0.2~0.4 hm²。对试验区的苗木进行标记和测量(表 1)。试验布设 1 a 后调查草兔对林木危害情况。

$$\text{被害率} = \frac{\text{林木被害株树}}{\text{调查株数}} \times 100\%$$
 (1)

$$\text{剪株率} = \frac{\text{林木被剪株树}}{\text{调查株树}} \times 100\%$$
 (2)

$$\text{致死率} = \frac{\text{林木被致死株树}}{\text{调查株数}} \times 100\%$$
 (3)

对调查的数据分类整理,利用 SPSS17.0 统计软件计算 3 次重复值、标准误差,比较不同处理方法的差异,评价不同保留模式对林地草兔危害的拟制效果。

表 1 刺槐与紫花苜蓿间作草兔危害情况

Table 1 The situation of hare damage in *Robinia pseudoacacia*-*Medicago sativa* intercropping plantations

地点	项目	保留紫花苜蓿种植带宽度/cm					对照
		40	30	20	10	0	
榆阳区	试验面积/hm ²	1.2	0.7	1.2	1.0	0.8	1.2
	调查株数/株	277.3±26.0	190.7±13.8	269.3±72.0	244.3±51.3	203.3±44.2	237.7±34.1
	被害株数/株	0.3±0.3	1.0±0.0	2.7±0.7	6.3±1.2	11.7±2.3	17.0±3.1
	剪株数/株	0.0±0.0	0.0±0.0	0.7±0.3	1.3±0.3	2.7±0.7	4.0±1.0
	致死株数/株	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.7±0.3	1.0±0.0	1.7±0.3
米脂县	试验面积/hm ²	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.2
	调查株数/株	291.7±6.2	283.3±36.1	249.7±15.9	314.3±70.0	252.7±52.5	357.0±9.0
	被害株数/株	0.3±0.3	1.0±0.0	3.0±0.0	10.3±2.4	18.7±3.9	30.0±1.0
	剪株数/株	0.0±0.0	0.0±0.0	1.0±0.0	2.3±0.3	4.7±1.2	7.3±1.2
	致死株数/株	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	1.0±0.0	1.7±0.7	3.0±0.6
神木县	试验面积/hm ²	0.9	0.8	0.7	0.9	0.8	1.2
	调查株数/株	243.0±5.3	236.0±30.1	208.0±13.3	261.7±58.4	210.7±43.9	297.3±7.5
	被害株数/株	20.0±1.2	19.7±3.2	18.3±2.2	24.7±5.2	50.7±18.2	71.0±14.9
	剪株数/株	3.7±0.3	3.7±0.7	4.0±0.6	9.0±2.3	18.3±6.6	24.0±4.7
	致死株数/株	1.3±0.3	1.3±0.3	1.7±0.7	4.7±1.2	8.3±2.9	11.3±1.8
安塞县	试验面积/hm ²	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.2
	调查株数/株	304.7±44.6	335.3±74.7	289.3±41.1	284.0±54.0	256.7±28.8	284.0±26.0
	被害株数/株	6.0±0.0	5.7±0.3	7.7±1.2	15.3±3.2	28.7±3.0	36.3±3.3
	剪株数/株	2.7±0.3	4.0±0.6	4.7±0.3	8.0±1.5	12.0±2.0	15.7±2.7
	致死株数/株	0.0±0.0	0.0±0.0	1.0±0.0	3.3±0.9	6.7±0.7	8.0±1.0

注:2003 年 5 月造林,2007 年 7 月布设试验,2008 年 7 月结果调查。

2 结果与分析

2.1 不同间作保留模式对刺槐被害程度的影响

2.1.1 刺槐被害率变化 相对非间作区,间作紫花苜蓿的刺槐遭受草兔危害的被害率显著降低,降幅随冬季紫花苜蓿保留宽度加大而提高(图1)。

从对照区可以看出,榆阳区试验区定植5a的刺槐被害率为7.1%,米脂县试验区定植4a的刺槐为8.4%,神木县试验区定植3a刺槐为24.2%。整体差异显著($F=8.262, p=0.019$),其中,定植5a与4a的差异不显著($p=0.781$),定植5a与3a和4a与3a的差异显著($p=0.011, 0.015$)。安塞县试验区非间作区定植3a的刺槐被害率为12.8%,与神木定植3a的刺槐差不显著($F=3.886, p=0.120$)。

榆阳试验区各保留模式定植5a刺槐的被害率随紫花苜蓿种植带保留宽度的增加依次降低,与非间作区差幅分别为 $1.3\% \pm 0.2\%$ 、 $4.5\% \pm 0.4\%$ 、 $6.1\% \pm 0.5\%$ 、 $6.5\% \pm 0.5\%$ 和 $7.0\% \pm 0.4\%$ 。模式间差异极显著($F=153.077, p=0.000$),但各模式间差异水平不同;其中,非间作区刺槐被害率与各保留模式差异极显著($p \leq 0.002$);20 cm与10 cm模式差异极显著($p=0.000$),与30 cm模式差异不显著($p=0.185$),与40 cm模式差异显著($p=0.020$);30 cm与40 cm模式差异不显著($p=0.223$)。说明冬季在刺槐行间保留宽20 cm以上的紫花苜蓿种植带均可显著降低草兔对定植5a刺槐的危害。米脂试验区各保留模式定植4a刺槐被害率变化规律与榆阳定植5a刺槐的类似。各模式与非间作区差异极显著($p \leq 0.004$);其中,30 cm与20 cm模式差异显著($p=0.015$),而与40 cm模式差异不显著($p=0.429$)。说明刺槐行间套种紫花苜蓿可显著降低草兔危害,其中冬季保留30 cm宽紫花苜蓿种植带防兔害效果最佳。神木试验区各模式定植3a的刺槐被害率相对较高,0 cm模式与非间作区差异不显著($p=0.687$),其余模式与非间作区差异极显著($p \leq 0.005$);10 cm与0 cm模式差异显著($p=0.011$),与其他模式差异不显著($p \geq 0.850$)。说明对于神木定植3a刺槐,冬季行间保留10 cm以上紫花苜蓿均可明显降低草兔危害。相对神木试验区,安塞试验区定植3a的刺槐被害率较轻。模式间差异极显著($F=102.375, p=0.000$),0 cm模式与非间作区差异显著($p=0.034$),其余模式差异极显著($p=0.000$)。20 cm与10 cm模式差异极显著($p=0.002$),而与30 cm和40 cm模式差异不显著($p \geq 0.240$)。说明冬季

行间保留20 cm宽紫花苜蓿可起到显著地抑制兔害作用。

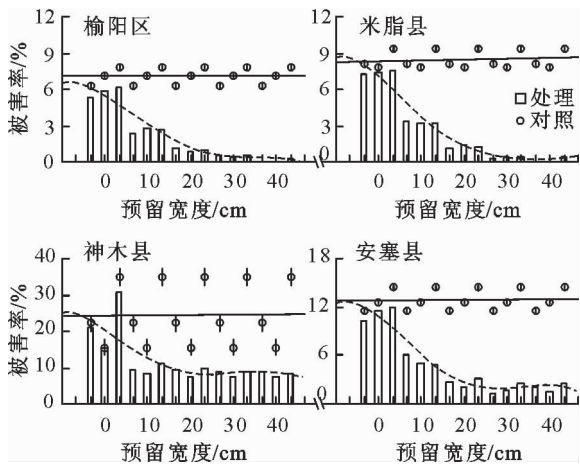


图1 不同预留模式刺槐被害率比较

Fig. 1 Comparison of damage rates of *R. pseudoacacia* in different reservation pattern

相关分析显示,刺槐遭受草兔危害的被害率与冬季行间保留紫花苜蓿宽度呈显著的负相关($r \leq -0.673, p \leq 0.006$);而非间作区被害率差幅表现不同,榆阳、米脂和安塞试验区的呈极显著的正相关($r \geq 0.841, p=0.000$),神木相关性不显著($r=0.489, p=0.064$)。榆阳和米脂试验区刺槐被害率与冬季保留紫花苜蓿宽度关系符合 Inverse-模型,神木和安塞既符合 Inverse-模型,也符合 S-模型;差幅均遵从 Inverse-模型(表2)。从模型参数分析,同一地点刺槐被害率及其差幅变化率相同,随紫花苜蓿保留宽度的增加变化率减幅度逐步减少,最终趋于消失。说明草兔对刺槐的危害是林地食源季节性变化造成的,草兔危害主要发生在冬春季。从非间作区与紫花苜蓿保留0 cm处理的刺槐被害率分析,冬春季草兔对神木、米脂和榆阳试验区定植3~5a的刺槐危害占全年危害的比例依次为 $82.2\% \pm 1.8\%$ 、 $88.1\% \pm 4.2\%$ 和 $94.2\% \pm 3.1\%$,安塞定植3a刺槐的为 $87.5\% \pm 2.3\%$,平均 $88.0\% \pm 1.8\%$ 。差异不显著($F=2.675, p=0.118$)。从被害率 Inverse-模型参数分析,随着定植年限增加,刺槐被害率随冬季保留紫花苜蓿宽度增加而降低,且降幅缩小。说明随刺槐的生长,草兔取食刺槐的频次降低,选择紫花苜蓿的概率增加。

2.1.2 刺槐剪株率变化 刺槐剪株率不仅受定植年限的影响,也受地域的影响。非间作区刺槐剪株率从高到低依次为神木3a>安塞3a>米脂4a>榆阳5a,依次为 $8.2\% \pm 1.8\%$ 、 $5.6\% \pm 1.1\%$ 、 $2.1\% \pm 0.4\%$ 和 $1.6\% \pm 0.3\%$,整体差异极显著($F=8.263, p=0.008$)。其中,神木与安塞差异不

显著($p=0.135$),神木与米脂和榆阳的差异极显著($p=0.003,0.004$),安塞与米脂和榆阳的差异显著($p=0.048,0.031$),而米脂与榆阳差异不显著($p=0.783$;图 2)。非间作区与 0 cm 模式间差异不显著($p\geq 0.300$),而与其他模式差异极显著($p\leq 0.007$)。榆阳与米脂试验区刺槐剪株率随冬季行间

保留紫花苜蓿宽度的变化规律相同,0、10 cm 和 20 cm 保留模式的剪株率依次降低,30 cm 和 40 cm 模式无剪株危害;神木和安塞剪株率变化趋势一致,剪株率随行间保留紫花苜蓿宽度增加依次降低。其中,10 cm 与 0 cm 模式差极显著($p<0.05$),与其他模式差异不显著($p\geq 0.05$;图 2)。

表 2 刺槐被害率与紫花苜蓿保留宽度模型分析

项目	试验地点	模型类型	模型参数		R^2	F-检验	
			常数项	倒数项		F	p
被害率	榆阳区	Inverse	-1.246	7.129	0.985	856.634	0.000
	米脂县	Inverse	-1.758	9.258	0.992	1 622.773	0.000
	神木县	Inverse	3.120	18.252	0.718	33.038	0.000
		S	1.775	1.238	0.806	53.841	0.000
	安塞县	Inverse	-0.888	12.088	0.967	384.407	0.000
		S	0.219	2.296	0.876	91.996	0.000
差幅	榆阳区	Inverse	8.316	-7.129	0.919	147.471	0.000
	米脂县	Inverse	10.185	-9.258	0.941	207.412	0.000
	神木县	Inverse	21.043	-18.252	0.382	8.048	0.014
	安塞县	Inverse	13.734	-12.088	0.913	135.694	0.000

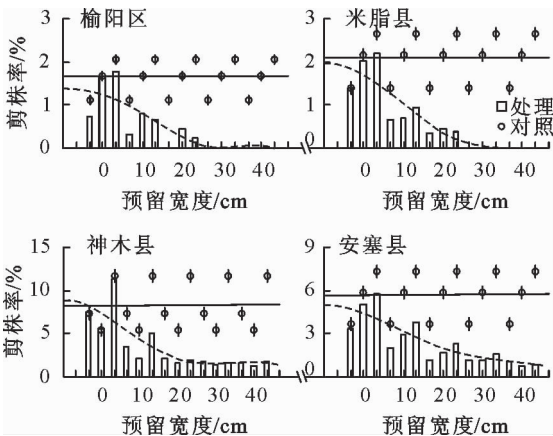


图 2 不同预留模式剪株率比较

Fig. 2 Comparison of bitten off rates by different reservation patterns

刺槐剪株率与冬季紫花苜蓿保留宽度间呈极显著的负相关($r\leq -0.776, p\leq 0.001$),而剪株率差幅呈极显著正相关($r\geq 0.670, p\leq 0.006$)。剪株率与冬季行间保留紫花苜蓿的关系遵从 Power-模型。其中,神木的更符合 S-模型,安塞的最接近 Growth-模型。差幅与保留模式关系符合 S-模型(表 3)。从剪株率 Power-模型分析,模型极大值依次为神木>安塞>米脂>榆阳,定植 3 a 刺槐的剪株率神木的大于安塞。从指数项系数分析,剪株率变幅随定植年限而缩小,神木定植 3 a 刺槐的变幅略低于安塞,但总体变幅随保留宽度增加而缩小。差幅模型显示,随保留宽度差幅递减幅度米脂>安塞>神木>榆阳。说明米脂和安塞冬季保留紫花苜蓿宽度对剪株危害作用较强,各模式间差异较大;而神木和榆阳

相对较弱,各模式间差异较小。结合刺槐剪株率变化趋势和差异程度综合分析,榆阳与神木冬季在刺槐行间保留 10 cm 宽紫花苜蓿就可有效降低草兔剪株危害,而米脂和安塞需要保留 10~20 cm。

刺槐剪株率与被害率呈极显著的正相关($r\geq 0.973, p=0.000$)。与被害一样,剪株危害也主要发生在冬春季,平均占全年的 $90.4\%\pm 3.1\%$ 。其中,榆阳、米脂、神木和安塞的分别占 $84.0\%\pm 9.7\%$ 、 $91.7\%\pm 4.6\%$ 、 $98.0\%\pm 1.8\%$ 和 $85.6\%\pm 4.0\%$,具有随刺槐定植年限下降的趋势。

2.1.3 刺槐致死率变化 榆阳、米脂、安塞和神木非间作区刺槐的草兔危害致死率依次为 $0.7\%\pm 0.1\%$ 、 $0.8\%\pm 0.2\%$ 、 $2.9\%\pm 0.4\%$ 和 $3.8\%\pm 0.7\%$,差异极显著($F=14.405, p=0.001$)。其中:榆阳和米脂定植 5 a 与 4 a 刺槐差异不显著($F=0.655, p=0.464$),安塞和神木定植 3 a 刺槐差异也不显著($F=1.564, p=0.279$)。刺槐致死率整体表现为随定植年限上升而降低。非间作区与 0 cm 模式差异不显著($p\geq 0.212$),与其他模式差异极显著(图 3)。

定植 4~5 a 刺槐的致死率与冬季行间保留紫花苜蓿宽度关系变化趋势基本相同,0 cm 和 10 cm 保留模式的致死率分别为 $0.7\%\pm 0.2\%$ 、 $0.4\%\pm 0.1\%$ 和 $0.6\%\pm 0.1\%$ 、 $0.2\%\pm 0.1\%$,其余模式没有致死林木。相对神木试验区,安塞定植 3 a 刺槐的致死率相对较低,前 3 个模式致死率依次为 $2.6\%\pm 0.3\%$ 、 $1.1\%\pm 0.1\%$ 和 $0.4\%\pm 0.1\%$,后 2 模式无致死林木(图 3)。

表 3 刺槐剪株率与紫花苜蓿保留宽度模型分析

项目	试验地点	模型类型	模型参数		R^2	F-检验	
			常数项	自变量		F	p
被害率	榆阳区	Power+1	2.317	-0.564	0.844	70.506	0.000
	米脂县	Power+1	2.837	-0.682	0.955	276.936	0.000
	神木县	Power	7.274	-1.085	0.861	80.486	0.000
		S	-0.030	2.136	0.869	86.523	0.000
	安塞县	Power	5.030	-1.029	0.859	79.463	0.000
		Growth	1.873	-0.414	0.862	81.350	0.000
差幅	榆阳区	S+1	1.185	-0.982	0.807	54.300	0.000
	米脂县	S	1.674	-3.748	0.723	33.979	0.000
	神木县	S+1	1.857	-1.673	0.796	50.722	0.000
	安塞县	S	2.035	-2.343	0.690	28.903	0.000

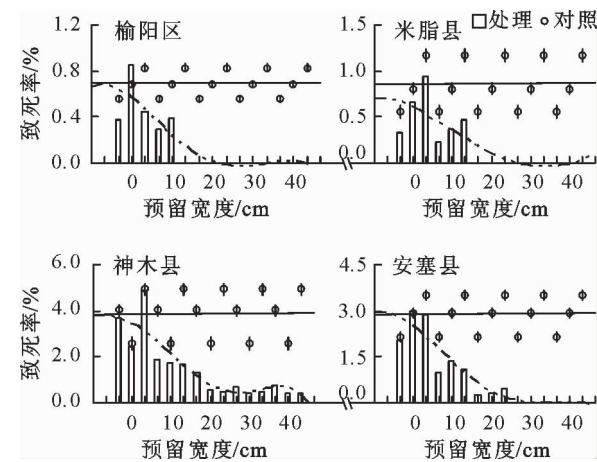


图 3 不同预留模式致死率比较

Fig. 3 Comparison of lethal rates by different reservation patterns

刺槐致死率与冬季紫花苜蓿保留宽度呈极显著负相关($r\leq-0.762, p\leq0.001$),而与被害率和剪株率呈极显著的正相关($r\geq0.917, p=0.000$);而

非间作区与各模式刺槐致死率差幅呈极显著的正相关($r\geq0.674, p\leq0.006$)。致死率与紫花苜蓿保留宽度关系遵从 S-模型;其中,神木的更接近 Inverse-模型,安塞的最接近 Power-模型。差幅与保留模式关系总体满足 S-模型,但榆阳、神木和安塞的具有 Inverse-模型的变化趋势(表 4)。从各模式刺槐致死率变化趋势和差异程度综合分析,榆阳和神木冬季行间保留 10 cm、米脂和安塞试验区保留 20 cm 宽紫花苜蓿种植带,可获得最佳的抑制草兔危害导致林木死亡的效果。与被害和致死危害相同,致死危害也主要发生在食源相对缺乏的冬春季节。其致死量平均占全年总量的 $86.3\%\pm5.7\%$;其中,米脂、榆阳、安塞和神木的依次占 $74.6\%\pm7.0\%$ 、 $82.0\%\pm21.9\%$ 、 $93.6\%\pm5.6\%$ 和 $95.1\%\pm2.1\%$,体现为随林木定植年限增加的趋势,但差异不显著($F=0.674, p=0.592$)。

表 4 刺槐致死率与紫花苜蓿保留宽度模型分析

项目	试验地点	模型类型	模型参数		R^2	F-检验	
			常数项	自变量		F	p
被害率	榆阳区	S+1	-0.139	0.581	0.769	43.267	0.000
	米脂县	S+1	-0.145	0.662	0.792	49.629	0.000
	神木县	Inverse	-0.410	4.097	0.847	72.006	0.000
		S	-1.098	2.492	0.806	54.180	0.000
	安塞县	Power+1	3.649	-0.860	0.962	328.797	0.000
		S+1	-0.282	1.649	0.921	151.810	0.000
差幅	榆阳区	Inverse+1	1.872	-0.742	0.583	18.199	0.001
		S+1	0.662	-0.558	0.589	18.639	0.001
	米脂县	S	0.268	-1.912	0.775	44.688	0.000
	神木县	Inverse	4.256	-4.097	0.648	23.972	0.000
		S	2.295	-4.196	0.819	58.651	0.000
	安塞县	Inverse+1	4.592	-3.429	0.793	49.783	0.000
		S+1	1.708	-1.524	0.858	78.408	0.000

2.2 不同间作保留模式预防效果分析

2.2.1 被害预防效果 相对非间作区,榆阳和米脂定植 5 a 和 4 a 的刺槐各模式的预防效果变化规律

相同,被害预防效果随冬季行间保留紫花苜蓿带宽度的加大而提高,后 3 个模式的被害预防效果均>85.0%。各模式间差异极显著($p=0.000$)。定植

3 a刺槐的被害预防效果变化规律相类似。神木试验区的被害预防效果相对较差,效果也不稳定($F=18.239, p=0.000$)。安塞试验区定植3 a刺槐被害预防效果相对较高,各模式预防效果分别为:12.5%±3.9%、57.7%±9.4%、79.1%±4.2%、85.8%±3.2%和84.0%±3.4%。模式间差异极显著,其中,20 cm与10 cm模式差异极显著,而与30 cm和40 cm模式差异不显著(图4)。

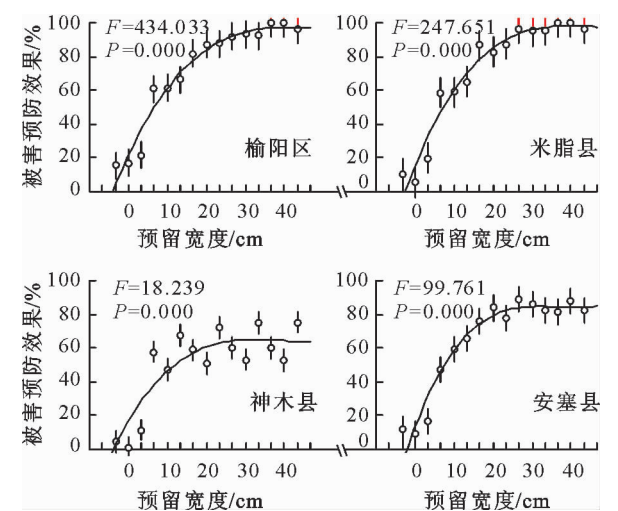


图4 不同预留模式被害预防效果比较

Fig. 4 Comparison of damage prevent effect of different reservation patterns

相关分析显示,被害预防效果与紫花苜蓿保留宽度呈极显著的正相关($r\geq 0.713, p\leq 0.003$)。两者关系符合 Inverse-模型:

$$PE_{\text{yuangd}} = 117.660 - \frac{101.177}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.989; F = 1131.733, p = 0.000)$$
$$PE_{\text{mizhid}} = 121.049 - \frac{110.561}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.984; F = 787.207, p = 0.000)$$
$$PE_{\text{shenmud}} = 83.484 - \frac{73.440}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.815; F = 57.085, p = 0.000)$$
$$PE_{\text{ansaid}} = 106.980 - \frac{84.527}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.965; F = 363.074, p = 0.000)$$

模型和方差分析显示,被害预防效果排序为榆阳>米脂>安塞>神木,但整体差异不显著($F=1.699, p=0.178$)。20 cm保留模式的预防效果依次为85.6%±3.4%、85.5%±2.5%、79.1%±4.2%和60.8%±10.8%,差异极显著($F=10.830, p=0.003$)。其中,榆阳与米脂差异不显著($p=0.994$);神木与榆阳和米脂差异极显著($p=0.001$);安塞与榆阳和米脂差异不显著($p=0.231, 0.234$),而与神木差异极显著。从被害预防效果变

化规律、差异程度和经济学综合分析,冬季保留20 cm宽紫花苜蓿可取得最佳的被害预防效果。

2.2.2 剪株预防效果 对于刺槐剪株预防效果随冬季保留紫花苜蓿宽度的增加迅速提高。榆阳和米脂30 cm和40 cm模式无剪株危害,预防效果100.0%。模式间差异极显著($F=32.550, 139.090$,图5)。相对定植4 a以上的刺槐,定植3 a的刺槐剪株预防效果较低。神木试验区0 cm模式平均剪株率大于非间作区,但随紫花苜蓿保留宽度增大,30 cm和40 cm模式的剪株预防效果分别为79.6%±3.6%和80.5%±2.4%。模式间差异极显著($F=128.961, p=0.000$)图5。安塞30 cm和40 cm模式的剪株预防效果分别为76.7%±3.4%和82.1%±5.7%,模式间差异也极显著(图5)。

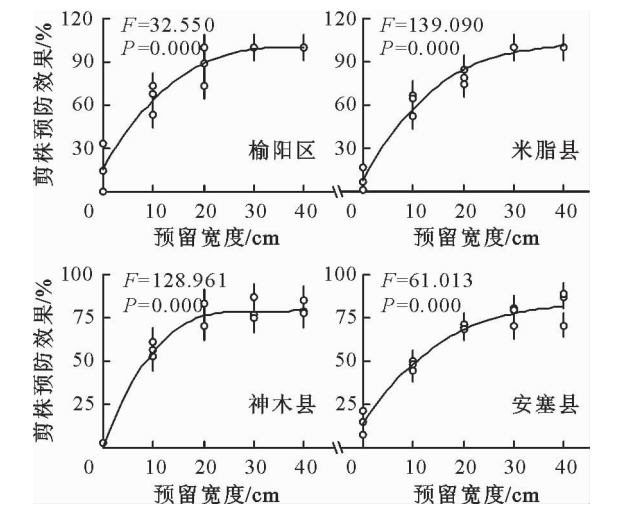


图5 不同预留模式剪株预防效果比较

Fig. 5 Comparison of bitten off prevent effect of different reservation patterns

剪株预防效果与冬季紫花苜蓿保留宽度呈极显著的正相关($r\geq 0.847, p=0.000$)。两者关系符合 Inverse-模型。

$$PE_{\text{yuangcp}} = 132.086 - \frac{108.257}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.922; F = 153.782, p = 0.000)$$
$$PE_{\text{mizhicp}} = 122.911 - \frac{116.289}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.969; F = 412.858, p = 0.000)$$
$$PE_{\text{shenmucp}} = 106.069 - \frac{104.687}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.971; F = 435.532, p = 0.000)$$
$$PE_{\text{ansaicp}} = 96.766 - \frac{84.721}{R_w}$$
$$(R^2 = 0.942; F = 211.012, p = 0.000)$$

模型和方差分析显示,各试验区剪株预防效果依次为榆阳>米脂>神木>安塞,但差异不显著($F=0.931, p=0.432$)。从不同模式剪株预防效果

差异程度和经济学观点分析,榆阳和神木预防草兔剪株危害冬季行间保留紫花苜蓿的最佳宽度为 20 cm,米脂和安塞为 20~30 cm。

2.2.3 致死预防效果 榆阳和米脂试验区定植 5 a 和 4 a 的刺槐致死预防效果变化趋势基本一致,0 cm 和 10 cm 保留模式预防效果逐步提高,20 cm~40 cm 模式无致死林木,预防效果 100.0%。但榆阳的前 2 个模式的致死预防效果不太稳定,重复间差异很大,0 cm 模式平均预防效果为 18.0%±21.9%,重复间最大差幅为 72.0%;20 cm 模式平均值为 63.0%±18.5%,最大差幅为 57.3%。米脂的预防效果相对稳定,0 cm 与 10 cm 模式预防效果为 25.4%±7.0%和 58.7%±1.6%。神木和安塞试验区定植 3 a 的刺槐致死预防效果变化趋势有所差异。安塞前 3 个模式的预防效果依次为 6.4%±5.6%、58.6%±5.3%和 87.4%±0.5%,后 2 个模式没有被害死亡刺槐。模式间差异极显著($F=130.335, p=0.000$)。神木试验区的预防效果随紫花苜蓿保留宽度增加逐渐提高,各模式依次为 4.9%±2.1%、50.9%±9.4%、79.0%±6.5%、85.0%±2.2%和 85.2%±3.3%。模式间差异极显著($F=130.335, p=0.000$)。其中,20 cm 模式与前 2 个模式差异极显著,而与后 2 模式差异不显著(图 6)。

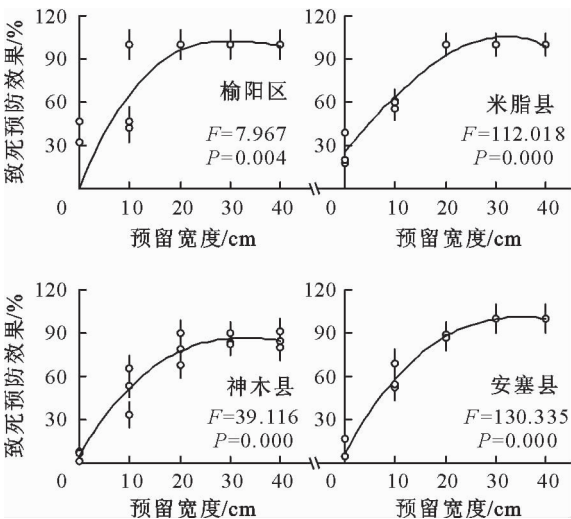


图 6 不同预留模式致死预防效果比较

Fig. 6 Comparison of lethal prevent effect of different reservation patterns

致死预防效果与冬季刺槐行间保留紫花苜蓿宽度呈极显著的正相关($r\geq 0.765, p\leq 0.001$)。两者关系符合 Inverse-模型。

$$PE_{yuanl}=126.267-\frac{109.606}{R_w}$$
$$(R^2=0.732;F=35.573,p=0.000)$$

$$PE_{mizhil}=122.736-\frac{100.543}{R_w}$$

$$(R^2=0.908;F=128.350,p=0.000)$$

$$PE_{shenmul}=109.091-\frac{105.293}{R_w}$$

$$(R^2=0.926;F=162.393,p=0.000)$$

$$PE_{ansail}=125.897-\frac{121.340}{R_w}$$

$$(R^2=0.970;F=415.686,p=0.000)$$

模型显示,致死预防效果具有随林木生长提高的趋势。预防效果与紫花苜蓿保留宽度的增幅排序为安塞>榆阳>米脂>神木。整体致死预防效果依次为榆阳>米脂>安塞>神木,但整体差异不显著($F=0.653, p=0.584$)。从致死预防效果变化趋势和差异程度,结合经济学原理分析,冬季刺槐幼林行间保留 20 cm 宽紫花苜蓿是预防草兔危害致死林木最经济有效的间作保留模式。

3 结论与讨论

利用生态措施控制食草动物,尤其是啮齿动物对林木的危害,是在不改变经营目的和降低林木保存率和生长量的前提下,对林业生态系统有计划地进行适当调整,使其朝着不利于有害生物生存的方向发展,把其种群密度控制在经济水平允许以下。该类技术措施对生态系统干预最小,投资少,持效长^[15-18]。通过调整林内植物组分,降低林内野生动物食物构成和丰富度的季节性差异,可有效地抑制野生动物对林木的危害^[11,19-22]。本研究通过对 4 个试验区行间套种紫花苜蓿的 5 种保留模式与非间作区草兔对刺槐危害程度分析,得出了以下主要结论: 1)刺槐被害程度依次为神木试验区定植 3 a 的刺槐林处理>安塞定植 3 a>米脂定植 4 a>榆阳定植 5 a。2)草兔对刺槐的危害是林地食源季节性变化造成的,危害主要发生在冬春季。其平均被害量、剪株数和致死量分别占全年总量的 88.0%、90.4%和 86.3%。其中,榆阳、米脂、神木和安塞试验区的被害量占全年总量的比例为 94.2%、88.1%、82.2%和 87.5%,剪株数占全年总量的 84.0%、91.7%、98.0%和 85.6%,致死量占 82.0%、74.6%、95.1%和 93.6%。3)刺槐被害程度随冬季保留紫花苜蓿种植带宽度的增加而降低,且降幅缩小。说明草兔以草食为主,林木只是其替代食源,或者是其补充食源,但草本食源不能完全代替木本食源。即使在紫花苜蓿充足时草兔仍然取食刺槐的主因,也不可能依赖调整林内食物组成和丰富度完全抑制草兔对林木的危害。4)从不同保留模式的刺槐被害程度差异水平和经济学方面综合分析,冬季在刺槐幼林行间保留 20 cm 宽紫花苜蓿种植带可以有效地预防草兔对

刺槐的危害。其被害、剪株和致死预防效果因定植年限和地域而有所差异。榆阳试验区定植 5 a 刺槐的 3 类预防效果依次为 85.6%、87.3%和 100.0%，米脂试验区定植 4 a 刺槐的分别为 85.5%、79.4%和 100.0%，安塞试验区定植 3 a 刺槐的为 79.1%、69.7%和 87.4%，神木试验区定植 3 a 刺槐的预防效果相对较差，依次为 60.8%、74.9%和 79.0%。

参考文献：

[1] HARDY A. R. Vertebrate pests of UK agriculture: present problems and future solutions[C]. Proceedings of the Fourteenth Vertebrate Pest Conference, 1990:181-185.

[2] BULINSKI J. A survey of mammalian browsing damage in Tasmanian eucalypt plantations [J]. Australian Forestry, 1999,62(1):59-65.

[3] 国家环境保护总局. 2004 中国环境状况公报[J]. 环境保护, 2005(6):11-28.

[4] 王玉玲, 阎俊, 孙蕴贤. 2000 年全国森林病虫害发生情况分析[J]. 中国森林病虫害, 2001,20(5):22-25.

[5] SINGLETON G R, BELMAIN S R, BROWN P R, *et al.* Impacts of rodent outbreaks on food security in Asia[J]. CSIRO Wildlife Research, 2010, 37(5):355-359.

[6] 韩崇选. 农林啮齿动物灾害环境修复与安全诊断[M]. 杨陵: 西北农林科技大学出版社, 2004:150-154.

[7] 韩崇选, 李金钢, 杨学军, 等. 中国农林啮齿动物与科学管理 [M]. 杨陵: 西北农林科技大学出版社, 2005:3-16.

[8] 杨学军, 韩崇选, 张宏利, 等. 陕北与关中林区草兔危害及发生规律分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005,33(3):85-89.

YANG X J, HAN C X, ZHANG H L, *et al.* Analysis of the law and harm of hare to forest in the North of Shaanxi and Guanzhong [J]. Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. , Nat. Sci. Ed. , 2005, 33(3):85-89, 94. (in Chinese)

[9] 王明春, 韩崇选, 杨学军, 等. 草兔对幼树的选择危害及其防治技术研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004,34(12):52-56.

WANG M C, HAN C X, YANG X J, *et al.* Selective damage of rabbit to tree seedlings and its control techniques[J]. Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. : Nat. Sci. Ed. , 2004, 34(12):52-56. (in Chinese)

[10] 王明春, 张芳宝, 韩崇选, 等. 草兔对黄土高原主要造林树种的危害特征[J]. 东北林业大学学报, 2010,38(11):42-45.

WANG M C, ZHANG F B, HAN C X, *et al.* Harmful characteristics of *Lepus capensis* to major afforestation tree species in the Loess Plateau[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(11):42-45. (in Chinese)

[11] 舒凤梅, 商海鹏, 郝德仁. 幼林抚育剩余物防御幼林鼠害的研究[J]. 林业科学, 1991,27(1):79-83.

SHU F M, SHANG H P, HAO D E. A study on preventing rodent pest using residue of tending in young forest[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1991, 27(1):79-83. (in Chinese)

[12] ZIEGLTRUM G J, NOLTE D L. Black bear damage management in Washington State[C]. Seventh Eastern Wildlife

Damage Management Conference, 1995:104-107.

[13] GUNDERSEN H, ANDREASSEN H P, STORAAS T. Supplemental feeding of migratory moose *Alces alces*: forest damage at two spatial scales[J]. Wildlife Biology, 2004, 10(3):213-223.

[14] SULLIVAN T P, CRUMP D R. Influence of mustelid scent-gland compounds on suppression of feeding by snowshoe hares (*Lepus americanus*) [J]. Journal of Chemical Ecology, 1984, 10(12):1809-1821.

[15] 韩崇选, 杨学军, 王明春, 等. 鼠类危害的环境生态修复探讨 [J]. 西北林学院学报, 2005,20(4):124-128.

HAN C X, YANG X J, WANG M C, *et al.* The environmental ecosystem rehabilitations of the rodent pests [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(4):124-128. (in Chinese)

[16] 韩崇选, 杨学军, 王明春, 等. 林区鼯鼠的综合管理研究[J]. 西北林学院学报, 2002,17(3):53-57.

HAN C X, YANG X J, WANG M C, *et al.* The integrated pest management of zoker in forest area [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2002, 17(3):53-57. (in Chinese)

[17] 韩崇选, 杨林. 鼠类的危害与可持续控制技术研究[J]. 西北林学院学报, 2003,18(1):49-52.

HAN C X, YANG L. Study on the endanger and the sostenuto controlling for rodents[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(1):49-52. (in Chinese)

[18] 钟文勤, 周庆强, 王广和, 等. 布氏田鼠鼠害生态治理方法的设计及其应用[J]. 兽类学报, 1991,11(3):204-212.

ZHONG W Q, ZHOU QI Q, WANG G H, *et al.* The design for the ecological management of brandt's vole pest and its application[J]. Acta Theriologica Sinica, 1991, 11(3):204-212. (in Chinese)

[19] SCHWAB F E, PITTOELLO F G, SIMON N P. Relative palatability of green manure crops and carrots to white-tailed deer[J]. Wildlife Society Bulletin, 2001, 29(1):317-321.

[20] MCKAY H V, MILSOM T P, FEARE C J, *et al.* Selection of forage species and the creation of alternative feeding areas for dark bellied brent geese *Branta bernicla* bernicla in Southern UK coastal areas[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2001, 84(2):99-113.

[21] GODSEY L D. An economic analysis of black walnut alley cropping in NE[J]. Temperature Agroforester, 2000, 8(4):8-9.

[22] 杨学军, 韩崇选, 王明春, 等. 林业生态措施在鼠害控制中的应用[J]. 西北林学院学报, 2001,16(3):76-79.

YANG X J, HAN C X, WANG MI C, *et al.* Application of forestry ecological measure in mouse control[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(3):76-79. (in Chinese)

[23] 王致萍, 周文涛, 张晓霞. 黄土丘陵沟壑区林草间作种植效益评估[J]. 草原与草坪, 2009(6):62-65.

[24] 王海明, 李贤伟, 李守剑, 等. 林草复合经营模式研究[J]. 四川林勘设计, 2003(1):5-9.

[25] 赵兴征, 卢剑波. 农林系统研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(2):127-132.