

# 纳米型植物抗逆剂蘸浆造林抗旱作用分析

李健康<sup>1,2</sup>, 韩崇选<sup>1\*</sup>, 张芳宝<sup>3</sup>, 杨公昌<sup>4</sup>, 崔亮<sup>5</sup>, 刘耀华<sup>6</sup>

(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; 4. 宝鸡市森林病虫害防治检疫站, 陕西 宝鸡 712100;  
5. 陕西省龙草坪林业局, 陕西 杨陵 712100; 6. 秦岭国家植物园, 陕西 西安 710061)

**摘要:**采用蘸浆造林方法比较了 3 个试验地使用纳米型植物抗逆剂(NPA)和多效抗旱驱鼠剂(RPA)处理后的侧柏和油松林木保存率和苗高的差异。结果显示:年均降水量不是决定试验地油松和侧柏保存率的主要因子;NPA 对林木保存率和苗高生长的促进作用大于 RPA,说明用 NPA 和 RPA 对侧柏和油松进行蘸浆处理能显著地提高苗木的保存率和苗高生长量。

**关键词:**纳米型植物抗逆剂;蘸浆造林;抗旱;促长

**中图分类号:**S725.71      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)06-0104-06

## Drought Resistance and Growth Promoting Functions of Nano-type Plant Anti-adversity Agent

LI Jian-kang<sup>1,2</sup>, HAN Chong-xuan<sup>1\*</sup>, ZHANG Fang-bao<sup>3</sup>, YANG Gong-chang<sup>4</sup>,  
CUI Liang<sup>5</sup>, LIU Yao-hua<sup>6</sup>

(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. Yanan Station of Forest Pest Management, Yanan, Shaanxi, 716000, China;  
4. Baoji Station of Forest Pest Management, Xianyang, Shaanxi, 712100, China; 5. Shaanxi Longcaoping Forestry Bureau, Yangling, Shaanxi 712100, China; 6. Qinling National Botanical Garden, Xi'an, Shaanxi 710061, China)

**Abstract:**Seedlings of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* were adopted for afforestation. The roots were dipped in two types of slurries that contained NPA and RPA. Differences in preservation rate and seedling growth height were compared. It was revealed that the average annual rainfall was not a major factor for the preservation rate, and the functions of promoting height growth and preservation rate for NPA were better than those of RPA. The two reagents could significantly improve the seedling preservation rate and seedling height growth.

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

预防害鼠危害的方法很多,其中利用驱避剂预防是一种有效的策略<sup>[1-12]</sup>。但是由于各类驱避剂的作用效果和有效期差异很大,加之不同树种生长速率的差异,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<sup>[13-22]</sup>。

为此,开展纳米型植物抗逆剂和多效抗旱驱鼠剂蘸浆造林效果比较研究,为实现纳米型植物抗逆剂的科学、合理和有效使用提供参考。

### 1 材料与方法

2008 年 7 月通过踏查,确定代表黄土高原 3 种

收稿日期:2013-11-14 修回日期:2014-02-25

基金项目:国家林业公益性行业专项(201404405);国家林业局推广项目项目([2015]24 号)。

作者简介:李健康,男,高级工程师,研究方向:森林有害生物治理。E-mail:1964lj@163.com

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

典型立地条件的榆林市米脂县杨家沟(110°27'E, 37°46'N)、延安市宝塔区长春沟(109°48'E, 36°60'N)和宝鸡市麟游县崔木(107°78'E, 34°68'N)为试验区。3 个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。米脂县试区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, 宝塔区试区土壤有垆土、黑垆土、黄绵土等, 麟游县试区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 pseudoacacia*)、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, 为鼢鼠(*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 年生侧柏和油松苗进行蘸浆处理, 各浓度设 3 次重复, 每重复 0.2 hm<sup>2</sup>, 造林密度 1 650 株·hm<sup>-2</sup>。造林后, 于 2009 年 4 月、10 月和 2011 年 10 月, 分别测量统计各处理苗木的高生长量和保存率, 对调查数据分类整理, 利用 3 次重复值计算平均值和标准误差, 比较不同处理方法的差异, 评价 2 种药剂对苗木保存率和生长量的影响<sup>[17-19]</sup>。田间蘸浆造林试验是对棚内试验的验证。因为它的条件完全符合自然造林现场的条件, 试验的结果更加可靠, 更加符合实际。

## 2 结果与分析

### 2.1 对林木保存率的影响

2.1.1 油松保存率变化 3 个试验区以地理位置从北向南, 其降雨量增加, 2 种药剂处理与对照定植 1 年和 3 年油松保存率均有上升, 药剂处理与对照保存率有明显的差异(图 1)。

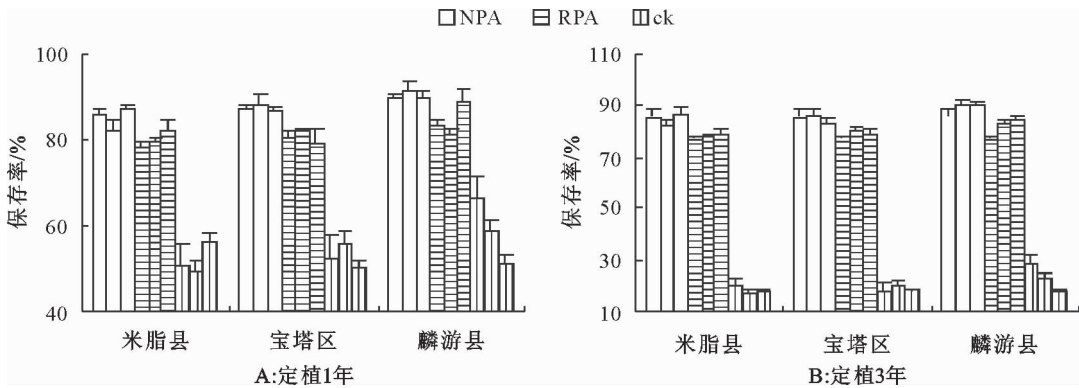


图 1 NPA 和 RPA 蘸浆造林油松保存率比较

Fig. 1 Comparison of preservation rate of Chinese pine seedlings between NPA and RPA

从定植 1 年的油松保存率可以看出, 榆林米脂试验点 NPA 和 RPA 处理后油松的保存率分别为 85.0%±1.5% 和 79.9%±1.0%, 相差 5.1%±1.6%, 增益指数 6.4%±2.0%, 差异显著( $F=7.866, p=0.049$ ); 延安宝塔试验点的为 87.1%±0.5% 和 80.4%±0.7%, 相差 6.7%±0.2%, 相对增益率为 8.3%±0.3%, 差异极显著( $F=61.069, p=0.001$ ); 而宝鸡麟游试验点为 90.2%±0.4% 和 84.4%±2.2%, 相差 5.8%±2.4%, 增益率 7.0%±3.0%, 差异不显著( $F=6.839, p=0.059$ )。说明使用 NPA 的油松保存率明显高于使用 RPA。NPA 与对照相比, 3 个试验地从北向南, 处理油松保存率比对照依次提高了 32.9%±1.3%、34.2%±1.1% 和 31.3%±4.6%, 增益指数分别为 63.5%±4.9%、64.9%±3.9% 和 55.0%±11.8%, 处理

与对照差异十分显著( $F=156.720、435.891、49.167, p=0.000、0.000、0.002$ )。RPA 比对照提高了 27.8%±1.4%、27.5%±0.9% 和 25.5%±6.2%, 增益率 53.7%±4.8%、52.2%±3.1% 和 45.4%±14.3%, 两者差异十分显著( $F=139.334、259.223、26.569, p=0.000、0.000、0.007$ )。说明采用 NPA 和 RPA 蘸浆造林能明显提高油松定植当年的保存率, 且 NPA 的增益率明显大于 RPA(图 1A)。

从定植 3 年油松保存率结果可以看出, 经 NPA 和 RPA 处理后, 榆林米脂、延安宝塔和宝鸡麟游试验点的油松保存率依次相差 6.9%±1.5%、5.7%±0.9% 和 8.0%±1.7%, 增益率为 8.9%±1.9%、7.2%±1.1% 和 10.0%±2.5%。其中, 米脂的差异显著( $F=17.425, p=0.014$ ), 宝塔的差异极显著( $F=28.900, p=0.006$ ), 麟游的差异显著( $F=$

12.350,  $p = 0.025$ )。NPA 比对照依次提高了 66.4%±1.4%、65.7%±0.8%和 66.2%±3.6%，增益指数分别达 366.3%±20.8%、348.6%±14.1%和 301.9%±57.7%；各试验区差异均十分显著 ( $F = 1\ 505.134$ 、 $3\ 474.369$ 、 $422.925$ ,  $p = 0.000$ )。RPA 与对照保存率差异也十分显著,差值依次为 59.5%±1.6%、60.0%±0.2%和 58.2%±5.3%，增益率为 328.9%±24.0%、316.6%±11.7%和 268.0%±60.2%，差异极显著 ( $F = 2\ 457.470$ 、 $4\ 518.828$ 和  $225.883$ ,  $p = 0.000$ ;图 1B)。

定植 1 年和定植 3 年保存率对比分析,NPA 处理米脂、宝塔和麟游试验点的保存率仅相差 0.3%

±0.3%、2.4%±0.4%和 0.9%±0.3%，差异不显著 ( $F = 0.25$ 、 $5.799$ 、 $1.889$ ,  $p = 0.882$ 、 $0.074$ 、 $0.241$ )；RPA 分别相差 2.1%±0.3%、1.4%±0.6%和 3.1%±2.2%，差异也不显著 ( $F = 2.854$ 、 $2.512$ 、 $0.994$ ,  $p = 0.166$ 、 $0.188$ 、 $0.375$ )；而与对照相差达 33.9%±2.4%、33.9%±1.2%和 35.8%±1.3%，差异达极显著 ( $F = 212.617$ 、 $395.824$ 、 $42.840$ ,  $p = 0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.003$ ;图 1)。

2.1.2 侧柏保存率变化 与油松保存率变化规律类似,也表现为 3 个试验地从北向南的保存率逐渐降低,而且 2 药剂间以及药剂与对照间林木保存率均存在差异 (图 2)。

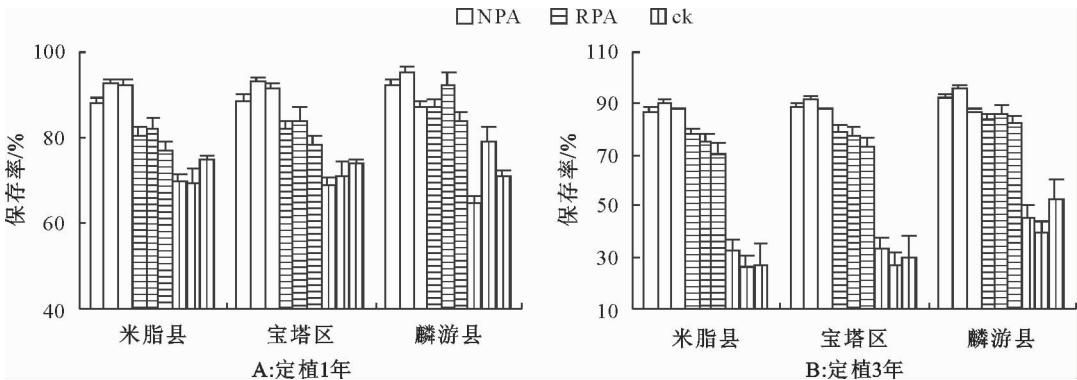


图 2 NPA 和 RPA 蘸浆造林侧柏保存率比较

Fig. 2 Comparison of preservation rate of arborvitae seedlings between NPA and RPA

榆林米脂试验点 2 种药剂处理定植当年的油松保存率分别为 90.8%±1.6%和 79.6%±1.5%，相差 11.2%±2.3%，增益 14.2%±3.1%，差异极显著 ( $F = 27.072$ ,  $p = 0.007$ )；延安宝塔试验区两者的为 90.9%±1.3%和 81.2%±1.6%，差值和增益为 9.8%±1.7%和 12.1%±2.4%，差异显著 ( $F = 21.441$ ,  $p = 0.010$ )；宝鸡麟游试验点的分别为 91.5%±2.4%和 87.6%±2.4%，相差仅为 4.0%±0.7%，增益率为 4.5%±0.7%，差异不显著 ( $F = 1.344$ ,  $p = 0.311$ )。与对照相比,3 个试验点 NPA 处理的侧柏保存率依次提高了 19.5%±2.0%、18.6%±1.4%和 19.9%±3.9%，增益率分别为 27.4%±3.2%、27.5%±2.3%和 28.5%±7.1%。其中,米脂和宝塔的差异极显著 ( $F = 71.261$ 、 $99.471$ ,  $p = 0.001$ )，麟游的差异显著 ( $F = 16.610$ ,  $p = 0.015$ )。RPA 处理与对照相比,保存率依次提高了 8.2%±3.2%、9.8%±2.8%和 15.9%±3.2%，增益指数分别为 11.8%±4.6%、13.9%±4.1%和 22.8%±5.9%，差异均达显著水平 ( $F = 13.312$ 、 $20.139$ 、 $10.669$ ,  $p = 0.022$ 、 $0.011$ 、 $0.031$ ;图 2A)。

定植 3 年时,米脂和宝塔试验点的 NPA 和

RPA 处理侧柏保存率相差 12.6%±2.4%和 12.4%±1.8%，增益 18.4%±3.7%和 16.3%±2.7%，差异极显著 ( $F = 34.324$ 、 $21.010$ ,  $p = 0.004$ 、 $0.005$ )；麟游试验点两者的相差 7.5%±1.3%，增益 8.9%±1.5%，差异显著 ( $F = 8.149$ ,  $p = 0.046$ )。与对照相比,3 个试验点的 NPA 保存率依次增加了 59.5%±2.8%、58.6%±2.8%和 45.4%±6.2%，增益分别达 209.8%±22.7%、196.5%±21.6%和 102.1%±21.6%，差异均十分显著 ( $F = 741.014$ 、 $750.262$ 、 $103.408$ ,  $p = 0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.001$ )。RPA 与对照相比,依次提高了 45.9%±1.6%、46.3%±2.3%和 37.9%±4.8%，增益为 161.3%±13.8%、154.8%±16.0%和 85.1%±17.4%，差异也极显著 ( $F = 248.087$ 、 $313.667$ 、 $93.998$ ,  $p = 0.000$ 、 $0.000$ 、 $0.001$ ;图 2B)。

定植当年与 3 年保存率相比,3 个试验点的 NPA 处理区依次降低了 2.6%±1.0%、2.1%±0.8%和 0.1%±0.1%，差异不显著 ( $F = 2.018$ 、 $1.409$ 、 $0.001$ ,  $p = 0.228$ 、 $0.301$ 、 $0.978$ )；RPA 处理区依次降低了 4.9%±1.3%、4.7%±1.1%和 3.7%±1.4%，差异也不显著 ( $F = 3.552$ 、 $3.516$ 、

1.930,  $p=0.133, 0.134, 0.237$ ); 而 3 个试验点对照区, 定植 3 年的保存率比定植当年的依次降低了  $42.6\% \pm 2.9\%$ 、 $41.1\% \pm 2.8\%$  和  $25.6\% \pm 7.0\%$ 。其中, 米脂和宝塔点的差异极显著 ( $F=265.461, 313.389, p=0.000$ ), 麟游点的差异显著 ( $F=20.543, p=0.011$ ; 图 2)。

2.2 对林木高生长的影响

2.2.1 对油松株高生长的影响 从宝鸡麟游的试验结果分析, NPA、RPA 和对照的初植苗高依次为  $28.9 \pm 0.9$  cm、 $29.3 \pm 0.8$  cm 和  $29.7 \pm 1.0$  cm, 组间差异不显著 ( $F=0.433, p=0.668$ )。2 种药剂相比, 定植当年苗高分别为  $32.2 \pm 1.5$  cm 和  $31.8 \pm 1.7$  cm, 差异不显著 ( $F=0.631, p=0.472$ ); 年净生长  $3.3 \pm 0.3$  cm 和  $2.5 \pm 0.1$  cm, 增益率  $2.5\% \pm 0.9\%$ , 差异显著 ( $F=8.727, p=0.042$ )。对照定植当年苗高为  $30.8 \pm 2.4$  cm, 年净生长  $1.1 \pm 0.2$  cm, 与 NPA 和 RPA 相比苗高差异不显著 ( $F=2.527, 1.088, p=0.187, 0.256$ ), 而年净生长增益指数分别为  $7.1\% \pm 1.3\%$  和  $4.5\% \pm 0.6\%$ , 差异极显著 ( $F=309.243, 34.588, p=0.003, 0.004$ ; 表 1)。

表 1 NPA 和 RPA 处理对 2 年生油松的抗旱促长效果  
Table 1 Drought resistance and promoting growth effects of NPA and RPA for biennial Chinese pine

| 处理  | 重复  | 试验株数/株 | 初苗高/cm         | 苗高/cm          |                |
|-----|-----|--------|----------------|----------------|----------------|
|     |     |        |                | 定植 1 年         | 定植 3 年         |
| NPA | I   | 300    | $28.5 \pm 2.0$ | $31.7 \pm 2.3$ | $56.6 \pm 3.1$ |
|     | II  | 300    | $29.4 \pm 1.8$ | $32.3 \pm 1.9$ | $59.7 \pm 2.8$ |
|     | III | 300    | $28.9 \pm 2.5$ | $32.7 \pm 2.1$ | $55.2 \pm 2.6$ |
|     | 统计  | 900    | $28.9 \pm 0.9$ | $32.2 \pm 1.5$ | $57.2 \pm 2.3$ |
| RPA | I   | 300    | $28.6 \pm 1.9$ | $31.0 \pm 1.8$ | $52.3 \pm 3.3$ |
|     | II  | 300    | $29.2 \pm 2.4$ | $31.8 \pm 2.2$ | $53.3 \pm 3.6$ |
|     | III | 300    | $30.1 \pm 2.1$ | $32.6 \pm 2.5$ | $51.8 \pm 3.7$ |
|     | 统计  | 900    | $29.3 \pm 0.8$ | $31.8 \pm 1.7$ | $52.5 \pm 2.8$ |
| 对照  | I   | 300    | $28.7 \pm 2.3$ | $29.4 \pm 3.0$ | $42.4 \pm 3.8$ |
|     | II  | 300    | $29.0 \pm 1.7$ | $30.5 \pm 2.8$ | $38.2 \pm 5.6$ |
|     | III | 300    | $31.3 \pm 2.4$ | $32.4 \pm 3.6$ | $43.7 \pm 6.3$ |
|     | 统计  | 900    | $29.7 \pm 1.0$ | $30.8 \pm 2.4$ | $41.4 \pm 4.1$ |

2 种药剂定植 3 年时的苗高分别为  $57.2 \pm 2.3$  cm 和  $52.5 \pm 2.8$  cm, 差异显著 ( $F=11.258, p=0.028$ ); 净生长为  $28.2 \pm 1.2$  cm 和  $23.2 \pm 0.7$  cm, 增益率为  $8.1\% \pm 1.5\%$ , 差异显著 ( $F=13.591, p=0.021$ )。对照 3 年苗高  $41.4 \pm 4.1$  cm, 净生长  $11.8 \pm 1.3$  cm。与 NPA 相比, 苗高降低了  $15.7 \pm 3.0$  cm, 差异极显著 ( $F=54.738, p=0.002$ ); 净生长减少了  $16.5 \pm 2.3$  cm, 增益指数为  $35.1\% \pm 8.3\%$ , 差异极显著 ( $F=86.753, p=0.001$ )。与 RPA 比较, 对照苗高降低了  $11.0 \pm 2.1$  cm, 差异极显著 ( $F=41.281, p=0.003$ ); 净生长减少了  $11.4 \pm 1.8$  cm,

增益率  $24.6\% \pm 5.8\%$ , 差异也非常明显 ( $F=55.565, p=0.002$ ; 表 1)。

2.2.2 对侧柏株高生长的影响 NPA 和 RPA 处理与其对照的初植苗高依次为  $41.7 \pm 1.3$  cm、 $42.0 \pm 1.4$  cm 和  $41.7 \pm 1.5$  cm, 差异不显著 ( $F=0.467, p=0.648$ )。NPA 与 RPA 相比, 定植当年苗高分别为  $46.9 \pm 2.1$  cm 和  $45.9 \pm 2.3$  cm, 相差  $1.0 \pm 0.1$  cm, 差异不显著 ( $F=0.782, p=0.426$ ); 净生长为  $5.2 \pm 0.8$  cm 和  $3.9 \pm 1.0$  cm, 相差  $1.2 \pm 0.3$  cm, 增益率  $2.7\% \pm 0.7\%$ , 差异几达显著水平 ( $F=7.722, p=0.050$ )。定植 3 年的苗高分别为  $101.2 \pm 4.9$  cm 和  $96.9 \pm 6.2$  cm, 相差  $4.3 \pm 0.9$  cm, 差异不显著 ( $F=5.088, p=0.087$ ); 净生长为  $59.5 \pm 1.8$  cm 和  $54.9 \pm 0.9$  cm, 增益率  $3.4\% \pm 0.9\%$ , 差异显著 ( $F=9.431, p=0.043$ ; 表 2)。NPA 与对照相比, 定植当年苗高提高  $3.2 \pm 0.5$  cm, 差异显著 ( $F=16.984, p=0.015$ ), 净生长相差  $3.3 \pm 0.7$  cm, 增益率  $7.5\% \pm 1.6\%$ , 差异显著 ( $F=15.591, P=0.017$ ); 定植 3 年时两者苗高相差  $21.3 \pm 4.4$  cm, 差异极显著 ( $F=42.751, p=0.003$ ); 净生长相差  $21.3 \pm 4.8$  cm, 增益指数为  $23.1\% \pm 6.0\%$ , 差异极显著 ( $F=37.336, p=0.004$ )。RPA 与对照相比, 定植 1 年时, 苗高增加了  $2.3 \pm 0.6$  cm, 差异不显著 ( $F=7.060, p=0.057$ ); 净生长量增加  $2.0 \pm 0.8$  cm, 增益指数为  $4.6\% \pm 1.9\%$ , 差异也不显著 ( $F=4.272, p=0.108$ )。定植 3 年时, 处理苗高比对照提高了  $17.1 \pm 3.6$  cm, 差异极显著 ( $F=34.076, p=0.004$ ); 苗木净生长提高了  $14.8 \pm 3.2$  cm, 增益率达  $18.9\% \pm 4.7\%$ , 差异也极显著 ( $F=28.745, p=0.006$ )。

表 2 NPA 和 RPA 处理对 2 年生侧柏的抗旱促长效果  
Table 2 Drought resistance and promoting growth effects of NPA and RPA for biennial arborvitae

| 处理  | 重复  | 试验株数/株 | 初苗高/cm         | 苗高/cm          |                 |
|-----|-----|--------|----------------|----------------|-----------------|
|     |     |        |                | 定植 1 年         | 定植 3 年          |
| NPA | I   | 300    | $41.2 \pm 3.1$ | $47.5 \pm 3.2$ | $103.8 \pm 7.2$ |
|     | II  | 300    | $42.1 \pm 2.6$ | $47.7 \pm 2.5$ | $101.5 \pm 9.1$ |
|     | III | 300    | $41.8 \pm 2.9$ | $45.4 \pm 3.4$ | $98.2 \pm 8.4$  |
|     | 统计  | 900    | $41.7 \pm 1.3$ | $46.9 \pm 2.1$ | $101.2 \pm 4.9$ |
| RPA | I   | 300    | $41.7 \pm 3.2$ | $46.5 \pm 2.7$ | $98.0 \pm 10.1$ |
|     | II  | 300    | $41.9 \pm 2.5$ | $46.9 \pm 3.5$ | $97.2 \pm 9.8$  |
|     | III | 300    | $42.3 \pm 3.0$ | $44.3 \pm 3.1$ | $95.5 \pm 8.7$  |
|     | 统计  | 900    | $42.0 \pm 1.4$ | $45.9 \pm 2.3$ | $96.9 \pm 6.2$  |
| 对照  | I   | 300    | $42.1 \pm 3.3$ | $44.0 \pm 4.7$ | $74.9 \pm 13.7$ |
|     | II  | 300    | $41.6 \pm 2.7$ | $43.8 \pm 3.1$ | $79.9 \pm 18.5$ |
|     | III | 300    | $41.5 \pm 2.9$ | $43.1 \pm 4.6$ | $84.7 \pm 21.3$ |
|     | 统计  | 900    | $41.7 \pm 1.5$ | $43.6 \pm 3.3$ | $79.8 \pm 11.6$ |

### 3 结论与讨论

不同树种的生长特性和抗逆性存在差异,加之不同抗逆剂对其影响程度不同,使得蘸浆造林后林分状态差异很大,林下植被组成和结构也发生相应变化<sup>[23]</sup>。从而直接或间接引起害鼠隐蔽度、食物丰盛度等生物因子的差异,造成不同树种、不同抗逆剂蘸浆造林林地害鼠发生规律改变<sup>[24-25]</sup>,进而引起其林木保存率和生长量的变化。

药剂处理林木保存率与年均降水量呈显著正相关,而对照与年均降水量相关不显著,说明年均降水量不是影响对照保存率的关键因素。2 种药剂比较,NPA 的效果明显强于 RPA;不同树种相比,NPA 和 RPA 对油松保存的影响大于对侧柏的影响;从不同试验地比较,2 种药剂处理定植当年和 3 年的林木保存率差异不显著,而对照的差异显著。3 个试验点 NPA 处理定植当年和 3 年时的油松保存率均值比对照分别提高了  $32.8\% \pm 1.5\%$  和  $66.1\% \pm 1.1\%$ ,RPA 提高了  $27.0\% \pm 1.9\%$  和  $59.2\% \pm 1.6\%$ ,差异极显著。侧柏 NPA 处理比对照提高了  $19.6\% \pm 1.3\%$  和  $54.5\% \pm 3.1\%$ ,RPA 处理增加了  $11.3\% \pm 1.9\%$  和  $43.3\% \pm 2.1\%$ ,差异显著。

定植当年,2 种药剂处理油松和侧柏苗高差异不显著,与对照相比,年净生长量差异极显著。定植 3 年时,2 种药剂间、药剂与对照间的苗高及其年净生长量差异均显著。其中,NPA 处理油松和侧柏苗高为  $57.2 \pm 2.3$  cm 和  $101.2 \pm 4.9$  cm,比对照提高了  $15.7 \pm 3.0$  cm 和  $21.3 \pm 4.4$  cm,增益指数为  $35.1\% \pm 8.3\%$  和  $23.1\% \pm 6.0\%$ ,差异极显著;RPA 为  $52.5 \pm 2.8$  cm 和  $96.9 \pm 6.2$  cm,比对照增加了  $11.0 \pm 2.1$  cm 和  $17.1 \pm 3.6$  cm,增益指数为  $24.6\% \pm 5.8\%$  和  $18.9\% \pm 4.7\%$ ,差异极显著。

#### 参考文献:

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

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

[3] 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.

[4] JOHNSTON J J., GOLDADE D A, CHIPMAN R. B. Capsaicin migration through maple sap collection tubing[J]. Crop Protection, 2002, 21(2):1109-1112.

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

[6] 刘克敏. 油松飞播造林应用 HL 粉剂拌种防止鼠害的研究[J]. 林业科技通讯,1991(7):25-27

[7] 李怀忠. 种子拌药提高柠条出苗率[J]. 植物保护,1986,12(6):48

[8] 姚显明,李久林,白日. 油松种子涂色模拟飞播造林学鸟、鼠试验初报[J]. 辽宁林业科技,1986(6)51-53

[9] 张振核. 鸟鼠忌食新药剂试验研究初报[J]. 福建林业科技,1992(3):38

[10] 宋廷国. 飞播治沙中应用多效复合剂拌种成效调查[J]. 辽宁林业科技,2000(4):34-35

[11] 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

[12] 毛秀齐,张永杰,张永生,等. 油松林用保水剂包衣种子飞播造林试验报告[J]. 河南林业科技,2000,20(4):13-14

[13] 杨学军,韩崇选,王明春,等. 多效抗旱驱鼠剂室内效果研究[J]. 西北林学院学报,1999,14(4):63-68

YANG X J, HAN C X, WANG M C, *et al.* An indoor test on the effects of RPA on seed protection and growth[J]. Journal of Northwest Forestry University, 1999,14(4): 63-68. (in Chinese)

[14] 杨学军,韩崇选,王明春,等. 多效抗旱驱鼠剂对种苗生长影响研究[J]. 西北农业学报,2001,10(1):25-28

YANG X J, HAN C X WANG M C, *et al.* Study on the effect of RPA on growing of seed and nursery stock[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2001, 10(1): 25-28. (in Chinese)

[15] 王明春,韩崇选,杨学军,等. 多效抗旱驱鼠剂对黄豆促长作用研究[J]. 陕西林业科技,2000(3),35-37

[16] 王明春,韩崇选,杨学军,等. 多效抗旱驱鼠剂对田间小麦促长增产效果研究[J]. 西北植物学报,2001,21(4):678-683

WANG M C, HAN C X, YANG X J, *et al.* Effects of RPA on seedling growth and yield of winter wheat[J]. Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin., 2001, 21(4): 678-683. (in Chinese)

[17] 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)

[18] 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)

[19] 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)

[20] 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)

[21] 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)

[22] 广东省林科所马尾松飞播防鼠鸟害调查组. 川豫陕三省应用 R-8 复合忌食剂防止鼠鸟取食飞(撒)播油松种子效果的调查报告[J]. 广东林业科技, 1989(6): 1-2

[23] 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)

[24] 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)

[25] 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 C, 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)

(上接第 103 页)

[4] 中国油脂植物编写委员会. 中国油脂植物[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 90-92.

[5] 傅立国, 陈潭清, 郎楷永, 等. 中国高等植物: 第 7 卷[M]. 青岛: 青岛出版社, 2001: 722-737.

[6] 吴裕, 张凤良, 何美莹, 等. 云南油料树种硬核野生分布调查[J]. 热带农业科技, 2015, 38(1): 24-26.

[7] 王静萍, 李京民, 于凤兰. 硬核油的炔酸成分研究[J]. 云南植物研究, 1992, 14(1): 101-104.

[8] 邵文豪, 姜景民, 董汝湘, 等. 不同产地无患子果皮皂苷含量的地理变异研究[J]. 植物研究, 2012, 32(5): 627-631.

SHAO W H, JIANG J M, DONG R X, *et al.* Geographic variation of saponins contents in *Sapindus mukorossi* peels from different habitats [J]. Bulletin of Botanical Research, 2012, 32 (5): 627-631. (in Chinese)

[9] 邵红, 李钧敏, 金则新, 等. 不同产地大血藤次生代谢产物含量比较[J]. 植物研究, 2006, 26(3): 342-348.

SHAO H, LI J M, JN Z X. The comparison of the secondary metabolism content in *Sargentodoxa cuneata* from different producing areas [J]. Bulletin of Botanical Research, 2006, 26 (3): 342-348. (in Chinese)

[10] 何承忠, 张晏, 段安安, 等. 滇杨优树无性系苗期叶片性状变异分析[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(6): 28-32.

HE C Z, ZHANG Y, DUAN A A, *et al.* Variation analysis on leaf traits in seedling duration of *Populus yunnanensis* plus tree clones [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(6): 28-32. (in Chinese)

[11] 吴裕, 张凤良, 毛常丽, 等. 野生硬核种子表型变异分析[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(8): 29-33.

WU Y, ZHANG F L, MAO C L, *et al.* Phenotype Variations of Seed in Wilding *Scleropyrum wallichianum* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2015, 43 (8): 29-33. (in Chinese)

[12] 戴晓峰, 肖玲, 武玉花, 等. 植物脂肪酸去饱和酶及其编码基因研究进展[J]. 植物学通报, 2007, 24(1): 105-113.

DAI X F, XIAO L, WU Y H, *et al.* An overview of plant fatty acid desaturases and the coding genes [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24 (1): 105-113. (in Chinese)

[13] 丁兆坤, 麻艳群, 许友卿. 合成高度不饱和脂肪酸去饱和酶的分子生物学研究 I. 结构与功能[J]. 中国生物工程杂志, 2008, 28(6): 196-200.

[14] 曾硕士, 江黎明, 元冬娟. 脂肪酸去饱和酶的研究进展[J]. 生命科学, 2008, 20(5): 816-820.

ZENG S S, JIANG L M, YUAN D J. Research and development of fatty acid desaturase [J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2008, 20 (5): 816-820. (in Chinese)

[15] 周荣汉, 段金廌. 植物化学分类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 191-209.