

# 植物抗逆剂蘸浆造林经济效益评价(Ⅲ) ——药剂效益估算

张霞<sup>1,2</sup>, 韩崇选<sup>1</sup>, 党齐域<sup>3</sup>, 王培新<sup>4</sup>, 孟惠荣<sup>3</sup>, 张芳宝<sup>5</sup>,  
李建国<sup>6</sup>, 王明春<sup>1</sup>, 杨清娥<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 宁夏防沙治沙职业技术学院, 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. 陕西省咸阳市职业技术学院, 陕西 咸阳 712000)

**摘要:**准确估算药剂蘸浆造林经济效益是制定林木鼠(兔)害治理和蘸浆造林方案的前提。为了估算纳米型植物抗逆剂(NPA)蘸浆造林的经济效益,以多效抗旱驱鼠剂(RPA)为参照进行了异地蘸浆造林试验。在造林成本估算和林木产值分析的基础上,采用效益评价方法,结合林木害鼠(兔)治理特性,进行了药剂蘸浆造林经济效益研究。结果表明,药剂效益包括林木产值增量和经济损失减少量,可用总效益、净效益、纯效益和净效益现值等指标估算;同时,可用贡献率指标分析药剂效益构成。总效益、净效益和纯效益 NPA 处理>RPA 处理,油松>侧柏,地区间差异明显,具有显著的时间滞后性和增长性。药剂干旱预防作用对总效益贡献最大,鼢鼠预防作用是油松总效益贡献的主要因素,草兔预防作用对侧柏总效益贡献较大。

**关键词:**植物抗逆剂,蘸浆造林,投资分析,经济效益

中图分类号:S764.5

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)02-0149-11

## Estimation on the Economic Benefit of Afforestation by Dipping the Seedling Roots into Slurry with Plant Stress-resistance Agents (Ⅲ): Estimation of the Benefits from Chemical Agents

ZHANG Xia<sup>1,2</sup>, HAN Chong-xuan<sup>1</sup>, DANG Qi-yu<sup>3</sup>, WANG Bei-xin<sup>4</sup>, MENG Hui-rong<sup>3</sup>,  
ZHANG Fang-bao<sup>5</sup>, LI Jian-guo<sup>6</sup>, WANG Ming-chun<sup>1</sup>, YANG Qing-ge<sup>1</sup>

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

**Abstract:** Dipping the seedling roots into slurry which contains the stress resistant chemical agents is an effective way in afforestation. In our previous study, we carried out the cost accounting of this afforestation method. In this paper, we estimated the economic benefits from the application of chemical agents. The economic benefits from the chemical agents included the value of the increment of forest and the value of the losses prevented by the chemicals. The benefits could be estimated by total benefits, net benefits, pure benefits, and current value of net benefits. The composition of the benefits could be analyzed by the index of contribution rate. The results demonstrated that the total profit, net benefit and benefit of NPA >

收稿日期:2014-01-14 修回日期:2013-05-06

基金项目:国家林业局重点项目(2012-02);国家林业局推广项目([2010]41)。

作者简介:张霞,女,副教授,研究方向:森林保护。E-mail: nxzhangx@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

RPA, benefits from planting *Pinus tabulaeformis* > *Platycladus orientalis*. Significant differences in agent benefits were observed among different locations, and the benefits exhibited distinct features of time-lag and incremental effect. The effect of drought prevention of the application of chemical agents contributed mostly to the total benefits. Zokor prevention effect occupied the dominantly in *Pinus. tabulaeformis* afforestation. Likely, *Lepus capensis* prevention effects contributed mostly in on *Platycladus orientalis* afforestation.

**Key words:** plant anti-stressy agent; slurry dipping afforestation; investment analysis; economic benefit

经济效益评估是一个古老而方兴未艾的主题,评价体系不断完善,被广泛应用于各行各业<sup>[1-2]</sup>。在农林生产中也广泛采用<sup>[3-10]</sup>。但在有害生物治理经济效益评价方面研究甚少,仅在经济效益评估方面涉及有害生物风险<sup>[11-15]</sup>。有害生物,尤其是森林有害生物治理有其自身规律,经济效益产生具有一定滞后性,当年或以后相当时期经济效益难以显现,收益期出现较晚<sup>[16-18]</sup>。因此,很难用传统的经济效益评价指标和方法对其进行正确评估;而这些指标对于研究有害生物治理经济阈值和评价治理效果十分必要。为此,以药剂蘸浆造林为例,在其造林成本核算和产值分析的基础上<sup>[19-20]</sup>,进行了药剂蘸浆造林效益研究。以期探讨药剂蘸浆造林效益变化规律,探索其效益评价指标和方法,为制定有害生物治理经济阈值、评价治理效果及其经济效益提供参考。

## 1 材料与方法

以 2008—2011 年米脂县、延安市宝塔区和宝鸡市麟游县试验区研究数据为材料,在造林成本估算和产值分析的基础上<sup>[19-20]</sup>,结合药剂蘸浆造林实际,根据国家造林技术规程指标<sup>[21]</sup>,测算补植成本或重新造林成本,以药剂蘸浆造林新增产值和经济损失减少量作为其总效益,以其增加的物质成本和用工成本估算其净效益和纯效益,按照折现率估测净效益现值<sup>[22-25]</sup>,利用模型分析法和方差分析法比较不同药剂蘸浆造林经济效益的差异。以药剂蘸浆造林新增产值和经济损失减少量为指标对药剂经济效益进行估算。

药剂减少经济损失量

$$C_{udack} = (1 + P_{mf}) \frac{R_s - R_{sk}}{100} \sum_{i=4} C_i \quad (1)$$

模型中, $C_{udack}$ 是相对对照减少的补植或重新造林成本; $P_{mf}$ 是管理费提取比率; $R_{sk}$ 是对照现有林木保存率; $R_s$ 是药剂处理现有林木保存率; $C_i$ 是各项造林成本, $i=1,2,3,4$ ,分别代表药剂、用工、种苗和运输成本。

药剂蘸浆造林总效益(元·hm<sup>-2</sup>)

$$B_t = (N_u \rho_{st} - N_{lk} \rho_{sk}) + (1 + P_{mf})$$

$$\frac{R_{st} - R_{sk}}{100} \sum_{i=4} C_i \quad (2)$$

$$B_t = D_p (R_{st} \rho_{st} - R_{sk} \rho_{sk}) + (1 + P_{mf}) \frac{R_{st} - R_{sk}}{100} \sum_{i=4} C_i \quad (3)$$

模型中, $B_t$ 为药剂总效益; $N_u$ 和 $N_{lk}$ 分别为药剂处理和对照单位面积林木保存株数; $\rho_{st}$ 和 $\rho_{sk}$ 为药剂处理和对照林木单价, $D_p$ 为林木定植密度,取 1 650 株·hm<sup>-2</sup>。

净效益与纯效益(元·hm<sup>-2</sup>)

$$B_n = B_t - C_r = B_t - D_r \rho_r \quad (4)$$

$$B_p = B_t - C_r - (C_{lr} - C_{lk}) \quad (5)$$

模型中, $B_n$ 和 $B_p$ 分别为药剂净效益和纯效益; $C_r$ 为单位面积蘸浆造林药剂成本; $D_r$ 为位面积用药量; $\rho_r$ 为药剂单价; $C_{lr}$ 为药剂蘸浆造林用工成本; $C_{lk}$ 为对照蘸浆造林成本。净效益现值

$$B_{np} = \frac{\sum_{t=0}^a B_{nt}}{(1 + R_d)^t} = \frac{\sum_{t=0}^a B_{nt}}{(1 + R_{d1})(1 + R_{d2}) \cdots (1 + R_{da})} \quad (6)$$

模型中, $a$ 为定植年限。 $R$ 折现率等于我国林业行业基准贴现率(basic discount rate of China forestry, $R_{bd}$ )、造林风险率(risk rate, $R_r$ )和通胀率(inflation rate, $R_i$ )之合<sup>[11-13,22-27]</sup>。

数据分析采用 SPSS17.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 药剂减少经济损失量

蘸浆药剂经济损失减少量(minimizing economic losses)指相对对照减少的苗木重新布置费用。按照国家造林技术规程,年降水量在 400 mm 以上地区及灌溉造林,成活率在 85%以上(含 85%)为合格;成活率在 41%~85%(不含 85%)的必须补植;成活率在 41%以下(不含 41%)必须重新造林<sup>[21]</sup>。利用模型(1)结合不同处理区苗木保存率可估测出各地不同定植年限单位面积补植或重新造林成本(表 1)。

2.1.1 对照补植成本 对照补植成本以宝塔区试区的最高,麟游县的最小。油松(*Pinus tabulaeformis*)

mis)定植 1 a 和 3 a 的补植成本为(3 231. 95 ± 253. 11)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.004$ )和(4 852. 29 ± 246. 23)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.000$ ),其中,后者米脂的与麟游地区差异不显著( $p=0.250$ );侧柏(*Platycladus orientalis*)补植成本为(1548. 56 ± 124. 2)9 元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.004$ )和(3 735. 02 ± 326. 79)元 ·

hm<sup>-2</sup> ( $p=0.001$ )。两树种差距均以宝塔区的最大,定植当年麟游的最小,定植 3 a,米脂县的最小。油松比例侧柏增加(1 683. 39 ± 2 172. 30)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.140$ )和(2 083. 09 ± 229. 67)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.011$ ),其中,后者宝塔区与麟游县的差异不显著;树种间差异均极显著(表 1)。

表 1  补植或重新造林成本  
Table 1  The replanting or reforestation cost

树种	地点	处理	保存率/%		补植成本/(元 · hm <sup>-2</sup> )		经济损失减少量/(元 · hm <sup>-2</sup> )	
			定植 1 a	定植 3 a	定植 1 a	定植 3 a	定植 1 a	定植 3 a
油松	米脂县	NPA	85. 01±1. 53	84. 69±1. 46	404. 54±404. 54	404. 54±404. 54	2 800. 54±362. 56	4 779. 24±452. 11
		RPA	79. 92±0. 97	77. 80±0. 78	1 361. 86±59. 27	1 506. 49±51. 23	1 843. 22±110. 68	3 677. 29±76. 82
		CK	52. 12±2. 16	22. 57±1. 16	3 205. 08±152. 91	5 183. 78±124. 83	—	—
	宝塔区	NPA	87. 13±0. 48	84. 69±0. 87	0. 00±0. 00	537. 87±537. 87	4 052. 38±158. 97	6 880. 41±431. 57
		RPA	79. 58±1. 50	77. 11±1. 74	1 772. 54±89. 43	1 985. 81±100. 54	2 279. 85±70. 09	5 432. 46±141. 81
		CK	52. 91±1. 54	13. 80±0. 62	4 052. 38±158. 98	7 418. 27±158. 77	—	—
	麟游县	NPA	90. 24±0. 40	89. 35±0. 50	0. 00±0. 00	0. 00±0. 00	2 438. 39±261. 45	4 852. 29±246. 23
		RPA	84. 57±2. 10	79. 23±0. 96	746. 90±374. 25	1 296. 54±91. 31	1 691. 49±579. 27	3 555. 75±328. 07
		CK	58. 89±4. 43	18. 22±3. 49	2 438. 39±261. 45	4 852. 29±246. 23	—	—
侧柏	米脂县	NPA	90. 79±1. 56	88. 24±0. 90	0. 00±0. 00	0. 00±0. 00	1 563. 68±94. 91	3 869. 19±78. 82
		RPA	79. 58±1. 50	74. 67±2. 14	1 130. 91±108. 47	1 402. 26±145. 11	432. 77±200. 52	2 466. 93±110. 89
		CK	71. 23±1. 72	28. 79±1. 96	1 563. 68±94. 91	3 869. 19±78. 83	—	—
	宝塔区	NPA	91. 01±1. 35	88. 91±1. 06	0. 00±0. 00	0. 00±0. 00	1 935. 72±50. 56	4 732. 07±255. 79
		RPA	81. 13±1. 67	76. 57±1. 86	1 335. 85±78. 57	1 663. 73±108. 82	599. 87±129. 12	3 068. 34±175. 17
		CK	71. 35±1. 35	30. 24±1. 82	1935. 72±50. 56	4 732. 07±255. 79	—	—
	麟游县	NPA	91. 70±2. 52	91. 68±2. 42	0. 00±0. 00	0. 00±0. 00	1 146. 28±133. 49	2 603. 79±252. 96
		RPA	87. 58±2. 41	84. 34±1. 06	214. 54±214. 54	232. 18±232. 18	931. 74±257. 11	2 371. 62±451. 53
		CK	71. 68±4. 25	36. 69±3. 57	1 146. 27±133. 49	2 603. 79±252. 96	—	—

2.1.2 NPA 和 RPA 经济损失减少量  与对照相比,药剂处理区补植成本明显低于对照区。

NPA 试验区,宝塔区的补植成本减少量最大,米脂和麟游县的相对较低。油松定植当年麟游县的补植成本减少量最小;定植 3 a 的以米脂县的最小;均值为(3 097. 11 ± 280. 22)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.014$ )和(5 503. 98 ± 395. 13)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.014$ )。其中,米脂与麟游的减少量地区差异不显著( $p=0.386$ 、 $0.898$ ),而补植成本与对照差异均极显著( $p=0.000$ )。定植当年和 3 a 的侧柏补植成本减少量均以麟游的最小,均值为(1 548. 56 ± 124. 29)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.004$ )和(3 735. 02 ± 326. 79)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.001$ ),补植成本与对照差异极显著( $p=0.000$ )。

RPA 试验区,油松减少量均以宝塔区的最高,麟游县的最低。均值为(1 938. 18 ± 192. 79)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.495$ )和(4 221. 84 ± 321. 01)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.001$ )。其中,米脂与麟游县定植 3 a 减少量无显著差异( $p=0.698$ ),而补植成本与对照差异均极显著( $p=0.000$ )。侧柏定植当年减少量从北向南依次增大,定植 3 a 的宝塔区的最高,麟游县的最低。均值(654. 79 ± 125. 00)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.282$ )

和(2 635. 63 ± 180. 17)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.254$ ),补植成本与对照差异极显著( $p=0.010$ , $0.000$ ;表 1)。

两药剂相比,NPA 补植成本明显比 RPA 降低,降幅均以宝塔区的最高。定植当年油松以麟游县的降幅最低,定植 3 a 以米脂县的最低。均值为(1 158. 92 ± 226. 67)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.144$ )和(1 282. 14 ± 187. 86)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.802$ ),地区间降幅无显著差异,药剂间补植成本差异极显著( $p=0.000$ )。侧柏的降幅均以麟游县的最低。均值为(893. 77 ± 187. 19)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.004$ )和(1 099. 39 ± 235. 93)元 · hm<sup>-2</sup> ( $p=0.002$ )。其中,米脂县与宝塔区的降幅无显著差异( $p=0.359$ 、 $0.319$ );而药剂间补植成本差异极显著( $p=0.000$ ;表 1)。

两树种比较,油松补植成本相对高于侧柏。NPA 试验区,宝塔区和麟游县的油松与侧柏于定植当年均未产生补植成本;米脂县的仅 1 个重复油松保存率未达 85%标准,补植成本为 1213. 61 元 · hm<sup>-2</sup>,均值为(404. 54 ± 404. 54)元 · hm<sup>-2</sup>。增幅地区间差异不显著( $p=0.422$ ),两树种补植成本差异不显著( $p=0.332$ )。定植 3 a,麟游县的未产生

补植成本,米脂县的与定植当年相同;宝塔区的补植成本仅有油松的 1 个重复产生了 1 613.60 元·hm<sup>-2</sup>的,均值为(537.87±537.87)元·hm<sup>-2</sup>。地区间增幅差异不显著( $p=0.619$ ),树种间补植成本差异不显著( $p=0.155$ )。RPA 试验区,定植当年油松补植成本增幅从北向南依次增加,定植 3 a 的以宝塔区的最大,麟游县的最低,均值为(1 293.77±186.64)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.048$ )和(1 596.28±110.26)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.003$ ),其中,定植当年增幅

仅有宝塔区与麟游县的差异显著( $p=0.018$ ),定植 3 a 仅有米脂县与麟游县的增幅不显著( $p=0.127$ );补植成本树种间差异不显著( $p=0.150$ ,0.074;表 1)。

### 2.2 药剂蘸浆造林总效益

总效益(total benefit,  $Bt$ )是其总产值减去对照区总产值加上减少的补植或重新造林成本,反映了药剂蘸浆造林增加的综合经济效益。利用模型(2)和(3)可估算出 NPA 和 RPA 蘸浆造林总效益(表 2)。

表 2 药剂蘸浆造林总效益

Table 2 The total benefit of slurry dipping afforestation by using NPA and RPA

地点	处理	总效益/(元·hm <sup>-2</sup> )			
		油 松		侧 柏	
		定植 1 a	定植 3 a	定植 1 a	定植 3 a
米脂县	NPA	3 702.79±379.84	29 695.21±854.00	2 161.05±109.41	30 797.11±714.24
	RPA	2 604.60±142.89	20 797.83±30.68	717.72±247.63	20 410.21±606.61
宝塔区	NPA	5 691.66±174.99	40 289.38±728.27	2 748.76±71.02	37 999.54±1 107.54
	RPA	2 939.50±64.40	27 415.02±510.18	1 070.06±172.96	27 396.53±847.01
麟游县	NPA	3 760.78±375.34	49 294.55±1 144.52	1 448.67±150.06	36 898.24±2 204.80
	RPA	2 544.76±737.04	33 348.80±1 382.32	1 102.38±273.05	28 689.80±1 718.88
数据统计	NPA	4 385.08±364.80	39 759.71±2 869.58	2 119.50±196.51	35 231.63±1 343.19
	RPA	2 696.29±226.03	27 187.22±1 861.73	963.39±132.70	25 498.85±1 410.64

2.2.1 NPA 和 RPA 总效益差异分析 定植当年油松总效益以宝塔区的最高,米脂与麟游县的相当。NPA 和 RPA 总效益均值分别为(4 385.08±364.80)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.008$ )和(2 696.29±226.03)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.794$ ),其中米脂与麟游县的 NPA 地区间差异不显著( $p=0.904$ )。3 个分布地区从北向南的 3 a 总效益依次增高,均值为(39 759.71±2 869.58)元·hm<sup>-2</sup>和(27 187.22±1 861.73)元·hm<sup>-2</sup>,地区差异极显著( $p=0.000$ )。NPA 侧柏总效益均以宝塔区的最高,米脂县的最低;RPA 总效益从北向南则依次增加。当年总效益均值为(2 119.50±196.51)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.001$ )和(963.39±132.70)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.483$ )。3 a 为(35 231.63±1 343.19)元·hm<sup>-2</sup>和(25 498.85±1 410.64)元·hm<sup>-2</sup>;前者地区间总体差异显著( $p=0.028$ ),后者极显著( $p=0.005$ ),但宝塔区与麟游县的差异均不显著( $p=0.618$ ,0.461;表 2)。

两药剂比较,NPA 总效益明显高于 RPA。当年总效益增量以宝塔区的最高;油松总效益米脂县的最低,侧柏麟游县的最小;增量均值为(1 162.20±506.54)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.715$ )和(670.17±228.58)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.202$ ),药剂间总效益差异极显著( $p=0.001$ ,0.000)。3 a 油松总效益增量 3 试验区从北向南依次增大;油松以米脂的最大,宝塔区的最小。平均增加(8 409.95±2 595.30)元·

hm<sup>-2</sup>( $p=0.773$ )和(6 305.62±1 877.37)元·hm<sup>-2</sup>( $p=0.981$ ),药剂间总效益差异极显著( $p=0.002$ ,0.000;表 2)。

两树种比较,油松总效益相对较高。NPA 处理油松的总效益增量均以宝塔区的最高,米脂的最低。其中,米脂的 3 a 总效益增量为负值;增量均值为(2 265.58±285.62)元·hm<sup>-2</sup>和(4 528.08±2 231.24)元·hm<sup>-2</sup>;当年增量地区间差异不显著( $p=0.123$ ),但米脂与宝塔区的差异显著( $p=0.049$ );3 a 增量整体差异极显著( $p=0.005$ ),其中米脂与宝塔区的差异不显著( $p=0.246$ );树种间当年总效益差异极显著( $p=0.000$ );3 a 总效益总体差异不显著( $p=0.172$ ),其中,麟游县的树种间差异极显著( $p=0.008$ )。3 个试验区当年 RPA 处理的油松增量从北向南依次减小;3 a 增量以麟游县的最大,宝塔区的增量极小。增量均值为(1 732.90±307.77)元·hm<sup>-2</sup>和(1 688.37±1 059.68)元·hm<sup>-2</sup>,地区间增量差异不显著( $p=0.842$ ,0.130);树种间当年总效益差异极显著( $p=0.000$ ),3 a 总效益差异不显著( $p=0.480$ );其中麟游县的树种间增量均值为(4 659.00±2 516.99)元·hm<sup>-2</sup>,重复间总效益变异较大,效益不稳定(表 2)。

2.2.2 总效益构成 药剂总效益构成反映了药剂干旱、鼯鼠、草兔和其它因素致死预防作用产生的效益增量占总效益的比重。

2.2.2.1 总效益构成分析 干旱致死预防作用是对总效益贡献的首要因素。定植当年干旱致死预防作用占总效益比重以宝塔区的最大,米脂和麟游县的相对较小。油松与侧柏其比重均值分别为  $83.08\% \pm 1.20\%$  ( $p=0.423$ ) 和  $54.83\% \pm 3.76\%$  ( $p=0.022$ )。地区间油松的该比重差异不显著( $p=0.423$ ),侧柏差异显著( $p=0.022$ )。定植 3 a 的该比重在 3 个试验区从北向南依次减少,均值为  $67.47\% \pm 1.20\%$  和  $60.85\% \pm 5.01\%$ 。油松地区间差异极显著( $p=0.009$ ),其中,宝塔区与麟游县的无显著差异( $p=0.068$ );侧柏的地区间差异极显

著( $p=0.000$ )。年间相比,3 a 油松的该比重比当年下降,降幅在 3 个试验区从北向南依次加大,均值为  $15.61\% \pm 1.20\%$  ( $p=0.000$ ),年间差异极显著( $p=0.000$ );米脂县和宝塔区的 3 a 侧柏的该比重高于当年,而麟游县的比当年略小,总体增加  $6.02\% \pm 2.29\%$ ,地区间的增幅总体差异不显著( $p=0.064$ ),但其中米脂县和宝塔区的与麟游县的差异显著( $p=0.035$ 、 $0.049$ );年度间总效益总体差异不显著( $p=0.351$ ),但其中米脂县的差异极显著( $p=0.003$ ),宝塔区的差异显著( $p=0.025$ ;图 1、图 2)。

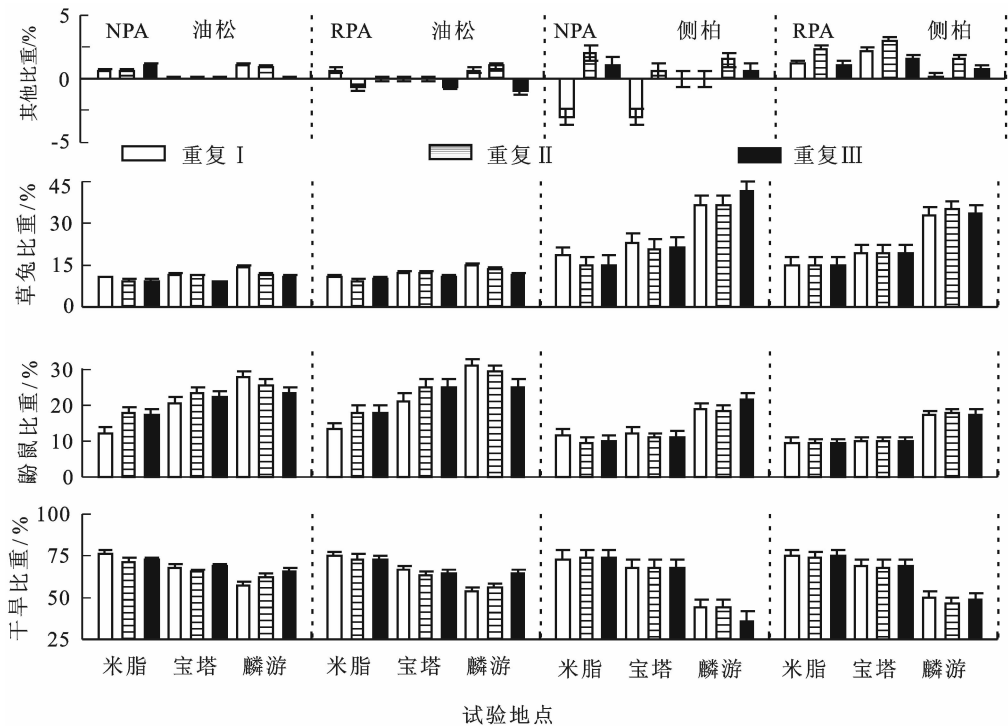


图 1 定植 1 a 药剂蘸浆造林总效益构成

Fig.1 The total benefit structure of slurry dipping afforestation by using NPA and RPA after planted 1 year

鼯鼠致死预防作用比重相对较高,是对总效益贡献的主要因素之一。定植当年比重均以宝塔区的最低,油松试验以米脂县的最高,侧柏以麟游县的最高。均值为  $15.25\% \pm 1.01\%$  ( $p=0.328$ ) 和  $17.58\% \pm 1.63\%$  ( $p=0.005$ ),其中,米脂县与宝塔区的差异不显著( $p=0.680$ )。定植 3 a,油松的该比重在 3 个试验区从北向南逐渐增加;侧柏以麟游县的最大,宝塔区的最小,均值为  $21.17\% \pm 1.58\%$  ( $p=0.005$ ) 和  $13.83\% \pm 1.54\%$  ( $p=0.000$ ),其中,油松以宝塔区与麟游县的差异不显著( $p=0.112$ ),侧柏以米脂与宝塔区的差异不显著( $p=0.338$ )。年间相比,油松以米脂县的定植当年该比重比 3 a 的略高,而麟游县和宝塔区的明显降低,整体降低  $10.99\% \pm 0.91\%$  ( $p=0.000$ ),其中,宝塔区与麟游县的该降幅地区差异不显著( $p=0.099$ );而年间该

比重差异极显著( $p=0.006$ )。侧柏以定植当年比定植 3 a 的高,增幅以米脂县的最大,麟游县的最小。增幅均值为  $3.75\% \pm 0.50\%$  ( $p=0.343$ );年间该比重差异不显著( $p=0.114$ ;图 1、图 2)。

草兔致死预防作用占油松总效益比重相对较小,而侧柏的占总效益比重较大。定植当年均以宝塔区的最高,米脂的最小,均值为  $1.45\% \pm 0.27\%$  ( $p=0.319$ ) 和  $28.11\% \pm 2.28\%$  ( $p=0.188$ );定植 3 a 相对较大,3 个试验区从北向南依次增加,均值  $10.89\% \pm 0.51\%$  ( $p=0.169$ ) 和  $25.33\% \pm 3.37\%$  ( $p=0.000$ )。油松的年间差距在 3 个试验区从北向南依次扩大,差幅均值为  $9.44\% \pm 0.37\%$  ( $p=0.099$ );其中,米脂和麟游县的差幅地区差异显著( $p=0.041$ );年间比重差异极显著( $p=0.000$ )。米脂县和宝塔区的定植当年侧柏的该比重高于定植

3 a,而麟游县的低于定植 3 a。平均增幅 2.79%±2.49%,增幅地区间整体差异显著( $p=0.016$ ),其中米脂与麟游县的其差异不显著( $p=0.709$ );年间

比重整体无显著差异( $p=0.503$ ),而米脂与宝塔区的年间差异显著( $p=0.041,0.021$ ;图 1、图 2)。

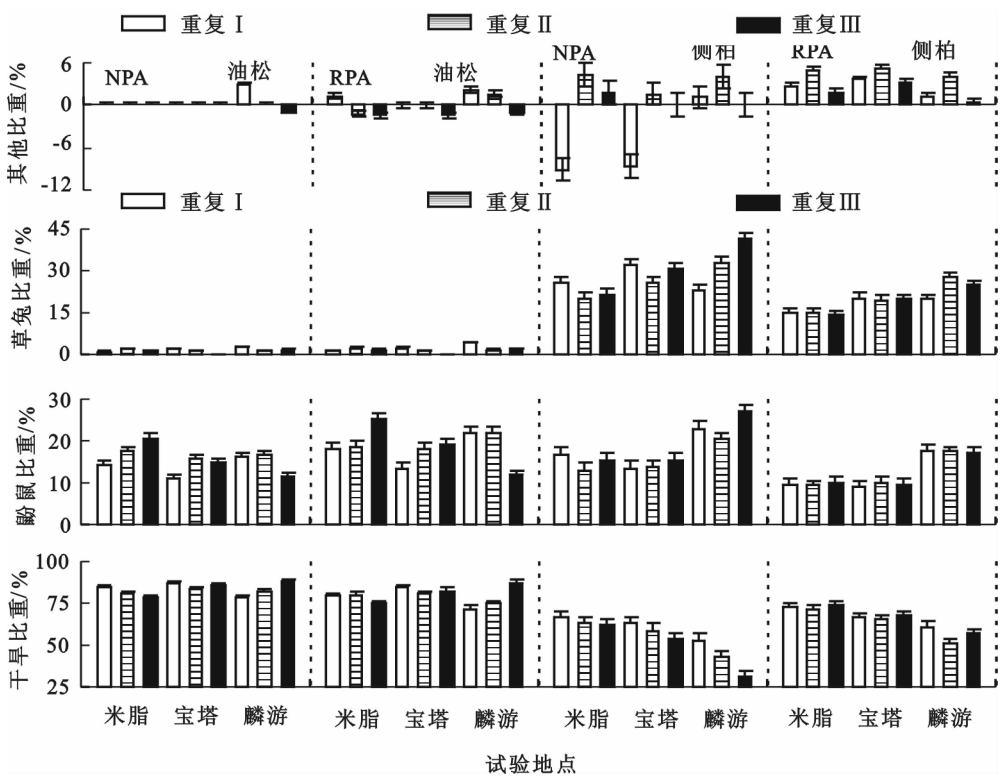


图 2 定植 3 a 药剂蘸浆造林总效益构成

Fig. 2 The total benefit structure of dipping afforestation by using NPA and RPA after planted 3 years

其他因素对总效益贡献极小。油松定植当年米脂县和宝塔区其比重为零,麟游县的仅为 0.65%±1.15%,均值 0.22%±0.35% ( $p=0.739$ );侧柏以米脂县与宝塔区的该比重为负值,麟游县的亦较小,均值为-0.52%±0.1.65% ( $p=0.660$ )。定植 3 a 的宝塔区的该比重为零,米脂和麟游县的较低,均值为 0.47%±0.16% ( $p=0.090$ );其中,米脂县与宝塔区的差异显著( $p=0.047$ )。年间相差 0.25%±0.35% ( $p=0.565$ ),差异不显著 ( $p=0.523$ );侧柏以宝塔区的为负值,米脂和麟游县的也很低,均值为-0.01%±0.35% ( $p=0.551$ )。米脂县和宝塔区的定植当年该比重比定植 3 a 的略低,麟游县的略高,整体下降 0.52%±1.06% ( $p=0.655$ );年间该比重差异不显著 ( $p=0.773$ ;图 1、图 2)。

2.2.2.2 RPA 总效益构成分析 干旱致死预防作用占油松总效益比重变化规律与 NPA 相似。侧柏的在 3 个试验区中从北向南依次降低。油松定植当年和 3 a 的该比重均值为 79.55%±1.65% ( $p=0.538$ )和 65.27%±2.53% ( $p=0.006$ ),其中,宝塔区与麟游县的 3 a 的该比重地区差异不显著 ( $p=0.072$ )。年度间差距在 3 个试验区中从北向南依次扩大,均值为 14.28%±2.52%,地区间增量总体

差异极显著 ( $p=0.000$ ),但宝塔区与麟游县的该增量差异不显著 ( $p=0.202$ );总效益年间差异极显著 ( $p=0.000$ )。侧柏的该比重为 65.20%±2.52% ( $p=0.002$ )和 63.54%±3.99% ( $p=0.000$ ),其中米脂县与宝塔区的当年该比重差异不显著 ( $p=0.054$ )。米脂县和宝塔区的当年该比重略低于 3 a,而麟游县的当年该比重明显高于 3 a。总体增加 1.67%±1.84%,地区间增量差异总体极显著 ( $p=0.001$ ),但米脂县与宝塔区的差异不显著 ( $p=0.705$ );总效益年度间总体差异不显著 ( $p=729$ ),但其中宝塔区的年度间差异显著 ( $p=0.037$ ;图 1、图 2)。

定植当年,油松鼯鼠致死预防作用以米脂县的最高,宝塔区的最低;3 a 从北向南 3 个试验地依次增加。均值 18.65%±1.40%和 22.90%±1.93%;地区间当年总效益差异不显著 ( $p=0.592$ ),3 a 总效益地区间总体差异极显著 ( $p=0.000$ ),但麟游县与宝塔区的总效益差异不显著 ( $p=0.080$ )。3 a 鼯鼠致死预防作用占总效益的比重总体高于当年。3 个试验区差距从北向南逐渐扩大,其中米脂县的 3 a 比重低于当年,均值为 4.25%±2.31%,地区间比重差幅总体差异极显著 ( $p=0.001$ ),其中宝塔区与麟游县的该比重差异不显著 ( $p=0.239$ );年度间该

比重差异极显著( $p=0.094$ )。侧柏的该比重在3试验地从北向南依次扩大,均值为 $12.20\% \pm 1.31\%$ ( $p=0.004$ )和 $12.25\% \pm 1.30\%$ ( $p=0.000$ ),其中米脂与麟游县的该差异不显著( $p=0.943, 0.066$ )。年度间该比重差距较小,米脂县的3a该比重略低于当年,宝塔区和麟游县的略高于当年,差幅均值为 $0.04\% \pm 0.13\%$ ( $p=0.445, p=0.660$ ),年度间差异不显著( $p=0.981$ ;图1、图2)。

定植当年,草兔致死预防作用占油松总效益比重相对较低,其中宝塔区的最低,麟游县的最高;3a该比重相对较大,3个试验区从北向南依次增加。比重均值为 $1.79\% \pm 0.36\%$ ( $p=0.442$ )和 $11.80 \pm 0.61\%$ ( $p=0.046$ ),其中宝塔区与米脂和麟游县的3a该比重地区间差异不显著( $p=0.125, 0.188$ )。年度间差距3个试验地中从北向南逐渐扩大,均值为 $10.02\% \pm 0.50\%$ ,地区间该差异总体差异显著( $p=0.042$ ),但宝塔区与麟游县差异不显著( $p=0.678$ );年度间该比重差异极显著( $p=0.000$ )。侧柏该比重3个试验区从南向南逐渐提高,均值为 $19.61 \pm 1.53\%$ ( $p=0.046$ )和 $22.66 \pm 2.86\%$ ( $p=0.000$ ),其中,宝塔区和麟游县的当年该比重地区间差异不显著( $p=0.072$ )。米脂县和宝塔区的该比重年度间差距很小,麟游县3a的该比重明显高于当年,均值为 $3.06\% \pm 0.36\%$ ,地区间该差异总体极显著( $p=0.001$ ),但米脂与麟游县的该差异不显著( $p=0.635$ );年度间该比重差异不显著( $p=0.360$ ;图1、图2)。

其他致死预防作用比重相对较低,地区间变异较大。米脂县和宝塔区定植当年油松的该比重为负值,3a宝塔区的为负值。均值为 $0.01\% \pm 0.46\%$ ( $F=0.988, p=0.426$ )和 $0.02\% \pm 0.23\%$ ( $p=0.322$ ),年间相差 $0.01\% \pm 0.28\%$ ( $p=0.259$ );年度间该比重差异不显著( $p=0.984$ )。侧柏的该比重以宝塔区的最高,麟游县的最小。均值为 $2.99\% \pm 0.54\%$ ( $p=0.772$ )和 $1.55\% \pm 0.29\%$ ( $p=0.129$ ),年度间相差 $1.43\% \pm 0.30\%$ ( $p=0.686$ ),年度间该比重差异显著( $p=0.033$ ;图1、图2)。

2.2.2.3 NPA与RPA总效益构成差异 相对RPA,油松NPA干旱致死预防作用比重有所提高,增量均以麟游县的最大,当年宝塔区的最小,3a的以米脂县的最低。增量均值为 $3.53\% \pm 0.82\%$ ( $p=0.648$ )和 $2.20\% \pm 0.74\%$ ( $p=0.076$ ),其中米脂与麟游县的该增量地区间差异显著( $p=0.033$ );但药剂间该比重差异不显著( $p=0.104, 0.502$ )。侧柏NPA处理该比重降低,降幅以麟游县的最大,米脂县与宝塔区的较小。均值为 $10.38\% \pm 2.19\%$ ( $p=$

$0.530$ )和 $2.69\% \pm 1.31\%$ ( $p=0.086$ ),但米脂与麟游县的3a该降幅地区间差异明显( $p=0.048$ );药剂间当年该比重差异显著( $p=0.036$ ),而3a该比重差异不显著( $p=0.680$ ;图1、图2)。

NPA处理油松的鼯鼠和草兔致死预防作用比重相对降低,而侧柏的相对增高,差幅均以麟游县的较大。当年鼯鼠的该比重差幅以宝塔区的最小,3a以米脂县的最低。草兔对油松的该比重降幅在3试验区从北向南逐次扩大;当年侧柏该比重增幅以宝塔区的最大,米脂县的最小;3a增幅从北向南依次递增。定植当年和3a的油松林该鼯鼠致死预防作用比重降幅均值为 $3.40\% \pm 0.62\%$ ( $p=0.873$ )和 $1.73\% \pm 0.41\%$ ( $p=0.033$ ),其中宝塔区与米脂和麟游县的3a该降幅地区差异不显著( $p=0.104, 0.148$ );药剂间该比重差异均不显著( $p=0.767, 0.396$ )。侧柏的降幅为 $0.34\% \pm 0.11\%$ ( $p=0.066$ )和 $0.91\% \pm 0.25\%$ ( $p=0.497$ )。药剂间当年该比重差异显著( $p=0.020$ ),而3a其差异不显著( $p=0.443$ )。油松林草兔致死预防作用比重增幅为 $5.38\% \pm 0.74\%$ ( $p=0.485$ )和 $1.59\% \pm 0.43\%$ ( $p=0.148$ ),药剂间总效益差异不显著( $p=0.879, 0.316$ )。侧柏林草兔致死预防作用比重增量为 $8.51\% \pm 1.40\%$ ( $p=0.463$ )和 $2.66\% \pm 0.82\%$ ( $p=0.271$ );药剂间当年该比重差异极显著( $p=0.007$ ),而3a的差异不显著( $p=0.555$ ;图1、图2)。

NPA处理油松林其它致死预防作用比重总体略有增加,而侧柏稍有降低。油松的该增幅均值为 $0.21\% \pm 0.37\%$ ( $p=0.710$ )和 $0.45\% \pm 0.18\%$ ( $p=0.528$ ),药剂间该比重差异不显著( $p=0.355, 0.200$ )。侧柏的该比重降幅为 $3.51\% \pm 1.66\%$ ( $p=0.723$ )和 $1.56\% \pm 0.66\%$ ( $p=0.061$ ),药剂间当年该比重差异不显著( $p=0.061$ ),而3a该差异显著( $p=0.034$ ;图1、图2)。

2.2.2.4 树种总效益构成变化 相对侧柏,药剂干旱致死预防作用占当年油松总效益比重明显较大,3个试验地从北向南其差距逐渐扩大;3a该比重以麟游县的增幅相对较大,米脂县与宝塔区的该差距较小,其中NPA处理在宝塔区出现负值,RPA处理在米脂县与宝塔区试验地均为负值。NPA处理的油松该比重增量为 $28.26\% \pm 4.28\%$ ( $p=0.064$ )和 $6.63\% \pm 3.74\%$ ( $p=0.005$ ),当年比重增量以米脂和麟游县的差异显著( $p=0.025$ ),3a宝塔区与米脂县的差异不显著;而树种间该比重差异极显著( $p=0.000$ )。RPA处理油松林该比重增量为 $14.35\% \pm 2.99\%$ ( $p=0.055$ )和 $1.74\% \pm 2.38\%$ ( $p=0.010$ ),米脂与麟游县的当年该比重增量差异

显著( $p=0.022$ ),米脂县与宝塔区试验地 3 a 该比重增量差异不显著( $p=0.286$ );树种间该比重差异极显著( $p=0.000$ ;图 1、图 2)。

油松林鼯鼠致死作用比重比侧柏总体较高,只有 NPA 处理的在宝塔区与麟游县出现负值。定植当年 NPA 处理的该比重差距以麟游试验点最大,宝塔区的最小。总体增幅为  $-2.34\% \pm 2.15\%$  ( $p=0.054$ ),其中,米脂与麟游县的差异显著( $p=0.023$ );3 a 该比重增量以宝塔区的最大,米脂与麟游县的增量相当,均值为  $7.33\% \pm 1.30\%$  ( $p=0.192$ )。树种间该比重差异极显著( $p=0.000$ )。定植当年 RPA 处理的该比重差距在 3 个试验地从北向南依次缩小,3 a 该比重增量以宝塔区的最大,米脂县的最小。增量均值为  $6.45\% \pm 1.88\%$  ( $p=0.067$ )和  $10.65\% \pm 1.31\%$  ( $p=0.048$ )。其中,前者仅米脂与麟游县的差异显著( $p=0.023$ ),后者麟游与米脂县和宝塔区的差异均不显著( $p=0.109, 0.225$ )。而树种间该比重差异极显著( $p=0.000$ ;图 1、图 2)。

相对于侧柏,草兔致死作用占油松总效益比重明显较低,且降幅均从北向南逐渐提高。定植当年 NPA 和 RPA 处理的平均降幅为  $26.67\% \pm 2.34\%$  ( $p=0.234$ )和  $17.82\% \pm 1.57\%$  ( $p=0.039$ ),后者宝塔区与米脂和麟游县的差异均不显著( $p=0.070, 0.293$ );树种间该比重差异极显著( $p=0.000$ )。3 a 降幅为  $14.43\% \pm 3.07\%$  ( $p=0.000$ )和  $0.86\% \pm 2.44\%$  ( $p=0.000$ );其中,米脂县与宝塔区 NPA 和 RPA 处理的该比重降幅差异均不显著( $p=0.066, 0.064$ );树种间该比重总体差异不显著( $p=0.089, 0.762$ ),其中 NPA 处理的仅有麟游县的差异极显著( $p=0.006$ ),RPA 处理的宝塔区和麟游县的差异显著( $p=0.013, 0.024$ ;图 1、图 2)。

NPA 处理试验区,米脂县和宝塔区的其它致使预防作用占油松总效益比重略高于侧柏,麟游的略低于侧柏。RPA 处理试验区,均小于侧柏,且宝塔区的降幅最大,麟游县的相对较小。NPA 处理油松的该比重增幅为  $0.74\% \pm 1.66\%$  ( $p=0.756$ )和  $0.48\% \pm 0.58\%$  ( $p=0.842$ ),树种间该比重差异极显著( $p=0.000$ )。RPA 处理的该降幅均值为  $2.98\% \pm 0.73\%$  ( $p=0.115$ )和  $1.53\% \pm 0.40\%$  ( $p=0.168$ ),树种间该比重差异极显著( $p=0.000$ ;图 1、图 2)。

2.3 净效益与纯效益

净效益(net benefit,  $B_n$ )是药剂蘸浆造林总效益与其新增物质成本之差。其物质成本主要指与对

照相比产生的药剂成本,属于药剂蘸浆造林转移价值的组成部分。纯效益(pure benefit,  $B_p$ )是净效益去除药剂蘸浆造林增加的用工成本,即去除使用药剂新增的造林成本,是药剂蘸浆造林新增纯收入,反映的是蘸浆造林潜在收益期望。利用模型(4)和(5)可以估算单位面积药剂蘸浆造林净效益(图 3)。

NPA 试验区,定植当年的油松和侧柏的净效益和纯效益均为宝塔区的最高,除纯效益外,其余均值变异相对较小,重复间相对稳定。米脂和麟游县的油松效益相对较低,差距较小,均值变异相对较大,重复稳定性较差。侧柏以米脂和麟游县的差距较大,麟游的最低;其中净效益均值变异较大,纯效益均值变异较小。油松净效益和纯效益均值分别为  $(4\ 363.74 \pm 364.67)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(4\ 226.79 \pm 387.24)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。净效益地区间差异总体极显著( $p=0.008$ ),但米脂与麟游县的差异不显著( $p=0.907$ );纯效益地区间差异整体显著( $p=0.015$ ),米脂与麟游县的差异不显著( $p=0.800$ )。侧柏的均值为  $(2\ 094.06 \pm 196.71)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(1\ 960.29 \pm 204.33)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。前者地区间差异极显著( $p=0.001$ );后者地区间差异总体显著( $p=0.018$ ),但米脂与麟游县的差异不显著( $p=0.223$ ;图 3)。定植 3 a,净效益和纯效益比定植当年大幅度提高,重复间变异相对降低。油松的效益从北向南依次增加;侧柏以宝塔区与麟游县的差距较小,宝塔区的相对较高,而米脂县的该效益最低。油松效益均值为  $(39\ 738.37 \pm 2\ 869.33)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(39\ 601.43 \pm 2\ 854.96)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ,地区间差异极显著( $p=0.000$ )。侧柏为  $(35\ 206.20 \pm 1\ 342.95)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(35\ 301.33 \pm 1\ 379.75)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  地区间总体差异显著( $p=0.028, 0.040$ ),但宝塔区与麟游县的净效益和纯效益差异均不显著( $p=0.618, 0.671$ ;图 3)。

采用 RPA 蘸浆造林,定植当年油松林净效益和纯效益变化与定植当年相同,但麟游县试验区该均值变异较大,重复效益不稳定;侧柏在 3 个试验区从北向南效益提高,但米脂和麟游县的均值变异相对较大。油松的净效益和纯效益为  $(2\ 679.19 \pm 226.03)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(2\ 533.97 \pm 292.50)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ,地区间差异不显著( $p=0.794, 0.768$ )。侧柏为  $(943.10 \pm 132.61)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(765.87 \pm 129.78)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ,地区间差异亦不显著( $p=0.484, 0.696$ ;图 3)。定植 3 a 的效益从北向南依次提高,麟游的均值变异相对较高,重复效益变化较大。油松的净效益和纯效益为  $(27\ 170.12 \pm 1\ 861.57)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(27\ 024.90 \pm 1\ 843.29)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$ ,地区间差异极显著( $p=0.000$ )。侧柏的均值为  $(25\ 478.56 \pm 1\ 410.49)$  元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和  $(2\ 5301.33$



±1 379.75)元·hm<sup>-2</sup>,地区就爱你总体差异极显著( $p=0.005,0.004$ ),但宝塔区与麟游县的差异均不显著( $p=0.461,0.391$ ;图 3)。

相对于 RPA,NPA 处理区林木净效益和纯效益均有所增加。定植当年以宝塔区的增量最大,油松以米脂县的最小,侧柏以麟游县的最小。油松的净效益和纯效益增量均值为(1 684.55±324.14)元·hm<sup>-2</sup>和(1 692.83±351.77)元·hm<sup>-2</sup>。前者增量地区间差异整体显著( $p=0.034$ ),其中米脂与麟游县的差异不显著( $p=0.830$ );后者地区间差异不显著( $p=0.094$ );药剂间效益差异极显著( $p=0.001,0.003$ )。侧柏的增量为(1 150.97±219.88)元·hm<sup>-2</sup>和(1 194.41±266.07)元·hm<sup>-2</sup>。其中,

净效益增量地区间差异总体极显著( $p=0.002$ ),但米脂县与宝塔区的差异不显著( $p=0.332$ );纯效益增量地区间差异显著( $p=0.048$ );药剂间效益差异极显著( $p=0.000$ )。定植 3 a,油松的效益增量从北向南依次增加;侧柏以麟游县的最低,宝塔区的相对较高。油松增量为(12 568.25±1 058.59)元·hm<sup>-2</sup>和(12 576.53±1 089.31)元·hm<sup>-2</sup>,增量地区间差异极显著( $p=0.000,0.002$ );药剂间效益差异也极显著( $p=0.002$ )。侧柏为(9 727.64±546.05)元·hm<sup>-2</sup>和(9 771.09±591.33)元·hm<sup>-2</sup>,地区间差异不显著( $p=0.132,0.184$ );而药剂间效益差异均极显著( $p=0.000$ ;图 3)。

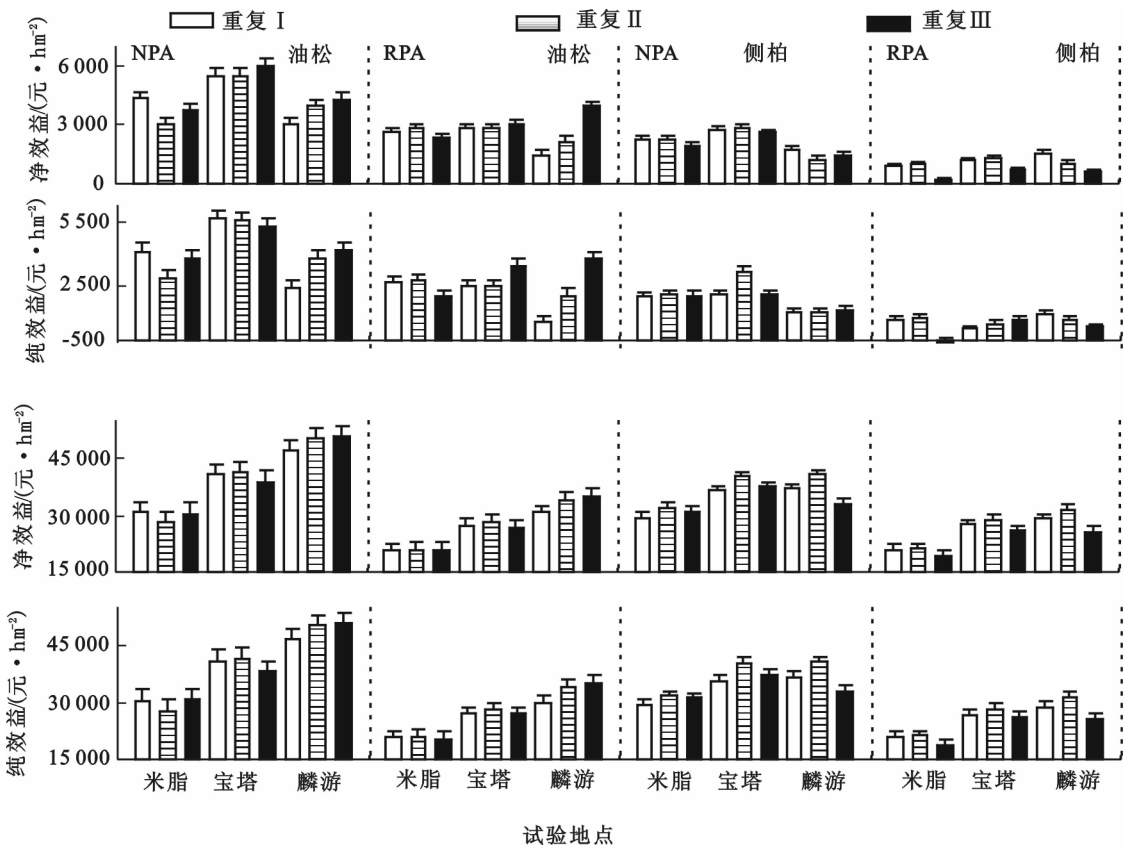


图 3 药剂蘸浆造林净效益和纯效益  
Fig. 3 The net benefit and the pure benefit of dipping afforestation by using NPA and RPA

树种相比,定植当年油松净效益和纯效益高于侧柏。NPA 处理油松的增量以宝塔区的较大,米脂县的较小。RPA 处理的增量米脂县和宝塔区的差异不大,而麟游县的相对较小,且变异程度高,重复增量不稳定。NPA 处理油松的净效益和纯效益增量均值为(2 269.67±285.51)元·hm<sup>-2</sup>和(2 266.51±308.11)元·hm<sup>-2</sup>,地区间增量差异总体不显著( $p=0.123,0.108$ ),其中米脂县与宝塔区的差异显著( $p=0.049,0.043$ )。树种间 NPA 处理的效益差异极显著( $p=0.000$ )。RPA 处理的增量为(1 736.09±

307.69)元·hm<sup>-2</sup>和(1 768.09±336.26)元·hm<sup>-2</sup>,地区间差异不显著( $p=0.842,0.680$ )。树种间 RPA 处理的效益差异整体极显著( $p=0.000$ ),但麟游差异均不显著( $p=0.140,0.216$ )。定植 3 a 油松效益总体高于侧柏,但地区差异较大。米脂县的 NPA 处理油松的增量为负值,油松的效益低于侧柏,但均值变异较大,重复增量不稳定;麟游县的增量比宝塔区的明显较大。RPA 处理的增量以麟游县的最大,宝塔区的最小,其均值变异程度较高,重复增量变化较大。NPA 处理油松增量均值为(4 532.17±2 231.30)元

• hm<sup>-2</sup>和(4 529.01±2226.08)元·hm<sup>-2</sup>,地区间增量差异总体极显著( $p=0.005,0.007$ ),其中米脂县与宝塔区的差异不显著( $p=0.246,0.247$ )。树种间 NPA 处理的效益总体差异不显著( $p=0.172,0.171$ ),其中麟游县的差异均极显著( $p=0.005,0.009$ )。RPA 处理的均值为(1 691.56±1 059.68)元·hm<sup>-2</sup>和(1 723.56±1 038.95)元·hm<sup>-2</sup>,地区间增量差异不显著( $p=0.130,0.159$ )。树种间 RPA 处理

的效益差异不显著( $p=0.479,0.465$ )图 3。

### 2.4 净效益现值

净效益现值(net present benefit, $B_{np}$ )是将药剂蘸浆造林各年净效益按折现率(discount rate, $R_d$ )折算成造林初期现值。根据公式(6),结合药剂蘸浆造林净效益分析资料,可推算出定植当年和 3 a 净效益现值(表 3)。其变化规律与净效益相同。

表 3 药剂蘸浆造林净效益现值

Table 3 The net present benefit of dipping afforestation by using NPA and RPA

地点	处理	净效益现值/(元·hm <sup>-2</sup> )			
		油 松		侧 柏	
		定植 1 a	定植 3 a	定植 1 a	定植 3 a
米脂	NPA	3 311.68±341.49	20 881.03±600.86	1 921.51±98.37	21 653.48±502.52
	RPA	2 327.42±128.61	14 622.92±21.60	627.65±222.83	14 347.87±426.94
宝塔	NPA	5 098.82±156.70	28 334.57±512.97	2 449.12±64.10	26 720.81±779.32
	RPA	2 628.03±57.95	19 278.72±358.95	944.29±155.49	19 263.68±595.95
麟游	NPA	3 362.18±337.61	34 670.94±805.42	1 278.82±134.94	25 944.97±1 551.27
	RPA	2 272.58±662.78	23 453.70±972.63	972.39±245.33	20 172.94±1 209.44
统计	NPA	3 924.23±327.94	27 962.18±2 019.02	1 883.15±176.89	1 883.15±176.89
	RPA	2 409.34±203.27	19 118.44±1 309.91	848.11±119.26	17 928.16±992.50

## 3 结论与讨论

### 3.1 药剂蘸浆造林经济损失减少量

由于 NPA 和 RPA 对各树种综合预防效果不同,加之试验地土壤、气候和生物灾害差异,使造林后各地林木保存率变化很大,按照国家造林技术规程要求,产生的补植或重新造林成本也相应变化<sup>[21]</sup>。油松和侧柏补植成本均以宝塔区的最高,麟游和米脂县的相对较小。定植当年,对照油松和侧柏补植成本为(3 231.95±253.11)元·hm<sup>-2</sup>和(1 548.56±124.29)元·hm<sup>-2</sup>;定植 3 a 为(5 818.11±413.25)元·hm<sup>-2</sup>和(3 735.02±326.79)元·hm<sup>-2</sup>,地区间差异和树种间差异极显著。补植成本对照>RPA>NPA,药剂与对照、药剂间差异极显著;定植当年补植成本侧柏>油松,定植 3 a 的油松>侧柏,但差异不显著。

### 3.2 药剂蘸浆造林总效益及其构成

总效益反映了药剂蘸浆造林的综合经济效益,是其新增产值与经济损失减少量之和。取决于药剂处理区和对照区林木保存率和生长状况。是一个随时空、树种和当地经济发展水平以及国家政策而变化的动态值。定植当年油松 NPA 和 RPA 处理的总效益宝塔区的最高,米脂县与麟游县的相当;3 a 总效益在 3 个试验区从北向南依次增高;NPA 处理侧柏的总效益均以宝塔区的最高,米脂县的最低;RPA 处理效果从北向南依次增加。总效益 NPA>

RPA,差异极显著;油松>侧柏,树种间当年总效益差异极显著;3 a 总效益总体差异不显著。其中麟游县试验点 NPA 处理树种间差异极显著;RPA 处理树种间增量均值达(4 659.00±2 516.99)元·hm<sup>-2</sup>,但重复间总效益变异较大,效益不稳定。NPA 和 RPA 处理对于旱、鼯鼠、草兔以及其它因素致死预防作用产生的效益增量占总效益比重差异很大,且存在着显著的树种和年间差异。

3.2.1 干旱预防作用对总效益影响最大 定植当年 NPA 和 RPA 处理油松该比重为 83.08%±1.20%和 79.55%±1.65%,地区间差异不显著;侧柏为 54.83%±3.76%和 60.85%±5.01%,前者地区间差异显著,后者极显著。定植 3 a,NPA 和 RPA 处理油松的该比重为 67.47%±1.20%和 65.27%±2.53%,侧柏为 60.85%±5.01%和 63.54%±3.99%,地区间差异均极显著。药剂间,油松 NPA>RPA,差异不显著;侧柏 RPA>NPA,当年差异显著,3 a 的差异不显著。树种间油松>侧柏,差异极显著。

3.2.2 对鼯鼠的预防作用是油松林总效益贡献的主要因素 定植当年 NPA 和 RPA 处理油松的该比重为 15.25%±1.01%和 18.65%±1.40%,地区差异不显著;侧柏为 17.58%±1.63%和 12.20%±1.31%,地区差异极显著。定植 3 a 的 NPA 和 RPA 处理油松的该比重为 21.17%±1.58%和 22.90%±1.93%,侧柏为 13.83%±1.54%和 12.25%±1.30%,地区差异均极显著。药剂间,油

松的该比重  $RPA > NPA$ , 差异不显著; 侧柏  $NPA > RPA$ , 当年该比重差异显著, 3 a 的差异不显著。油松该比重总体高于侧柏, 只有  $NPA$  处理宝塔区与麟游县的侧柏  $>$  油松, 树种间差异极显著。

3.2.3 对草兔的预防作用对侧柏总效益贡献作用较强 定植当年  $NPA$  和  $RPA$  处理油松的该比重为  $1.45\% \pm 0.27\%$  和  $1.79\% \pm 0.36\%$ , 侧柏为  $28.11\% \pm 2.28\%$  和  $19.61 \pm 1.53\%$ , 仅  $RPA$  处理侧柏地区差异显著。定植 3 a 的油松为  $10.89\% \pm 0.51\%$  和  $11.80 \pm 0.61\%$ , 前者地区差异不显著, 后者显著; 侧柏为  $25.33\% \pm 3.37\%$  和  $22.66 \pm 2.86\%$ 。地区差异极显著。药剂间油松  $RPA > NPA$ , 差异显著; 侧柏  $NPA > RPA$ , 差异极显著。树种间侧柏  $>$  油松; 定植当年树种间的差异极显著; 定植 3 a 的差异总体不显著, 其中  $NPA$  仅有麟游县的差异极显著,  $RPA$  处理宝塔区和麟游县的差异显著。

3.2.4 其他致死因素预防作用贡献属随机因素 其他因素对总效益贡献极小, 且地区间变异较大。比重均  $< 1.00\%$ , 地区、药剂和树种间存在一定差异性。

3.3 药剂蘸浆造林净效益与纯效益

由于树种生长特性和药剂理化性质差异, 加之各地土壤类型和气候条件变化, 使得各地单位面积蘸浆造林药剂成本和用工成本增量不同; 同时因为药剂蘸浆对树种抗逆性作用不同, 造成各地林木保存率和生长量变化, 引起林木产值和补植成本产生差异。其变化将直接或间接影响药剂蘸浆造林净效益和纯效益。但由于药剂成本和新增用工成本相对较低, 使其与总效益差距较小, 变化规律基本一致。

3.4 净效益现值

黄土高原造林风险率主要包括干旱、鼠(兔)危害和其他因素造成林木损失以及重新补植成本, 是随时间、地区和树种变化的动态值<sup>[22-24]</sup>。因为药剂蘸浆造林净效益是去除以上因素造成损失的净增值, 因此, 不存在上述风险。由于在计算林木产值时未考虑价格上涨因素, 因而, 折现时应消除; 可以采用各年  $CPI$  指数计算。2009—2011 年我国  $CPI$  指数为  $-0.7\%$ 、 $3.2\%$ 、 $5.5\%$ , 2012 年预测为  $4.6\%$ <sup>[23-25]</sup>, 以后效益分析时应予考虑。

参考文献:

[1] 马宁, 何兴元, 石险峰, 等. 基于 i-Tree 模型的城市森林经济效益评估[J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 810-815.  
MA N, HE X Y, SHI X F, *et al.* Assessment of urban forest economic benefits based on i-Tree model[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(4): 810-815. (in Chinese)

[2] BRUSE M, FLEER H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimension alnumerical model [J]. Environmental Modelling and Software, 1998(13): 373-384.  
[3] 谢晨, 黄东, 袁梅, 等. 2010 退耕还林工程社会经济效益监测报告[C]//2010 国家林业重点工程社会经济效益监测报告. 北京: 中国林业出版社, 2011.  
[4] 刘东生, 谢晨, 刘建杰, 等. 退耕还林的研究进展、理论框架与经济影响—基于全国 100 个退耕还林县 10 年的连续监测结果 [J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2011, 10(3): 74-79.  
LIU D S, XIE C, LIU J J, *et al.* Research advances, theory framework and economic impacts of land conversion from farm-land back to forestland: based on monitoring results of 10 years in 100 sample counties in China [J]. Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences, 2011, 10(3): 74-79. (in Chinese)  
[5] 王辉, 殷振江, 李撑娟, 等. 长武县测土配方施肥对玉米产量及经济效益的影响 [J]. 陕西农业科学, 2011(6): 18-19.  
[6] 晋小军, 任应宗, 晋昕, 等. 甘肃主产大宗中药材产业链经济效益比较分析 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2011, 13(5): 800-806.  
[7] 张正峰, 赵伟. 土地整理的资源与经济效益评估方法 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 295-299.  
ZHANG Z F, ZHAO W. Evaluation methodology for resource and economic profits of land consolidation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(3): 295-299. (in Chinese)  
[8] 盛婧, 郑建初, 陈留根, 等. 现阶段作物生产的生态与经济效益评估—以江苏省为例 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 157-160.  
SHENG J, ZHENG J C, CHEN L G, *et al.* Evaluation of ecological and economic benefits of crop production in Jiangsu Province [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(4): 157-160. (in Chinese)  
[9] 刘亚旭, 龚小军, 高蓉, 等. 科技投入产出评价方法探析 [J]. 中国科技论坛, 2007(4): 36-41.  
[10] 王亚伟, 杨瑞, 陈振, 等. 基于投入产出理论的河南省农业关联效应分析 [J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(2): 224-228.  
WANG Y W, YANG R, CHEN Z, *et al.* Analysis of the industry correlation of agriculture in Henan province based on input-output theory [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2010, 44(2): 224-228. (in Chinese)  
[11] 王周绪, 姜全飞. 中国林业行业基准贴现率研究 [J]. 林业经济, 2006(6): 39-44.  
[12] 于丽丽. 基于动态贴现率下林木资源资产评估方法改进的研究 [D]. 南昌: 江西农业大学, 2011.  
[13] 王立苍. 森林资源资产评估中利率确定方法探讨 [J]. 林业调查规划, 2010(6): 68-70.  
[14] 周经纬, 张勇. 林木资产价值评估方法探讨 [J]. 商业会计, 2011(1): 66-67.  
[15] 王宏伟, 霍振彬, 赵建平. 对《森林资源资产评估技术规范》中若干问题的探讨 [J] 1. 林业资源管理, 2009(1): 31-34.