

纳米型植物抗逆剂对侧柏蘸浆造林效果分析

丁学利^{1,2}, 韩崇选^{1*}, 党齐域³, 王培新⁴, 孟惠荣³, 张芳宝⁵, 李建国⁶,
王明春¹, 杨清娥¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 宁夏防治沙漠化职业技术学院, 宁夏 银川 750199;
3. 延安市森林病虫害防治检疫站, 陕西 延安 716000; 4. 陕西省森林病虫害防治检疫总站, 陕西 西安 710082;
5. 咸阳市森林病虫害防治检疫站, 陕西 咸阳 712000; 6. 咸阳市职业技术学院, 陕西 咸阳 712000)

摘 要:为了评价纳米型植物抗逆剂(NPA)侧柏蘸浆造林的抗旱与控制鼠(兔)害作用,以多效抗旱驱鼠剂(RPA)为参照,采用 NPA 和 RPA 比较了不同地区侧柏蘸浆造林的整体效果。结果表明,干旱和鼠(兔)害是林木致死的关键因素。其中,定植当年干旱、鼢鼠和草兔致死率占总致死比例分别为 55.6%~71.1%、10.1%~17.6%和 15.0%~24.2%;定植 3 a 分别占 47.6%~73.5%、9.7%~17.5%和 15.0%~33.6%。草兔和鼢鼠成为麟游点侧柏致死的首要因素。定植当年 NPA 蘸浆造林对于干旱致死预防效果为 65.2%~73.0%,比 RPA 增加了 41.7%~53.9%;定植 3 a 的为 75.6%~83.5%,比 RPA 高 12.5%~20.6%;两者差异极显著。定植当年 NPA、RPA 对鼢鼠预防效果为 92.5%~100.0%和 84.7%~100.0%,差异不显著;定植 3 a 对鼢鼠预防效果为 88.8%~97.0%和 75.9%~86.3%,米脂和宝塔点差异显著。定植当年 NPA 对草兔预防效果为 91.8%~100.0%,比 RPA 提高 0.0%~7.6%;定植 3 a NPA 草兔预防效果为 88.9%~97.3%,比 RPA 高 9.0%~11.3%。其他致死因素对米脂和宝塔点鼢鼠和草兔致死预防效果影响较大,其均值变异率远超 5%的统计允许要求,数据分析时必须剔除其干扰。

关键词:纳米型植物抗逆剂(NPA);蘸浆造林;抗旱;促长

中图分类号:S791.38 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)04-0132-10

Effects of Applying NPA on the Afforestation of *Platycladus orientalis* with Root Dipping Method

DING Xue-li^{1,2}, HAN Chong-xuan^{1*}, DANG Qi-yu³, WANG Pei-xin⁴, MENG Hui-rong³,
ZHANG Fang-bao⁵, LI Jian-guo⁶, WANG Ming-chun¹, YANG Qing-e¹

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Ningxia Institute of Prevention and Control of Desertification, Yinchuan, Ningxia 750199, China; 3. Yanan Station of Forest Pest Management, Yan'an, Shaanxi 716000, China; 4. Shaanxi Station of Forest Pest Management, Xi'an, Shaanxi 710082; 5. Xianyang Station of Forest Pest Management, Xianyang, Shaanxi, 712000, China; 6. Xianyang Institute of Vocation and Technology, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: The formation of a young plantation is a key stage to determine the success or failure of afforestation. In order to evaluate the effects of NPA on drought resistance and rodent control in the afforestation of *Platycladus orientalis* with the method of dipping the seedling roots in soil slurries mixed with NPA. The application of RPA was used as a control. The results showed that the drought and the rodent damages were lethal key factors to *P. orientalis* seedlings. One year after planting, the ratios of fatality rates to

收稿日期:2013-09-30 修回日期:2014-12-21

基金项目:国家林业局重点项目(2012-02);林业公益性行业科研专项(201004003-4)。

作者简介:丁学利,男,副教授,研究方向:森林资源保护。E-mail:nxfangsha@163.com

* 通信作者:韩崇选,男,教授,研究员,研究方向:森林鼠害治理。E-mail:sendakingcat@qq.com

the total mortality were 55.6%—71.1%, 10.1%—17.6% and 15%—24.2% caused by rought, zokor and *Lepus capensis*, respectively. The ratios were. 47.6%—73.5%, 9.7%—17.5% and 15%—33.6%, respectively 3 years after planting. *L. capensis* and zokor became primary factors to the death of the seedlings in Linyou. The drought prevention effect of applying NPA in the first year was 65.2%—73.0%, 41.7%—53.9% higher than applying RPA, 75.6% to 83.5% in the third year, 12.5%—20.6% higher than applying RPA, and the difference was significant. The zokor prevention effects of applying NPA and RPA were 92.5%—100.0% and 84.7%—100.0% in the first year with no significant difference, and 88.8%—97.0% and 75.9%—86.3% in the third year with significant differences in Linyou and Baota. The *L. capensis* prevention effect of applying NPA was 91.8%—100.0% in the first year, 0.0%—7.6% higher than applying RPA, 88.9%—97.3% in the third year, 9.0%—11.3% higher than applying RPA.

Key words: nano-type plant anti-adversity agent (NPA); root dipping afforestation; drought resistance; promoting growth

幼林是林木生长的转折期,也是决定造林成败的关键^[1-2]。然而由于干旱因素和野生动物,尤其是鼠(兔)危害降低了幼树的存活率,增大了造林风险,使我国历年造林保存率仅为 30%左右,严重制约了生态建设工程的整体进度和可持续发展。随着人类生态保护意识的增强,有害生物治理向着环境友好型方向发展^[3-7]。如何实现鼠(兔)害预防与抗旱造林的有机结合,做到从造林源头预防害鼠(兔)的发生是人们探寻的理想目标^[8-12]。利用药剂蘸浆造林是实现该目标的主要途径^[13-19]。但由于各类驱避剂的作用效果和有效期差异很大,加之不同树种生长特性的差异,直接或间接影响造林后林地害鼠种群密度和分布规律,导致不同林地害鼠发生规律的差异,进而引起林木被害程度和生长状况发生变化^[20-22]。认识和利用这些规律,科学合理地使用抗逆剂,对抑制林木鼠(兔)害,优化幼林生态系统功能,增强林木抗逆性,提高造林质量和效益至关重要^[23-25]。为此,以多效抗旱驱鼠剂(RPA)为对照,进行了纳米型植物抗逆剂(NPA)侧柏蘸浆造林研究。旨在通过研究,分析比较不同地点蘸浆造林的效果,评价 NPA 和 RPA 的抗旱和鼠(兔)害控制作用,探讨其他致死因素对试验效果的影响,为科学、合理和有效地使用 NPA 和 RPA 提供理论依据。

1 材料与方 法

2008 年 7 月通过踏查,从北到南确定以榆林米脂杨家沟、延安宝塔阳春沟和宝鸡麟游崔木黄土高原 3 种典型立地为试验区。试验区年均降水量依次为 483.4、549.9 mm 和 640.4 mm;年均温度为 7.8、9.4℃ 和 9.2℃;海拔分别为 1 250~1 580、895~1 035 m 和 1 350~1 520 m。米脂土壤为黄土母质上发育的山地棕褐土和栗钙土,水土流失和沙化严重,宝塔土壤有垆土、黑垆土、黄绵土等,麟游土壤为

垆土和森林黄土性黄土。主要造林树种有沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、刺槐(*Robinia pseud-oacacia*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、柠条(*Caragana intermedia*)、山桃(*Prinsepia uniflora*)、山杏(*Prunus armeniaca*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)等。试验区内农林交错分布,牛羊危害比较严重,为鼯鼠(*Myospalax* spp.)和草兔(*Lepus capensis*)的重发区。

2009 年 4 月,分别在 3 个试验点,用纳米型植物抗逆剂(NPA)和多效抗旱驱鼠剂(RPA)150 倍水溶液兑成泥浆,对 2 年生侧柏苗进行蘸浆处理,各浓度设 3 次重复,每重复 3/15 hm²。造林后,于 2009 年 10 月和 2011 年 10 月,按干旱致死(干枯)、鼯鼠致死、兔害致死(地面害鼠)和其他因素致死(践踏、碾压、水土掩埋等)调查各处理苗木死亡情况,对调查的数据分类整理,利用 3 次重复值计算标准误差,比较不同处理方法的差异,评价 2 种药剂对苗木存活率的影响^[17-19]。同时利用致死预防效果(lethal preventive effect, *P_e*)分析 NPA 和 RPA 蘸浆造林效果,采用均值变异率(average mutation rate, *R_{am}*)和影响系数(influence coefficient, *C_i*)评价其他致死因素对干旱、鼯鼠和草兔对林木致死预防效果的干扰效应。

$$P_e/\% = \frac{\text{对照致死株} - \text{处理致死株}}{\text{对照致死株}} \times 100$$
$$R_{am}/\% = \frac{|\text{其他因素干扰均值} - \text{处理均值}|}{\text{其他因素干扰均值}} \times 100$$
$$C_i/\% = \frac{|\text{其他因素干扰均值标准误} - \text{处理均值标准误}|}{\text{其他因素干扰均值标准误}} \times 100$$

2 结果与分 析

2.1 对林木干旱死亡的影响

从北向南,苗木干旱致死率逐渐降低。除定植当年 RPA 处理与对照的差值逐渐扩大外,其他药

剂处理与对照的差值依次缩小(表 1,图 1)。

NPA 与对照相比,定植当年处理区干旱致死率比对照依次降低了 $12.4\% \pm 1.2\%$ 、 $11.5\% \pm 1.1\%$ 和 $8.9\% \pm 2.9\%$,其中,米脂和宝塔试验点处理与对照差异极显著($p=0.001$),麟游试验点差异不显著($p=0.087$);预防效果依次为 $60.6\% \pm 4.0\%$ 、 $61.8\% \pm 5.0\%$ 和 $55.7\% \pm 12.5\%$,各试验点间差异不显著($p=0.859$;图 1A)。定植 3 a 时,NPA 比对照分别降低了 $43.8\% \pm 2.2\%$ 、 $39.7\% \pm 1.9\%$ 和 $23.0\% \pm 3.7\%$,处理与对照差异均十分显著($p<0.01$);预防效果分别为 $83.5\% \pm 2.2\%$ 、 $83.5\% \pm 2.1\%$ 和 $75.6\% \pm 9.1\%$,试验点间差异不显著($p=$

0.539 ;图 1B)。

RPA 与对照相比,定植当年米脂、宝塔和麟游试验点处理区侧柏干旱致死率比对照依次降低了 $1.6\% \pm 2.6\%$ 、 $2.5\% \pm 2.7\%$ 和 $5.5\% \pm 2.6\%$,处理与对照差异不显著($p>0.05$);预防效果依次为 $6.6\% \pm 12.8\%$ 、 $12.2\% \pm 14.4\%$ 和 $34.3\% \pm 12.3\%$,试验点间差异不显著($p=0.425$;图 1A)。定植 3 a 时相差依次为 $32.9\% \pm 1.2\%$ 、 $29.9\% \pm 1.7\%$ 和 $19.2\% \pm 3.4\%$,与对照差异均达极显著水平($p<0.01$);预防效果分别为 $62.9\% \pm 2.6\%$ 、 $63.0\% \pm 3.5\%$ 和 $63.1\% \pm 8.8\%$,试验点间无差异($p=1.000$;图 1B)。

表 1 2 种抗逆剂蘸浆造林对侧柏苗木抗旱效果比较

Table 1 Comparison of drought-resistant effects of arborvitae to dip in root with two repellents slurry

试验地点	处理	定植 1 a			定植 3 a		
		L_p /株	L_r /%	P_e /%	L_p /株	L_r /%	P_e /%
榆林米脂	NPA	24.0±2.6	8.0±0.9	60.6±4.0	25.7±3.0	8.6±1.0	83.5±2.2
	RPA	56.3±4.5	18.8±1.5	6.6±12.8	58.3±5.0	19.5±1.7	62.9±2.6
	CK	61.3±3.2	20.4±1.1	—	157.0±4.0	52.4±1.3	—
延安宝塔	NPA	21.3±2.7	7.1±0.9	61.8±5.0	23.3±2.7	7.8±0.9	83.5±2.1
	RPA	48.3±5.9	16.1±2.0	12.2±14.4	52.7±5.5	17.6±1.8	63.0±3.5
	CK	56.0±2.6	18.6±0.9	—	142.3±3.5	47.4±1.2	—
宝鸡麟游	NPA	21.3±7.0	7.1±2.3	55.7±12.5	21.3±7.0	7.1±2.3	75.6±9.1
	RPA	31.3±7.8	10.5±2.6	34.3±12.3	32.7±6.4	10.9±2.1	63.1±8.8
	CK	48.0±9.5	16.0±3.2	—	90.3±4.2	30.1±1.4	—

注: L_p —致死株数; L_r —致死率; P_e —预防效果,表 2、表 3 同。

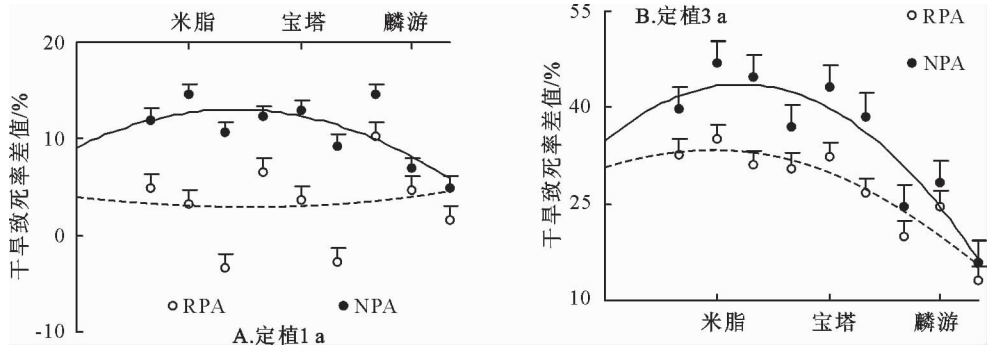


图 1 2 种抗逆剂蘸浆造林对侧柏苗木抗旱效果比较

Fig. 1 Comparison of drought-resistant effects of arborvitae to dip in root with two repellents slurry

NPA 与 RPA 相比,定植当年 NPA 处理干旱致死率比 RPA 依次降低了 $10.8\% \pm 2.0\%$ 、 $9.0\% \pm 1.8\%$ 和 $3.4\% \pm 0.5\%$ 。其中,米脂点差异极显著($p=0.003$),宝塔点差异显著($p=0.014$),麟游点差异不显著($F=0.929$, $p=0.390$)。预防效果提高 $53.93\% \pm 12.8\%$ 、 $49.6\% \pm 12.0\%$ 和 $41.7\% \pm 1.0\%$,平均提高 $41.7\% \pm 7.2\%$,药剂间差异极显著($p=0.000$;图 2A)。定植 3 a 时,NPA 比 RPA 降低了 $10.9\% \pm 2.0\%$ 、 $9.8\% \pm 1.7\%$ 和 $3.8\% \pm 0.5\%$ 。其中,米脂和宝塔点两者差异极显著($p<0.01$),麟游点无显著差异($p=0.297$)。预防效果

依次增加 $20.6\% \pm 3.4\%$ 、 $20.5\% \pm 3.3\%$ 和 $12.5\% \pm 1.1\%$,均值为 $17.9\% \pm 1.9\%$;药剂间差异十分显著($p=0.001$;图 1B)。

定植当年和定植 3 a 相比,米脂 NPA 处理定植当年预防效果比 3 a 低 $23.0\% \pm 2.0\%$,差异极显著($p=0.008$);RPA 降低了 $56.3\% \pm 2.0\%$,差异显著($p=0.013$)。宝塔点 NPA 相差 21.7 ,差异显著($p=0.016$),RPA 相差 $50.8\% \pm 10.9\%$,差异显著($p=0.027$)。麟游点前者相差 $19.9\% \pm 5.2\%$,差异不显著($p=0.268$);后者相差 $28.8\% \pm 6.8\%$,差异也不显著($p=0.129$;图 1)。

2.2 对鼯鼠危害的控制作用

从对照侧柏鼯鼠致死率分析, 试验地从北向南依次加重, 其中陕北 2 个试验点被害程度基本相同。定植当年的鼯鼠致死率依次为 $2.9\% \pm 0.1\%$ 、 $2.9\% \pm 0.1\%$ 和 $5.0\% \pm 0.8\%$; 其中米脂与宝塔点

无差异 ($p=1.000$), 陕北 2 地与麟游点差异显著 ($p=0.050$), 定植 3 a 为 $6.9\% \pm 0.1\%$ 、 $7.0\% \pm 0.2\%$ 和 $11.1\% \pm 0.7\%$; 其中米脂与宝塔点差异不显著 ($p=0.643$), 米脂和宝塔与麟游点差异极显著 ($p<0.01$; 表 2、图 2A)。

表 2 2 种抗逆剂蘸浆造林对侧柏鼯鼠致死预防效果比较

Table 2 Comparison of lethal preventive effect by zokors to dip in arborvitae with repellents

试验地点	处理	定植 1 a			定植 3 a		
		<i>Lp</i> /株	<i>Lr</i> /%	<i>Pe</i> /%	<i>Lp</i> /株	<i>Lr</i> /%	<i>Pe</i> /%
榆林米脂	NPA	0.0±0.0	0.0±0.0	100.0±0.0	2.3±0.7	0.8±0.2	88.8±3.1
	RPA	0.0±0.0	0.0±0.0	100.0±0.0	5.0±0.6	1.7±0.2	75.9±2.5
	CK	8.7±0.3	2.9±0.1	—	20.7±0.3	6.9±0.1	—
延安宝塔	NPA	0.3±0.3	0.1±0.1	96.3±3.7	1.0±0.6	0.3±0.2	95.3±2.8
	RPA	0.7±0.3	0.2±0.1	92.6±3.7	3.7±0.7	1.2±0.2	82.7±2.7
	CK	8.7±0.3	2.9±0.1	—	21.0±0.6	7.0±0.2	—
宝鸡麟游	NPA	1.0±0.6	0.3±0.2	92.5±3.9	1.0±0.0	0.3±0.0	97.0±0.2
	RPA	2.0±0.6	0.7±0.2	84.7±6.4	4.7±1.8	1.6±0.6	86.3±4.5
	CK	15.0±2.3	5.0±0.8	—	33.3±2.0	11.1±0.7	—

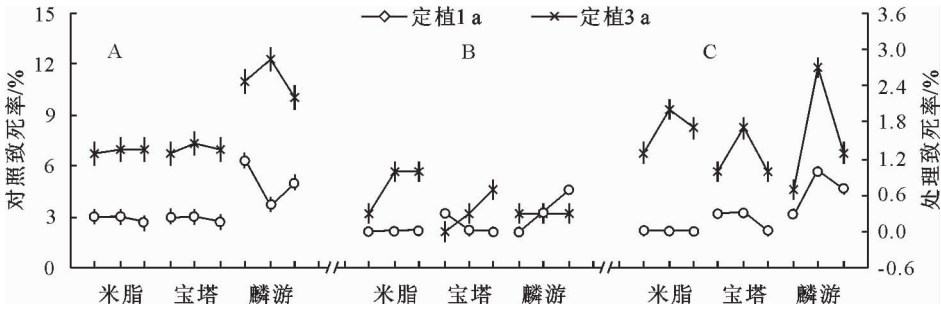


图 2 NPA 和 RPA 蘸浆造林对侧柏鼯鼠致死率的影响

Fig. 2 Influence of dipping roots with NPA and RPA slurry on seedling mortality caused by zokor

从米脂到麟游, NAP 处理的侧柏鼯鼠致死率逐渐减低。其中, 定植当年比对照依次降低了 $2.8\% \pm 0.1\%$ 、 $2.8\% \pm 0.1\%$ 和 $4.7\% \pm 0.9\%$ 。致死率试验点间差异不显著 ($p=0.257$), 而与对照差异极显著 ($p<0.01$; 表 2、图 2B)。预防效果也依次降低, 为 $100.0\% \pm 0.0\%$ 、 $96.3\% \pm 3.7\%$ 和 $92.5\% \pm 3.9\%$, 试验点间差异不显著 ($p=0.309$; 表 2)。定植 3 a 时分别降低了 $6.1\% \pm 0.1\%$ 、 $6.7\% \pm 0.2\%$ 和 $10.8\% \pm 0.7\%$ 。试验点间差异不显著 ($p=0.200$), 而与对照差异极显著 ($p=0.000$; 表 2、图 2B)。预防效果逐渐提高, 分别为 $88.8\% \pm 3.1\%$ 、 $95.3\% \pm 2.8\%$ 和 $97.0\% \pm 0.2\%$, 点间差异不显著 ($p=0.110$; 表 2)。

定植当年, RPA 处理的鼯鼠致死率从北向南依次增加, 分别为 $0.0\% \pm 0.0\%$ 、 $0.2\% \pm 0.1\%$ 和 $0.7\% \pm 0.2\%$, 比对照依次降低了 $2.9\% \pm 0.1\%$ 、 $2.7\% \pm 0.0\%$ 和 $4.3\% \pm 1.0\%$ 。其中, 米脂与宝塔、宝塔与麟游点间差异不显著 ($p>0.05$), 米脂与麟游点间差异显著 ($F=10.811, p=0.030$); 各点的

处理与对照差异极显著 ($p<0.01$; 表 2、图 2C)。米脂、宝塔和麟游预防效果依次为 $100.0\% \pm 0.0\%$ 、 $92.6\% \pm 3.7\%$ 和 $84.7\% \pm 6.4\%$, 各点间差异均不显著 ($F=4.000, p=0.116$; 表 2)。RPA 处理定植 3 a 时的鼯鼠致死率从北向南依次为 $1.7\% \pm 0.2\%$ 、 $1.2\% \pm 0.2\%$ 和 $1.6\% \pm 0.6\%$, 比对照依次降低了 $5.2\% \pm 0.1\%$ 、 $5.8\% \pm 0.1\%$ 和 $9.5\% \pm 0.5\%$ 。各点差异均不显著 ($F=1.965, p=0.234$), 各试验点处理与对照差异均极显著 ($p<0.01$; 表 2、图 2C)。预防效果为 $75.9\% \pm 2.5\%$ 、 $82.7\% \pm 2.7\%$ 和 $86.3\% \pm 4.5\%$, 试验点间差异不显著 ($p=0.628$; 表 2)。

2 种药剂处理定植当年的侧柏鼯鼠致死率变化趋势相同, 从北向南依次下降, NPA 比 RPA 降低了 $0.0\% \pm 0.0\%$ 、 $0.1\% \pm 0.1\%$ 和 $0.3\% \pm 0.2\%$ 。其中, 米脂点两者无差异, 宝塔和麟游点差异不显著 ($p>0.05$)。预防效果依次降低, NPA 比 RPA 提高 $0.0\% \pm 0.0\%$ 、 $3.7\% \pm 3.7\%$ 和 $7.8\% \pm 5.4\%$ 。其中, 米脂点两者无差异, 宝塔和麟游点差异不显著

($p>0.05$)。定植 3 a 时两者鼯鼠致死率变化趋势相反,NPA 从北向南依次下降,RPA 呈南北高中间低,前者比后者分别降低了 $0.9\%\pm0.1\%$ 、 $0.9\%\pm0.3\%$ 和 $1.3\%\pm0.6\%$ 。其中,米脂和宝塔点两者致死率差异相同,均达显著水平,而麟游点两者差异不显著($p=0.099$)。预防效果依次增加,NPA 比 RPA 高 $12.9\%\pm1.7\%$ 、 $12.7\%\pm4.0\%$ 和 $10.7\%\pm4.6\%$ 。其中,米脂和宝塔点差异显著($p<0.05$),麟游点差异不显著($p=0.077$;表 2、图 2)。

对照定植当年侧柏鼯鼠致死率比定植 3 a 减少 $4.0\%\pm0.2\%$ 、 $4.1\%\pm0.2\%$ 和 $6.1\%\pm1.3\%$ 。各点两者差异极显著($p<0.01$)。NPA 处理定植当年与定植 3 a 相差 $0.7\%\pm0.0\%$ 、 $0.2\%\pm0.3\%$ 和 $-0.0\%\pm0.2\%$ 。两者差异均不显著($p>0.05$)。RPA 处理定植当年与定植 3 a 差值为 $1.7\%\pm0.2\%$ 、 $1.0\%\pm0.2\%$ 和 $0.9\%\pm0.4\%$ 。其中,米脂点差异极显著($p=0.001$),宝塔点差异显著($p=0.015$),麟游点差异不显著($p=0.224$;表 2、图 2)。NPA 处理定植当年预防效果与定植 3 a 的相差 $11.2\%\pm3.1\%$ 、 $1.0\%\pm6.2\%$ 和 $-4.4\%\pm3.9\%$ 。其中,米脂点差异显著($p=0.022$),宝塔与麟游点差异不显著($p>0.05$;表 2)。RPA 处理定植当年预防效果比定植 3 a 高 $24.2\%\pm2.8\%$ 、 $9.9\%\pm3.1\%$ 和 $-1.6\%\pm3.9\%$ 。其中,米脂点差异极显著($p=0.001$),宝塔与麟游点差异不显著($p>0.05$;表 2)。

2.3 对地面害鼠的控制作用

试验区林地地面害鼠主要包括草兔、达乌尔鼠兔(*Ochotona daurica*)和田鼠亚科(Microtinae)的一些种类。其中,以草兔危害最重,常造成截干和啃皮危害,严重时导致造林失败,尤其是对油松、侧柏等针叶林危害更甚。试验地从北向南,对照区草兔危害对侧柏致死率逐渐提高。定植当年依次为 $4.3\%\pm0.3\%$ 、 $5.8\%\pm0.3\%$ 和 $6.7\%\pm0.5\%$,差异显著($p<0.05$);宝塔与麟游点差异不显著($p=$

0.204)。定植 3 a 致死率分别为 $10.7\%\pm0.3\%$ 、 $13.6\%\pm0.3\%$ 和 $21.3\%\pm1.5\%$ 。差异均极显著($p<0.01$;表 3、图 3A)。

米脂和宝塔试验点 NPA 处理区,定植当年没有发现草兔危害致死的侧柏,防治效果 100%。麟游点 NPA 处理区致死率仅为 $0.6\%\pm0.1\%$,比对照降低 $6.1\%\pm0.4\%$,两者差异极显著($p=0.000$),预防效果 $91.8\%\pm1.1\%$,比米脂和宝塔点降低了 $8.2\%\pm1.1\%$,差异极显著($p=0.002$)。定植 3 a 时,NPA 处理草兔危害致死率从北向南依次降低,但地区间差异不显著($p=0.349$)。比对照致死率依次降低了 $9.4\%\pm0.3\%$ 、 $12.8\%\pm0.3\%$ 和 $20.8\%\pm1.6\%$,与对照差异极显著($p=0.000$)。预防效果为 $88.9\%\pm5.6\%$ 、 $94.3\%\pm2.1\%$ 和 $97.3\%\pm0.7\%$ 。其中,米脂点比宝塔和麟游点预防效果降低了 $5.4\%\pm4.0\%$ 和 $8.4\%\pm5.8\%$,差异不显著($p>0.05$),宝塔与麟游点相差 $3.0\%\pm2.0\%$,差异不显著($p=0.249$;表 3、图 3B)。

米脂点 RPA 处理区定植当年也没有草兔危害致死的侧柏,预防效果 100%。宝塔和麟游点处理区致死率仅为 $0.4\%\pm0.1\%$ 和 $0.9\%\pm0.1\%$,与对照差异极显著($p=0.000$);其中,米脂与宝塔点差异显著($p=0.017$),米脂与麟游点差异极显著($p=0.001$),宝塔与麟游点差异显著($p=0.047$;表 3)。预防效果依次为 $100.0\%\pm0.0\%$ 、 $92.4\%\pm1.5\%$ 和 $86.3\%\pm2.5\%$ 。其中,米脂点预防效果比宝塔和麟游点分别高 $7.6\%\pm1.5\%$ 和 $13.7\%\pm2.5\%$,差异极显著($p<0.01$);宝塔比麟游点差异不显著($p=0.103$;表 3、图 3C)。定植 3 a 时,RPA 处理区侧柏草兔致死率依次为 $2.4\%\pm0.9\%$ 、 $2.1\%\pm0.6\%$ 和 $2.6\%\pm0.6\%$,与对照差异均极显著($p<0.01$);地区间差异不显著($p=0.900$;表 3)。预防效果为 $77.6\%\pm8.1\%$ 、 $84.6\%\pm4.2\%$ 和 $88.3\%\pm1.9\%$,地区间差异不显著($p>0.05$;表 3、图 3C)。

表 3 2 种抗逆剂蘸浆造林对侧柏草兔致死预防效果比较

试验地点	处理	定植 1 a			定植 3 a		
		<i>Lp</i> /株	<i>Lr</i> /%	<i>Pe</i> /%	<i>Lp</i> /株	<i>Lr</i> /%	<i>Pe</i> /%
榆林米脂	NPA	0.0±0.0	0.0±0.0	100.0±0.0	3.7±1.9	1.2±0.6	88.9±5.6
	RPA	0.0±0.0	0.0±0.0	100.0±0.0	7.3±2.7	2.4±0.9	77.6±8.1
	CK	13.0±1.0	4.3±0.3	—	32.0±1.0	10.7±0.3	—
延安宝塔	NPA	0.0±0.0	0.0±0.0	100.0±0.0	2.3±0.9	0.8±0.3	94.3±2.1
	RPA	1.3±0.3	0.4±0.1	92.4±1.5	6.3±1.8	2.1±0.6	84.6±4.2
	CK	17.3±0.9	5.8±0.3	—	40.7±0.9	13.6±0.3	—
宝鸡麟游	NPA	1.7±0.3	0.6±0.1	91.8±1.1	1.7±0.3	0.6±0.1	97.3±0.7
	RPA	2.7±0.3	0.9±0.1	86.3±2.5	7.7±1.8	2.6±0.6	88.3±1.9
	CK	20.0±1.5	6.7±0.5	—	64.0±4.4	21.3±1.5	—

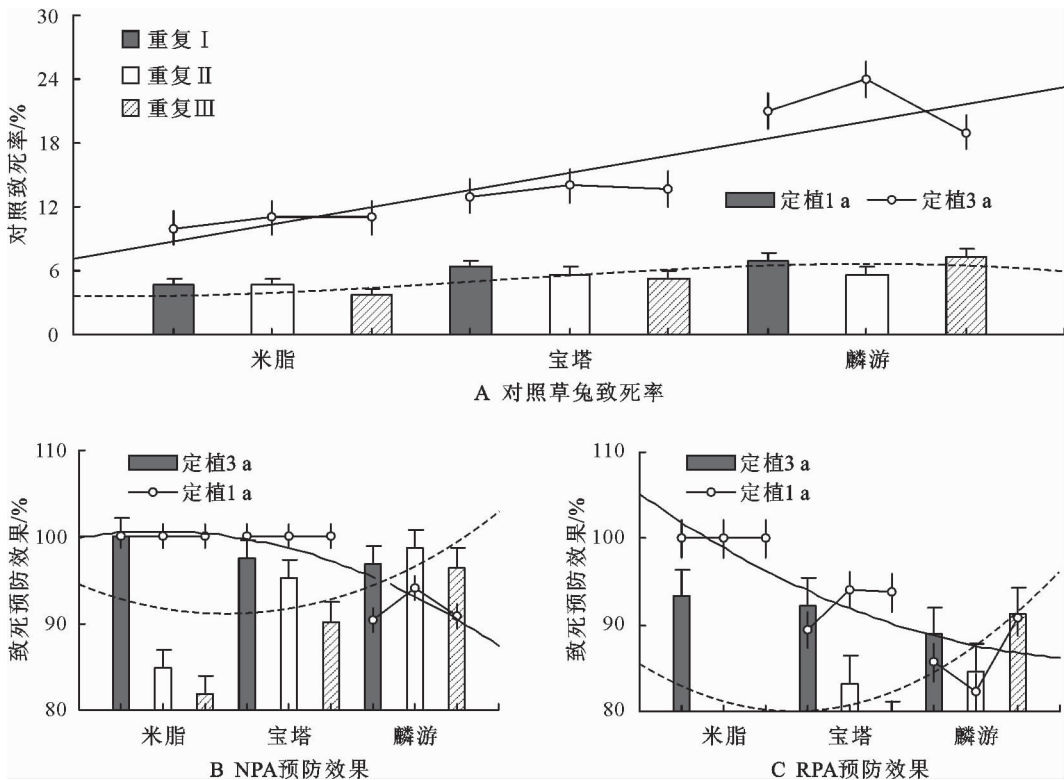


图 3 NPA 和 RPA 蘸浆造林对侧柏草兔致死率的影响

Fig. 3 Influence to dip in root with NPA and RPA slurry on cape hare damaged cause arborvitae mortality

定植当年,米脂试验点 NPA 与 RPA 处理区均无草兔危害致死的侧柏。宝塔点和麟游点 RPA 试验区致死率比 NPA 试验区高 $0.4\% \pm 0.1\%$ 和 $0.3\% \pm 0.2\%$, 差异极显著 ($p=0.000$)。各地区 NPA 的预防效果比 RPA 高 $0.0\% \pm 0.0\%$ 、 $7.6\% \pm 1.5\%$ 和 $5.5\% \pm 3.4\%$ 。其中,米脂点两者预防效果无差异,宝塔和麟游点的 2 种药剂预防效果差异极显著 ($p=0.000$; 表 6、图 3B、图 3C)。定植 3 a 时, RPA 处理致死率比 NPA 高 $1.2\% \pm 0.4\%$ 、 $1.3\% \pm 0.3\%$ 和 $2.0\% \pm 0.7\%$ 。其中,米脂点 NPA 与 RPA 差异不显著 ($p=0.155$),宝塔和麟游点的差异极显著 ($p=0.000$)。NPA 预防效果比 RPA 依次提高 $11.3\% \pm 3.5\%$ 、 $9.7\% \pm 2.3\%$ 和 $9.0\% \pm 2.6\%$ 。其中,米脂点 NPA 与 RPA 差异不显著 ($F=1.323, p=0.314$),宝塔和麟游点的差异极显著 ($p=0.000$; 表 3、图 3B、图 3C)。

2.4 其他致死因素对试验效果的影响

引起林木致死的其他原因很多,该试验主要分析人为活动对林木的践踏、碾压以及水土流失造成的林木冲毁、掩埋等。这些因素受人类活动、土壤、地形影响很大,具有很大的随机性、偶发性和区域性,对试验结果影响很大。其影响作用可用均值变异率和影响系数表述。

米脂试验点对照区其他因素定植当年对侧柏致

死率比药剂处理区低,而定植 3 a 的比 NPA 的高,比 RPA 处理区的低。对照区定植当年的侧柏致死率为 $1.1\% \pm 0.3\%$, 比 NPA 和 RPA 处理区低 $0.1\% \pm 0.8\%$ 和 $0.6\% \pm 1.0\%$, 但差异均不显著 ($p>0.05$); 对照区定植 3 a 的致死率为 $1.3\% \pm 0.3\%$, 比 NPA 处理区低 $0.1\% \pm 0.8\%$, 比 RPA 处理区低 $0.1\% \pm 0.9\%$, 但差异也均不显著 ($p>0.05$)。宝塔试验点对照区致死率比药剂处理区低。其中,对照区定植当年的致死率为 $1.3\% \pm 0.2\%$, 均低 $0.4\% \pm 0.6\%$ ($p>0.05$); 对照区定植 3 a 致死率为 $1.8\% \pm 0.3\%$, 低 $0.8\% \pm 0.9\%$ ($p>0.05$)。麟游试验点对照区的致死率均比药剂处理区高。其中,定植当年对照区致死率为 $0.7\% \pm 0.2\%$, 比 NPA 和 RPA 处理高 $0.3\% \pm 0.2\%$ 和 $0.4\% \pm 0.3\%$, 差异不显著 ($p>0.05$); 定植 3 a 对照区致死率为 $0.8\% \pm 0.3\%$, 比 NPA 和 RPA 处理分别高 $0.2\% \pm 0.2\%$ 和 $0.1\% \pm 0.4\%$, 差异也均不显著 ($p>0.05$; 表 4)。

2.4.1 对干旱致死预防效果的影响 剔除其他因素干扰,米脂试验点 NPA 处理定植当年和 3 a 对干旱致死率的预防效果为 $60.8\% \pm 4.1\%$ 和 $83.6\% \pm 2.2\%$, 比其他因素干扰下的预防效果高 $3.6\% \pm 3.1\%$ 和 $2.0\% \pm 1.5\%$ ($p>0.05$); 其均值变异率为 6.251 和 2.42, 影响系数为 37.51 和 35.84。定植

当年和 3 a RPA 的预防效果为 $6.8\% \pm 12.7\%$ 和 $62.9\% \pm 2.6\%$, 比其他因素干扰下的预防效果高 $3.3\% \pm 4.2\%$ 和 $2.5\% \pm 1.7\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 91.45 和 4.13, 影响系数为 4.88 和 18.63。宝塔试验点 NPA 的预防效果为 $61.8\% \pm 5.0\%$ 和 $83.5\% \pm 2.2\%$, 比其他因素干扰预防效果高 $6.2\% \pm 2.6\%$ 和 $4.0\% \pm 1.3\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 11.15 和 5.02, 影响系数为 10.70 和 20.36。RPA 的预防效果分别为 $12.5\% \pm 14.4\%$ 和 $63.0\% \pm 3.6\%$, 比干扰下的高 $4.6\% \pm 4.3\%$ 和 $4.0\% \pm 1.7\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 59.26 和 6.72, 影响系数为 10.70 和 13.30。麟游试验点 NPA 定植

当年和 3 a 的预防效果为 $55.7\% \pm 12.5\%$ 和 $75.6\% \pm 9.1\%$, 比其他因素干扰的高 $0.4\% \pm 0.2\%$ 和 $0.5\% \pm 0.2\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 -0.77 和 0.72 , 影响系数为 0.72 和 1.48 。RPA 定植当年和 3 a 的预防效果为 $34.6\% \pm 12.2\%$ 和 $63.1\% \pm 8.8\%$, 比干扰下高 $-0.1 \pm 1.0\%$ 和 $1.3 \pm 0.8\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 0.22 和 2.07 , 影响系数为 0.84 和 4.05 (图 4A)。说明其他因素对米脂试验点的干旱致死预防效果影响较大, 其中定植当年的均值变异率大于统计学 5% 标准, 结果分析时必须消除其他因素的干扰。而其他因素对麟游试验点的测定结果几乎无影响, 可以忽略。

表 4 2 种抗逆剂蘸茎造林对其他因素致死侧柏预防效果比较

Table 4 Comparison of lethal preventive effect by other factors to dip arborvitae roots with repellents

试验地点	处理	定植 1 a			定植 3 a		
		<i>Lp</i> /株	<i>Lr</i> /%	<i>Pe</i> /%	<i>Lp</i> /株	<i>Lr</i> /%	<i>Pe</i> /%
榆林米脂	NPA	3.7±2.2	1.2±0.7	-18.9±73.9	3.7±2.2	1.2±0.7	-11.1±77.8
	RPA	5.0±2.3	1.7±0.8	-90.0±86.2	5.3±2.3	1.8±0.8	-72.2±83.0
	CK	3.3±0.9	1.1±0.3	—	4.0±1.0	1.3±0.3	—
延安宝塔	NPA	5.3±1.9	1.8±0.6	-35.0±45.4	6.7±1.8	2.2±0.6	-28.6±36.0
	RPA	6.3±2.4	2.1±0.8	-67.2±62.1	7.7±2.2	2.6±0.7	-53.8±48.7
	CK	4.0±0.6	1.3±0.2	—	5.3±0.9	1.8±0.3	—
宝鸡麟游	NPA	1.0±0.0	0.3±0.0	38.9±20.0	1.0±0.0	0.3±0.0	41.7±22.0
	RPA	1.3±0.3	0.4±0.1	22.2±22.2	2.0±0.6	0.7±0.2	-33.3±83.3
	CK	2.0±0.6	0.7±0.2	—	2.3±0.9	0.8±0.3	—

2.4.2 对鼯鼠致死预防效果的影响 米脂试验点 NPA 定植当年和 3 a 对鼯鼠致死预防效果为 $100.0\% \pm 0.0\%$ 和 $88.8\% \pm 3.1\%$, 比其他因素干扰下的预防效果提高 $30.30\% \pm 18.2\%$ 和 $13.5\% \pm 10.3\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 43.51 和 18.05, 影响系数为 100.00 和 57.01。RPA 的预防效果为 $100.0\% \pm 0.0\%$ 和 $75.9\% \pm 2.5\%$, 提高 $44.0\% \pm 19.8\%$ 和 $18.60\% \pm 11.4\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 78.7 和 32.55, 影响系数为 100.00 和 72.34。宝塔试验点 NPA 预防效果为 $96.3\% \pm 3.7\%$ 和 $95.3 \pm 2.8\%$, 比干扰下提高 $40.6\% \pm 12.6\%$ 和 $24.7\% \pm 7.8\%$ ($p = 0.073, 0.015$); 均值变异率为 72.75 和 34.96, 影响系数为 77.33 和 48.21。RPA 的预防效果为 $92.6\% \pm 19.1\%$ 和 $82.7\% \pm 2.7\%$, 提高了 $48.0\% \pm 18.4\%$ 和 $26.2\% \pm 9.8\%$ ($F = 6.118, 9.049, p = 0.069, 0.040$); 均值变异率为 -107.81 和 -46.29 , 影响系数为 80.57 和 67.30。麟游试验点 NPA 预防效果为 $92.5\% \pm 4.1\%$ 和 $97.0\% \pm 0.2\%$, 提高了 $5.1\% \pm 0.2\%$ 和 $2.7\% \pm 0.2\%$ ($p = 0.419, 0.004$); 均值变异率为 5.861 和 2.81, 影响系数为 4.66 和 55.59。RPA 预防效果为 $84.7\% \pm 6.4\%$ 和 $86.3\% \pm 4.5\%$, 提高了 $5.3\% \pm 2.2\%$ 和

$4.8\% \pm 2.0\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 6.60 和 5.59, 影响系数为 52.35 和 45.65 (图 4B)。说明米脂和宝塔试验点的其他致死因素对 RPA 预防效果的影响大于对 NPA 的影响, 且其均值变异率大于 5%。统计分析时必须剔除其他因素的影响, 否则分析结论将严重背离实际情况。而麟游试验点其他因素对预防效果的影响相对较小, 但变化规律与米脂和宝塔试验点的相同。因其多数均值变异率绝对值 $> 5\%$, 所以结果统计时也应消除其他因素的干扰。

2.4.3 对侧柏草兔致死预防效果的影响 米脂点 NPA 处理对草兔致死预防效果为 $100.0\% \pm 0.0\%$ 和 $88.9\% \pm 5.6\%$, 比其他因素干扰下的预防效果提高 $21.8\% \pm 12.8\%$ 和 $9.4\% \pm 7.4\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 27.81 和 11.87, 影响系数为 100.00 和 196.25。RPA 预防效果为 $100.0\% \pm 0.0\%$ 和 $77.6\% \pm 8.1\%$, 比干扰下提高 $32.2\% \pm 14.1\%$ 和 $12.8\% \pm 8.5\%$ ($p > 0.05$); 均值变异率为 47.54 和 19.82, 影响系数为 100.00 和 145.35。宝塔试验点定植当年和定植 3 a NPA 的预防效果为 $100.0\% \pm 0.0\%$ 和 $94.3\% \pm 2.1\%$, 比其他干扰下的预防效果提高 $24.4\% \pm 7.4\%$ 和 $14.0\% \pm 4.3\%$ ($p < 0.01$); 均值变异率为 32.22 和 17.44, 影响系数为 100.00

和 20.67。RPA 的预防效果为 $92.5\% \pm 1.5\%$ 和 $84.6\% \pm 4.2\%$, 提高了 $27.9\% \pm 9.8\%$ 和 $15.2\% \pm 5.7\%$ ($p=0.070, 0.043$); 均值变异率为 73.17 和 21.92, 影响系数为 86.73 和 35.04。麟游试验点的 NPA 预防效果为 $91.8\% \pm 1.5\%$ 和 $97.3\% \pm 0.7\%$, 提高了 $3.9\% \pm 0.2\%$ 和 $1.4\% \pm 0.1\%$ ($p>0.05$); 均值变异率为 4.39 和 1.51, 影响系数为 13.21 和 13.44。RPA 的预防效果为 $86.3\% \pm 2.5\%$ 和 $88.3\% \pm 1.9\%$, 提高了 $4.6\% \pm 1.5\%$ 和

$2.6\% \pm 1.0\%$ ($p>0.05$); 均值变异率为 5.61 和 3.01, 影响系数为 6.32 和 9.78(图 4C)。说明其他因素对米脂和宝塔试验点的预防效果影响较大, 而且对 RPA 的影响大于对 NPA 的影响, 对定植当年的影响大于定植 3 a 的; 其均值变异率 $>5\%$, 结果分析时, 必须剔除其他因素的干扰。其他因素对麟游试验点的试验结果影响相对较小, 其均值变异率小于 5% , 结果统计时可以忽略其他因素的干扰。

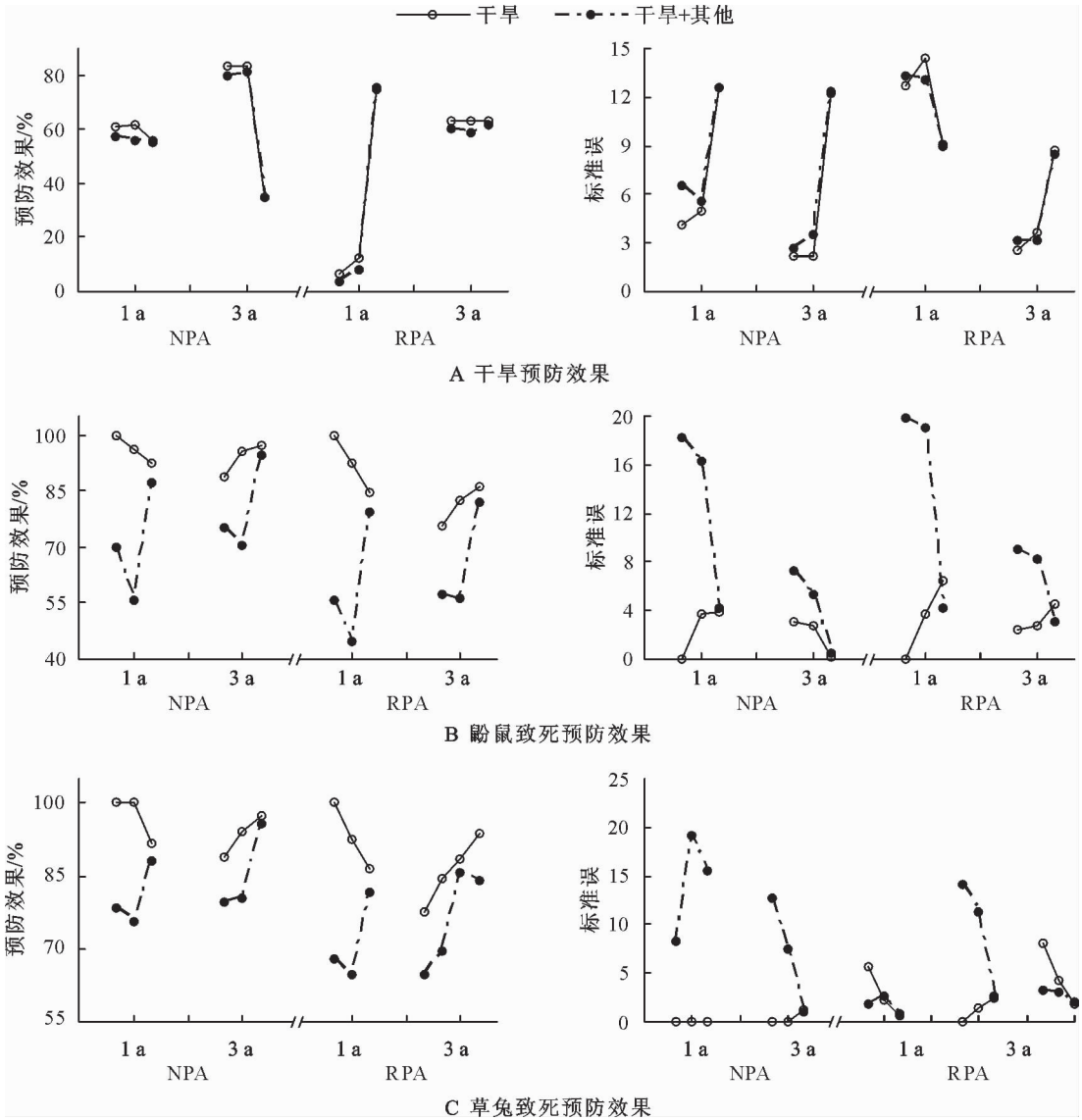


图 4 其他致死因素对侧柏预防效果的影响

Fig. 4 The influence of other factors on the lethal preventive effect of arborvitae

3 结论与讨论

3.1 对林木干旱死亡的作用

干旱是侧柏幼苗致死的主要原因, 从米脂到麟游 3 个试验地, 定植当年对照区的侧柏干旱致死率逐渐降低, 依次为 $20.4\% \pm 1.1\%$ 、 $18.6\% \pm 0.9\%$ 和 $16.0\% \pm 3.2\%$, 分别占当年总致死率的 71.1%

$\pm 0.8\%$ 、 $65.1\% \pm 0.6\%$ 和 $55.6\% \pm 3.0\%$ 。对照定植 3 a 的干旱致死率为 $52.4\% \pm 1.3\%$ 、 $47.4\% \pm 1.2\%$ 和 $30.1\% \pm 1.4\%$, 分别占总致死率的 $73.5\% \pm 0.3\%$ 、 $68.0\% \pm 0.2\%$ 和 $47.6\% \pm 1.0\%$ 。使用 RPA 和 NPA 蘸浆造林能增强苗木的抗旱能力, 降低苗木的干旱致死率, 且 NPA 的抗旱预防效果明显强于 RPA ($p<0.01$)。

3.2 对鼯鼠危害的控制作用

鼯鼠对侧柏的致死率比油松低,对照侧柏鼯鼠致死率从北向南依次加重。定植当年致死率依次为 $2.9\%\pm0.1\%$ 、 $2.9\%\pm0.1\%$ 和 $5.0\%\pm0.8\%$,占当年总致死率的 $10.1\%\pm0.2\%$ 、 $10.1\%\pm0.2\%$ 和 $17.6\%\pm0.2\%$ 。定植3 a为 $6.9\%\pm0.1\%$ 、 $7.0\%\pm0.2\%$ 和 $11.1\%\pm0.7\%$,分别占总致死率的 $9.7\%\pm0.1\%$ 、 $10.0\%\pm0.0\%$ 和 $17.5\%\pm0.1\%$ 。使用RPA和NPA可有效预防鼯鼠危害,且随着从南向北年降水量的减少,NPR与RPA的预防效果差异逐渐增大。

3.3 对地面害鼠的控制作用

草兔对侧柏的致死作用比鼯鼠严重,是侧柏幼树致死的第二大因素。草兔致死率从北向南依次增加,预防效果逐次降低,但地区间差异不显著。对照区定植当年致死率分别为 $4.3\%\pm0.3\%$ 、 $5.8\%\pm0.3\%$ 和 $6.7\%\pm0.5\%$,占当年总致死率的 $15.0\%\pm0.3\%$ 、 $20.2\%\pm2.0\%$ 和 $24.2\%\pm2.3\%$ 。其中,NPA预防效果依次为 $100.0\%\pm0.0\%$ 、 $100.0\%\pm0.0\%$ 和 $91.8\%\pm1.1\%$,比RPA分别提高了 $0.0\%\pm0.0\%$ 、 $7.6\%\pm1.5\%$ 和 $5.5\%\pm3.4\%$;其中,宝塔和麟游点的两者预防效果差异极显著($p=0.000$)。定植3 a时对照致死率依次为 $10.7\%\pm0.3\%$ 、 $13.6\%\pm0.3\%$ 和 $21.3\%\pm1.5\%$,占总致死率的 $15.0\%\pm0.1\%$ 、 $19.4\%\pm0.1\%$ 和 $33.6\%\pm0.5\%$ 。NPA的预防效果为 $88.9\%\pm5.6\%$ 、 $94.3\%\pm2.1\%$ 和 $97.3\%\pm0.7\%$,比RPA提高了 $11.3\%\pm3.5\%$ 、 $9.7\%\pm2.3\%$ 和 $9.0\%\pm2.6\%$;其中,米脂点两者差异不显著($p=0.314$),宝塔和麟游点差异极显著($p=0.000$)。说明使用RPA和NPA也可有效的预防草兔危害,但随着从南向北年降水量的减少,NPR与RPA的预防效果差异逐渐缩小。

3.4 其他致死因素对试验效果的影响

其他致死因素具有随机性、偶发性和区域性的特点。这些致死因素的干扰,会造出预防效果测定值小于实际值,但不同致死因素预防效果的变化程度差异很大。

3.4.1 对干旱致死预防效果的作用 其他因素对干旱预防效果作用从北向南逐次减弱,对麟游点的试验结果几乎无影响;且对RPA作用强于NPA。定植当年的米脂和宝塔以及定植3 a的宝塔点的预防效果均值变异率均超过统计允许的5%,尤其是定植当年的RPA,数据处理时有必要剔除其他因素干扰。

3.4.2 对鼯鼠致死预防效果的作用 其他因素对鼯鼠致死预防效果作用相对较大,从北向南影响逐

次递减。除定植3 a麟游点的NPA外,其余的预防效果均值变异率均超过了统计允许的5%要求,尤其是米脂和宝塔点,其均值变异率远远超过了5%的统计允许范围。统计分析时必须剔除其他因素的干扰,否则分析结论将产生严重的奇异。

3.4.3 对草兔致死预防效果的作用 其他因素对米脂和宝塔点的草兔致死预防效果的影响相对较大,其均值变异率 $>5\%$,结果分析时必须剔除其他因素的干扰。而对麟游点的作用相对较小,其均值变异率 $<5\%$,数据统计时可以忽略。

参考文献:

[1] 林开敏,洪伟,俞新妥,等. 不同抚育技术对杉木幼林生长及群体结构的影响[J]. 林业科学,2001,37(6):26-33.
LIN K M, HONG W, YU X T, *et al.* The effect of tending methods on growth and population structure of young Chinese fir plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001, 37(6): 26-33. (in Chinese)

[2] 王哈生. 干旱条件下人工幼林自然化经营的生长效果[J]. 中国水土保持,2011(1):46-48.

[3] 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,2004:527-540.

[4] 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,2005:197-234.

[5] 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)

[6] 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 sostenu-to controlling for rodents[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(1):49-52. (in Chinese)

[7] 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)

[8] 韩崇选,杨学军,胡忠朗,等. 多效抗旱驱鼠剂的苗木处理方法与效果[J]. 西北林学院学报,2001,16(4):41-45.
HAN C X, YANG X J, HU Z L, *et al.* Effect and seedling treatment method of RPA[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(4):41-45. (in Chinese)

[9] 杨学军,王显车,吴凤霞,等. 多效抗旱驱鼠剂(RPA)的研制与应用[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(4):37-40.
YANG X J, WANG X C, WU F X, *et al.* Study on the development and application of RPA[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2004, 32(4): 37-40. (in Chinese)

[10] 杨学军,韩崇选,王明春,等. 多效抗旱驱鼠剂在飞播造林中的应用研究[J]. 林业科学研究,2002,15(5):609-613.
YANG X J, HAN C X, WANG M C, *et al.* Study on the application of RPA in aerial seeding[J]. Forest Research, 2002, 15(5):609-613. (in Chinese)

[11] 韩崇选,杨学军,王明春,等. 多效抗旱驱鼠剂的抗旱促长作用研究[J]. 西北植物学报,2002,22(5):1150-1157.
HAN C X, YANG X J, WANG M C, *et al.* Study on the action of fight drought and promoting growth of RPA [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2002, 22 (5): 1150-1157. (in Chinese)

[12] 韩崇选,杨学军,王明春,等. 多效抗旱驱鼠剂的抗旱促长作用机理研究[J]. 西北林学院学报,2003,18(4):96-99.
HAN C X, YANG X J, WANG M C, *et al.* A study on the mechanisms of drought resistance and growth promotion of RPA [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(4):96-99. (in Chinese)

[13] GRANT R S, STEVEN B, PETER R B, *et al.* Impacts of rodent outbreaks on food security in Asia[J]. Wildlife Research, 2010, 37(5):355-359.

[14] MIAH M D, REHMAN M L, AHSAN M F. Assessment of crop damage by wildlife in Chunati Wilklife Sanctuary[J]. Balgladesh Tigerpaper, 2001, 28(4):22-28.

[15] KIMBALL B A, NOLTE D L, PERRY K B, *et al.* Hydrolyzed casein reduces browsing of trees and shrubs by white tailed deer[J]. Hort Science, 2005, 40(6):1810-1814.

[16] AVERY M L, TILLMAN E A, LAUKERT C C. Evaluation of chemical repellents for reducing crop damage by Dickcissels in Venezuela[J]. International Journal of Pest Management, 2001, 47(4):311-314.

[17] JOHNSTON J J, GOLDADE D A, CHIPMAN R B. Capsaicin migration through maple sap collection tubing[J]. Crop Protection, 2002, 21:1109-1112.

[18] KIDD H. Wildlife management in Australia[J]. Pesticide Outlook, 2002, 13(6):249.

[19] 张希金,张亚光. 多效复合剂应用效果调查[J]. 辽宁林业科技,2001(3):19-20.

[20] 韩崇选,崔迅,张刚龙,等. 林地鼯鼠发生规律与林分郁闭度的模型分析[J]. 西北林学院学报,2007,22 (5):94-100.
HAN C X, CUI X, ZHANG G L, *et al.* Model analysis of the outbreak regularity of zokor and the shade density[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22 (5):94-100. (in Chinese)

[21] 辛晓辉,董晓波,杨泽春,等. 黄土高原次改林地林下植被与鼯鼠种群结构的关系[J]. 西北林学院学报,2009,24(3):118-125.
XIN X H, DONG X B, YANG Z C, *et al.* Relationship between population structure of zokor and under-herbosa in the improved secondary forests on the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009,24(3):118-125. (in Chinese)

[22] 郎杏茹,王培新,韩崇选,等. 黄土高原次改林地林下植物与鼯鼠繁殖的关系[J]. 西北林学院学报,2007,22(6):78-84.
LANG X R, WANG P X, HAN C X, *et al.* Study on the relation between reproduction of zokor and under-herbosa in the improved secondary forests on the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22 (6):78-84. (in Chinese)

[23] 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]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2004, 34(12):52-56. (in Chinese)

[24] 杨静莉,张春美,李继光,等. 兔害防治措施及评价[J]. 中国森林病虫,2004,23(3):30-32.
YANG J L, ZHANG C M, LI J G, *et al.* Control measures against rabbit pest and its evaluation[J]. Forest Pest and Disease, 2004, 23(3):30-32. (in Chinese)

[25] 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)