

纳米型植物抗逆剂对油松抗旱促长作用研究

张斌善<sup>1,2</sup>, 韩崇选<sup>1\*</sup>, 张芳宝<sup>3</sup>, 王培新<sup>4</sup>, 杨公昌<sup>5</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. 汉中市森林病虫害防治检疫站, 陕西 汉中 723000;  
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. 宝鸡市森林病虫害防治检疫站, 陕西 宝鸡 721000)

**摘 要:**纳米型植物抗逆剂是西北农林科技大学鼠害治理研究中心研制的无公害多功能植物保健剂, 集抗旱、保水、促长和预防鼠(兔)害功能于一体。采用模拟蘸浆造林方法比较了纳米型植物抗逆剂(NPA)和多效抗旱驱鼠剂(RPA)的抗旱促长作用差异。结果表明, NPA 和 RPA 处理保存率和土壤水分的关系符合 Quadratic-模型规律, 其对保存率增益指数为  $240.7\% \pm 133.5\%$  和  $198.1\% \pm 86.8\%$ , 苗高为  $54.7\% \pm 2.7\%$  和  $49.6\% \pm 1.5\%$ , 地径为  $71.0\% \pm 2.0\%$  和  $56.1\% \pm 1.6\%$ , 根长为  $77.90\% \pm 2.52\%$  和  $76.65\% \pm 1.40\%$ , 根茎比为  $16.82\% \pm 2.03\%$  和  $18.18\% \pm 1.14\%$ 。证明使用纳米型植物抗逆剂和多效抗旱驱鼠剂 150 倍水溶液进行蘸浆造林, 能显著提高油松保存率和生长量, 且土壤缺水时, 效果更明显。

**关键词:**纳米型植物抗逆剂; 多效抗旱驱鼠剂; 蘸浆造林; 抗旱; 促长

**中图分类号:**S791.254      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)02-0121-08

Functions of Drought Resistance and Growth Promotion of Nano-type Plant Anti-adversity Agent to Chinese Pine Seedlings

ZHANG Bin-shan<sup>1,2</sup>, HAN Chong-xuan<sup>1\*</sup>, ZHANG Fang-bao<sup>3</sup>, WANG Pei-xin<sup>4</sup>, YANG Gong-chang<sup>5</sup>,  
WANG Ming-chun<sup>1</sup>, YANG Qing-e<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Hanzhong Station of Forest Pest Management, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 3. Yanan Station of Forest Pest Management, Yanan, Shaanxi 716000, China;  
4. Shaanxi Station of Forest Pest Management, Xi'an, Shaanxi 710082, China;  
5. Baoji Station of Forest Pest Management, Baoji, Shaanxi 721000, China)

**Abstract:** A nano-type plant anti-adversity agent (NPA) developed by the Research Center of Rodent Pest Management of Northwest A&F University, is a multi-functional plant health care with pollution-free rodent repellent. It has integrated functions of fighting drought, water retention, promoting growth and preventing rodent. We compared the differences in growth effect between NPA and RPA by used the simulated root dipping afforestation. The results showed that the relationship between the seedlings preserving rate and soil moisture was in accordance with the Quadratic-model. The contribution rates of NPA and RPA to the extra index of the survival rate were  $240.7\% \pm 133.5\%$  and  $198.1\% \pm 86.8\%$ , , and to the extra index of the seedling height were  $54.7\% \pm 2.7\%$  and  $49.6\% \pm 1.5\%$ , to the extra index of the ground diameter were  $71.0\% \pm 2.0\%$  and  $56.1\% \pm 1.6\%$ , to the extra index of the root length were  $77.90\% \pm 2.52\%$  and  $76.65\% \pm 1.40\%$ , to the extra index of the root-to -stem ratio were  $16.82\% \pm 2.03\%$  and  $18.18\% \pm 1.14\%$ , respectively. The results demonstrated that using the NPA and RPA with 150 times a-

收稿日期:2013-11-14    修回日期:2014-03-03  
基金项目:国家林业公益性行业专项(201404405);国家林业局重点项目(2012-02)。  
作者简介:张斌善,男,高级工程师,研究方向:森林病虫害治理。  
\* 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

queous solutions for root dipping could significantly improve the survival rate and the growth of *Pinus tabulaeformis*, and the function were more significant under soil water deficiency.

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

鼠害是一个世界性的难题,危害涉及人类活动的各个方面,严重威胁人类粮食安全和生态文明建设。从保护目的植物出发,利用驱避剂保护是一种有效的策略<sup>[1-7]</sup>,但是由于各类驱避剂的作用效果和有效期差异很大,对环境的干扰程度也不同,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>[8-15]</sup>。为此,我们进行纳米型植物抗逆剂和多效抗旱驱鼠剂的抗旱促长作用比较研究,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

试验药剂:纳米型植物抗逆剂(NPA),是由西北农林科技大学鼠害治理研究中心利用纳米氧化钙(CaO)的微电磁作用研制的新型植物抗逆剂,

2012 年获得陕西省科学技术一等奖;多效抗旱驱鼠剂(RPA)是一种无公害高科技产品,2001 年获陕西省科技进步一等奖,在林业生产上已广泛使用。试验用苗木是 1 年生油松苗(*Pinus tabulaeformis*),苗高(13.2±1.8)cm,地径(2.3±0.2)mm,根茎比 1:1.72,苗木鲜重(4.6±1.2)g。

试验时,用 NPA 和 RPA 0、50、150、250 倍水溶液兑成泥浆。以苗木根系包被完全为准,分别对油松苗木进行定量蘸浆处理,重复 3 次。2008 年 4 月 12 日定植到 30 cm×50 cm 的花盆中。采取水分含量梯度法测定,即保持盆内土壤水分依次为 12.0%,16.0%,20.0%,24.0%和 28.0%,组内各盆间土壤水分含量±1.0%。每水分梯度处理油松 20 株,随机区组排列。2008 年 10 月,测量各组苗木的高、茎、根的生长量和苗木的鲜重<sup>[12,16]</sup>。数据采用 SPSS15.0 进行模型分析和方差分析。

表 1 棚内模拟蘸浆造林苗木生长量统计

Table 1 The quantity of seedling growth

药剂	生长指标	年净增长/cm				年增益指数/%		
		ck	50	150	250	50	150	250
纳米型植物 抗逆剂 NPA	苗高	5.2±0.8	11.4±3.1	15.5±2.1	13.2±4.2	33.7±11.4	55.2±4.0	43.5±14.3
	地径	3.3±0.1	5.6±0.3	7.1±0.1	5.4±0.2	41.1±8.3	69.8±1.7	37.5±4.2
	根长	4.6±0.2	9.1±1.1	14.0±0.6	10.7±1.3	47.4±7.6	99.6±2.3	64.2±11.6
多效抗旱 驱鼠剂 RPA	苗高	5.3±0.9	10.3±2.7	14.5±1.5	11.1±3.5	27.7±13.6	49.8±0.7	32.1±19.3
	地径	3.0±0.1	4.5±0.4	6.0±0.2	4.2±0.3	21.4±12.5	56.0±2.2	16.1±8.3
	根长	4.1±0.3	8.7±1.3	13.1±0.6	9.5±1.5	43.2±21.6	99.2±1.3	51.6±25.5

## 2 结果与分析

### 2.1 药剂不同用量促长作用分析

用 2 种药剂 50、150 倍和 250 倍水溶液兑成泥浆模拟蘸浆造林,苗木的生长均有不同程度的增加(表 1)。用 NPA 蘸浆处理,油松的苗高、地径和根长净增长比对照分别提高 11.7 cm、4.0 mm 和 9.9 cm,增益指数分别达到 55.2%±4.08%、69.8%±1.7%和 99.6%±2.3%;RPA 苗高、地径和根长净增长比对照分别提高 9.9 cm、3.0 mm 和 9.4 mm,增益指数分别达到 49.8%±0.7%,56.0%±2.2%和 99.2%±1.3%,说明 150 倍处理最接近两者药剂蘸浆造林的理想使用剂量。从各生长指标的增益指数可知,2 种药剂对油松苗木具有显著的促进作用,且各指标随使用剂量的变化趋势一致,但药剂对油松各指标增益指数程度有所差异,其增益指数大

小依次为根长>地径>苗高。证明 2 种药剂对油松苗木根长促长作用大于地径和苗高,苗木根系相对发达。同时也证明 2 种药剂对油松苗木根系的吸水功能均有很好的促进作用。

### 2.2 棚内不同水分条件下苗木保存率变化

不同水分条件下,2 种药剂 150 倍处理油松苗后,苗木的保存率差异很大(表 2)。土壤缺水时,药剂处理保存率明显大于对照,随着土壤水分的增加,两者差幅逐渐缩小,当土壤水分达 24%时,差幅消失;而水分持续增加时,差幅又有所加大。其中,NPA 12%水分处理组保存率比对照提高 50.0%±14.4%,增益指数达 240.7%±133.5%,差异极显著( $F=23.077, p=0.009$ ),平均提高 18.0%±6.0%,增益 60.7%±33.6%,差异显著( $F=5.448, p=0.027$ );RPA 12%水分组保存率比对照增加 45.0%±5.8%,增益达 198.1%±86.8%,差异极

显著( $F=24.300, p=0.008$ ),均值  $15.0\% \pm 5.2\%$ , 增益为  $49.5\% \pm 25.4\%$ , 差异不达显著水平( $F=3.697, p=0.065$ )。2 种药剂相比,前者 12% 水分组比后者保存率提高  $5.0\% \pm 8.7\%$  ( $F=0.600, p=0.482$ ), 平均为  $3.0\% \pm 1.7\%$  ( $F=7.300, p=0.400$ )。说明 NPA 和 RPA 蘸浆造林能提高保存率,尤其在土壤缺水条件下,效果尤为明显;且前者效果尤为明显,相对 RPA,其增益率为  $5.9\% \pm 3.1\%$ 。

表 2 模拟试验苗木保存率变化  
Table 2 Seedling survival rates

水分/%	保存率/%			增益指数/%	
	纳米型抗逆剂 NPA	多效抗旱驱鼠剂 RPA	对照	纳米型抗逆剂 NPA	多效抗旱驱鼠剂 RPA
12.0	80.0±5.8	75.0±2.9	30.0±8.7	240.7±133.5	198.1±86.8
16.0	95.0±2.9	90.0±2.9	70.0±11.5	45.2±29.3	37.1±27.1
20.0	100.0±0.0	100.0±0.0	95.0±2.9	5.5±3.2	5.5±3.2
24.0	100.0±0.0	100.0±0.0	100.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
28.0	100.0±0.0	95.0±2.9	90.0±5.8	12.0±7.2	6.9±10.1
统计 Stat.	95.0±2.3	92.0±2.6	77.0±7.3	60.7±33.6	49.5±25.4

2 种药剂处理和对照保存率( $K_p$ )与土壤水分( $M_s$ )关系符合 Quadratic-模型规律:

$$K_{np}=55.491+3.705M_s-0.075M_s^2$$
  
( $n=15, R^2=0.774; F=20.599, p=0.000$ ) (1)

$$K_{rp}=41.545+4.941M_s-0.105M_s^2$$
  
( $n=15, R^2=0.880; F=44.055, p=0.000$ ) (2)

$$K_{ckp}=-53.488+12.228M_s-0.247M_s^2$$
  
( $n=15, R^2=0.859; F=36.463, p=0.010$ ) (3)

模型的一次项系数>0,说明模型值初期逐渐增大,分别于 24.77%、23.58%和 24.80%时出现极大值,随后模型值逐渐减少。试验水分区间内,模型值依次为模型(1)>模型(2)>模型(3)。其增益指数( $I_p$ )与土壤水分也遵从 Quadratic-模型规律:

$$I_{np}=547.512-47.044M_s+0.981M_s^2$$
  
( $n=15, R^2=0.518; F=6.452, P=0.012$ ) (4)

$$I_{rp}=446.819-38.104M_s+0.789M_s^2$$
  
( $n=15, R^2=0.618; F=9.704, P=0.003$ ) (5)

一次项系数<0,模型有极小值,分别出现在 23.95%和 24.13%附近。试验水分区间内,模型(4)值大于模型(5)值,与极值愈远,2 模型值差距愈大。进一步说明在土壤缺水时,2 种药剂处理均对苗木保存率有提高作用,而且 NPA 的作用大于 RPA。

2.3 对苗高和地径生长的影响

苗高和地径反映了苗木地上部分的生长状况,是衡量苗木生长的重要指标。2 种药剂处理后,对苗高和地径促长作用差异很大。2 种药剂处理和对照的苗高、地径和相对苗高以及其相对的年增益指数均表现为 20%水分组最高(表 3)。

2.3.1 纳米型植物抗逆剂 NPA ANOVA 方差和 LSD 多重比较分析显示,NPA 处理各水分组的苗高、地径和相对苗高年净增长均存在不同程度的差异。其中,苗高与土壤水分的峰态系数(Coefficient

of kurtosis,KU)为 0.445,标准误差为 1.121,数据相分布满足正态分布;偏态系数(Coefficient of skewness,SK)为 1.243,标准误差为 0.580,说明属正偏分布。苗高年净增长水分组间差异极显著( $F=115.778, p=0.000$ );均值为  $(15.6 \pm 1.1)$  cm,比对照组提高了  $(10.0 \pm 0.7)$  cm,增益指数为  $54.7\% \pm 2.7\%$ ,差异十分显著( $F=68.731, p=0.000$ )。20%水分组的苗高年净增长达  $(23.4 \pm 0.2)$  cm,比对照增加  $(15.1 \pm 0.4)$  cm,增益指数达  $70.5\% \pm 4.2\%$ ,与其他各组差异均极显著( $p=0.000$ );对照 20%水分组与 24%水分组差异显著( $p=0.020$ ),与其他水分组差异极显著( $p<0.01$ )。对于地径,处理和对照与土壤水分的 KU 为 -0.636和-0.366,标准误差均为 1.121,数据满足正态分布;SK 为 0.678 和 -0.536,标准误差为 0.580,说明处理属正偏分布,而对照属负偏分布。处理组地径年净增长组间差异不显著( $F=2.740, p=0.089$ );均值为  $(7.2 \pm 0.1)$  mm,比对照增加  $(3.9 \pm 0.1)$  mm,增益指数为  $71.0\% \pm 2.0\%$ ,差异极显著( $F=881.585, p=0.000$ )。相对苗高与土壤水分的时序分析显示,处理和对照的 KU 为 0.211 和 0.401,标准误差为 1.121,满足正态分布;SK 为 1.188 和 0.156,标准误差为 0.580,属正偏分布。处理相对苗高年净增长组间差异明显( $F=78.113, p=0.000$ );均值为  $(30.2 \pm 0.9)$  cm,比对照降低  $(3.1 \pm 0.5)$  cm,增益指数为  $-9.4\% \pm 1.6\%$ ,差异明显( $F=7.458, p=0.011$ )。20%处理组相对苗高年为  $(36.6 \pm 0.3)$  cm,比对照降低  $0.5\% \pm 1.0\%$ ,增益指数为  $-1.1\% \pm 2.7\%$ ,与其他水分组差异极显著( $p=0.000$ ;表 3)。以上分析说明,采用 NPA 150 倍蘸浆处理,能显著提高苗木的高茎生长量,且苗木生长健壮。

表 3 模拟试验油松苗高和地径年净增长变化  
Table 3 Height and ground diameter

项目	药剂	水分 /%	苗高/cm		地径/mm		相对苗高/cm	
			处理	对照	处理	对照	处理	对照
年净增长	纳米型植物抗逆剂 NPA	12.0	11.9±0.3	3.8±0.8	6.9±0.1	3.0±0.2	27.3±0.7	32.0±0.5
		16.0	15.0±0.6	5.0±0.6	7.3±0.4	3.3±0.2	29.4±0.5	32.5±0.1
		20.0	23.4±0.2	8.3±0.6	7.7±0.1	3.5±0.1	36.6±0.3	37.1±0.7
		24.0	15.3±0.5	5.7±0.8	7.2±0.1	3.2±0.2	30.1±0.1	34.3±0.9
		28.0	12.2±0.4	3.9±0.5	6.9±0.2	3.3±0.1	27.6±0.0	30.6±1.4
		统计	15.6±1.1	5.3±0.5	7.2±0.1	3.3±0.1	30.2±0.9	33.3±0.7
	多效抗旱驱鼠剂 RPA	12.0	11.9±0.2	3.7±0.3	5.4±0.2	2.9±0.1	32.6±0.7	32.5±0.3
		16.0	14.2±1.0	5.3±0.9	6.0±0.1	3.0±0.1	33.0±0.7	34.9±1.3
		20.0	20.3±0.7	8.8±0.6	6.4±0.2	3.3±0.1	38.5±0.2	39.3±0.4
		24.0	14.2±0.6	5.1±0.5	6.2±0.1	3.0±0.2	32.2±0.5	34.5±0.5
		28.0	12.1±0.2	3.8±0.5	6.0±0.1	2.9±0.1	30.5±0.1	32.7±0.5
		统计	14.5±0.8	5.3±0.5	6.0±0.1	3.0±0.1	33.4±0.7	34.8±0.7
年增益指数/%	纳米型植物抗逆剂 NPA	12.0	48.1±5.0		74.1±7.9		-14.8±1.0	
		16.0	55.1±2.2		71.4±1.9		-9.5±1.9	
		20.0	70.5±4.2		72.5±3.6		-1.1±2.7	
		24.0	51.2±4.0		72.4±4.0		-12.3±2.5	
		28.0	48.7±3.7		64.4±3.8		-9.4±4.1	
		统计	54.7±2.7		71.0±2.0		-9.4±1.6	
	多效抗旱驱鼠剂 RPA	12.0	48.6±1.7		48.0±2.8		0.5±3.0	
		16.0	48.0±2.0		56.6±0.5		-5.5±1.5	
		20.0	52.3±1.7		55.4±1.1		-2.0±0.5	
		24.0	50.1±7.1		60.7±5.8		-6.6±2.4	
		28.0	49.0±3.5		59.6±0.7		-6.7±1.8	
		统计	49.6±1.5		56.1±1.6		-4.0±1.1	

NPA 150 倍蘸浆处理的苗高( $H_n$ )、地径( $R_{nd}$ )和相对苗高( $H_n/R_{nd}$ )与土壤水分关系符合 Quadratic-模型;对照的苗高( $H_{nk}$ )和相对苗高( $H_{nk}/R_{nkd}$ )也符合 Quadratic-模型,但 Cubic-模型是相对苗高的最优模型:

$$H_n = -4.423 + 2.463M_S - 0.064M_S^2$$

( $n=15, R^2=0.626; F=10.022, p=0.003$ ) (6)

$$H_{nk} = -2.963 + 1.010M_S - 0.007M_S^2$$

( $n=15, R^2=0.515; F=6.6364, p=0.013$ ) (7)

$$R_{nd} = 5.639 + 0.197M_S - 0.005M_S^2$$

( $n=15, R^2=0.430; F=4.519, p=0.034$ ) (8)

$$H_n/R_{nd} = 14.307 + 1.945M_S - 0.050M_S^2$$

( $n=15, R^2=0.586; F=8.489, p=0.005$ ) (9)

$$H_{nk}/R_{nkd} = 23.358 + 1.270M_S - 0.034M_S^2$$

( $n=15, R^2=0.483; F=5.603, p=0.019$ ) (10)

$$H_{nk}/R_{nkd} = 41.229 - 2.345M_S + 0.177M_S^2 - 0.004M_S^3$$

( $n=15, R^2=0.640; F=6.520, p=0.009$ ) (11)

试验设计土壤水分范围内,模型均有极大值。处理与对照苗高模型极大值出现在土壤水分 19.24%和 19.42%附近,处理地径模型极大值点为 19.70%,相对苗高模型为 19.45%和 18.68%(23.42%)。证明 20%土壤水分组苗高、地径和相对苗高的年净增长最大。也进一步说明,土壤缺水

条件下,NPA 对油松苗木高茎的促长作用。

2.3.2 多效抗旱驱鼠剂 RPA 处理各水分条件下的苗高、地径和相对苗高年净增长规律与 NPA 处理相似,也表现为 20%水分组年净增长最大(表 3,图 1)。苗高与水分时序分析显示,处理与对照的  $KU$  为 0.236 和 0.122,标准误差为 1.121,满足正态分布; $SK$  为 1.203 和 1.021,标准误差为 0.580,属正偏分布。处理组年净增长均值为(14.5±0.8)cm,其中,12%水分组苗高年净增长为(20.3±0.7)cm,组间差异极显著( $F=29.904, p=0.000$ );苗高年均净增长比对照提高(9.2±0.8)cm,增益指数达 49.6%±1.5%,差异极显著( $F=83.581, p=0.000$ )。地径的  $KU$  为 1.867 和 0.742,标准误差为 1.121,说明处理地径年净增长不符合正态分布,峰值高于对照; $SK$  为 -1.075 和 0.742,标准误差为 0.580,说明处理属负偏分布,对照属正偏分布。处理组地径年均净增长(6.0±0.1)mm,比对照提高(3.0±0.1)mm,增益指数为 56.1%±1.6%,差异非常显著( $F=651.147, p=0.000$ )。相对苗高年变化与水分的时序变化  $KU$  为 0.236 和 0.122,标准误差为 1.121,满足正态分布; $SK$  为 -0.055 和 -0.628,标准误差为 0.580,属负偏分布。处理各水分下的相对苗高年变化依次为(32.6±0.7)cm、(33.0±0.7)cm、(38.5±0.2)cm、(32.2±0.5)cm

和 $(30.5\pm0.1)\text{cm}$ ,均值为 $(33.4\pm0.7)\text{cm}$ ,组间差异极显著( $F=34.243,p=0.000$ );除 12%水分组比对照提高 $(0.1\pm1.0)\text{cm}$ 外,其他各水分组均比对照组略有下降,处理与对照差异不显著( $F=1.893$ ,

$p=0.180$ )。上述分析说明,与 NPA 一样,采用 150 倍 RPA 蘸浆处理,可以显著增加苗木高茎生长量;但对相对苗高作用不显著。

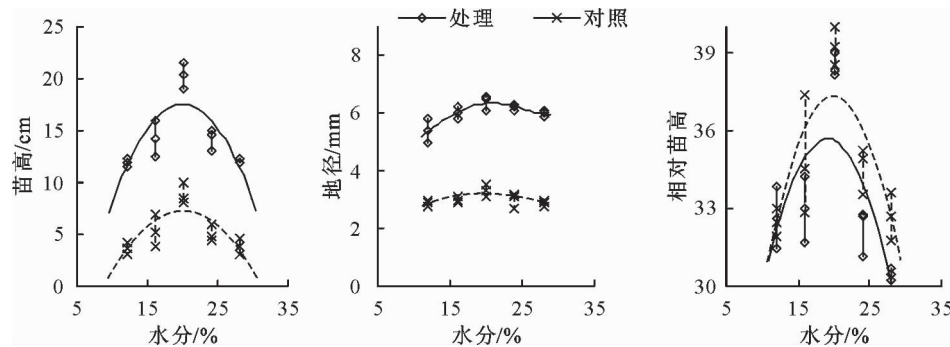


图 1 多效抗旱驱鼠剂 RPA 对油松高茎生长的影响  
Fig. 1 Influence of RPA to seedling height and ground diameter of Chinese pine

RPA 蘸浆处理的苗高( $H_r$ )、地径( $R_{rd}$ )、相对苗高( $H_r/R_{rd}$ )和对照的苗高( $H_{rk}$ )、相对苗高( $H_{rk}/R_{rkd}$ )与土壤水分关系符合 Quadratic-模型,其中处理相对苗高的最优模型是 Cubic-模型:

$$H_r=0.049+1.793M_s-0.047M_s^2$$
$$(n=15,R^2=0.585;F=8.454,p=0.005)\quad(12)$$

$$H_{rk}=-3.627+1.117M_s-0.029M_s^2$$
$$(n=15,R^2=0.557;F=7.546,p=0.008)\quad(13)$$

$$R_{rd}=4.013+0.210M_s-0.005M_s^2$$
$$(n=15,R^2=0.714;F=14.943,p=0.001)\quad(14)$$

$$R_{rkd}=2.338+0.085M_s-0.002M_s^2$$
$$(n=15,R^2=0.329;F=2.942,p=0.091)\quad(15)$$

$$H_r/R_{rd}=24.196+1.278M_s-0.036M_s^2$$
$$(n=15,R^2=0.489;F=5.713,p=0.018)\quad(16)$$

$$H_r/R_{rd}=31.744-0.249M_s+0.053M_s^3-$$

$$0.002M_s^3$$
$$(n=15,R^2=0.640;F=6.520,p=0.009)\quad(17)$$

$$H_{rk}/R_{rkd}=22.546+1.523M_s-0.040M_s^2$$
$$(n=15,R^2=0.607;F=9.282,p=0.004)\quad(18)$$

处理苗高、地径和相对苗高模型极大值依次出现在土壤含水率 19.22%、21.88%和 17.82%附近,对照的分别发生在 19.14%、19.14%和 19.15%附近。试验设计水分范围内,处理苗高和地径的模型值均大于对照模型,而处理相对苗高的模型值小于对照模型。进一步证明在土壤缺水时 RPA 对油松苗木高茎生长的促进作用。

2.4 对苗木根生长的影响

根长和根茎比反映了苗木地下部分的生长状况,是衡量苗木质量和抗逆性的重要指标。2 种药剂处理及其对照油松根长年净增长均表现为 20%水分组最大,但根茎比变化正好相反(表 4)。

表 4 模拟试验油松苗根年净增长变化

Table 4 Annual net root increment of Chinese pine

项目	水分/%	纳米型植物抗逆剂 NPA				多效抗旱驱鼠剂 RPA			
		根长/cm		根茎比		根长/cm		根茎比	
		处理	对照	处理	对照	处理	对照	处理	对照
年净增长/cm	12.0	13.00±0.58	4.00±0.06	0.82±0.03	0.67±0.00	12.00±0.12	3.70±0.46	0.78±0.00	0.67±0.01
	16.0	13.90±0.46	4.50±0.40	0.77±0.00	0.66±0.01	13.33±0.77	4.10±0.52	0.77±0.01	0.64±0.00
	20.0	16.10±0.35	5.13±0.49	0.65±0.01	0.61±0.01	15.53±0.85	5.10±0.49	0.69±0.01	0.58±0.01
	24.0	13.90±0.70	4.60±0.72	0.76±0.01	0.65±0.03	13.00±0.55	4.10±0.42	0.76±0.04	0.64±0.01
	28.0	13.10±0.61	4.40±0.46	0.82±0.02	0.67±0.02	12.03±0.46	3.67±0.32	0.78±0.02	0.67±0.00
	统计	14.00±0.36	4.53±0.21	0.76±0.02	0.65±0.01	13.18±0.41	4.13±0.22	0.76±0.01	0.64±0.01
年增益指数/%	12.0	77.12±5.46		22.84±5.41		73.46±6.04		16.68±2.74	
	16.0	77.35±2.10		15.33±1.15		78.56±2.16		20.66±1.75	
	20.0	85.96±4.41		6.94±3.06		81.71±0.49		19.31±1.41	
	24.0	76.29±4.53		16.46±4.44		75.70±1.68		17.50±4.67	
	28.0	72.77±10.07		22.56±0.49		73.82±0.80		16.75±2.16	
	统计	77.90±2.52		16.82±2.03		76.65±1.40		18.18±1.14	

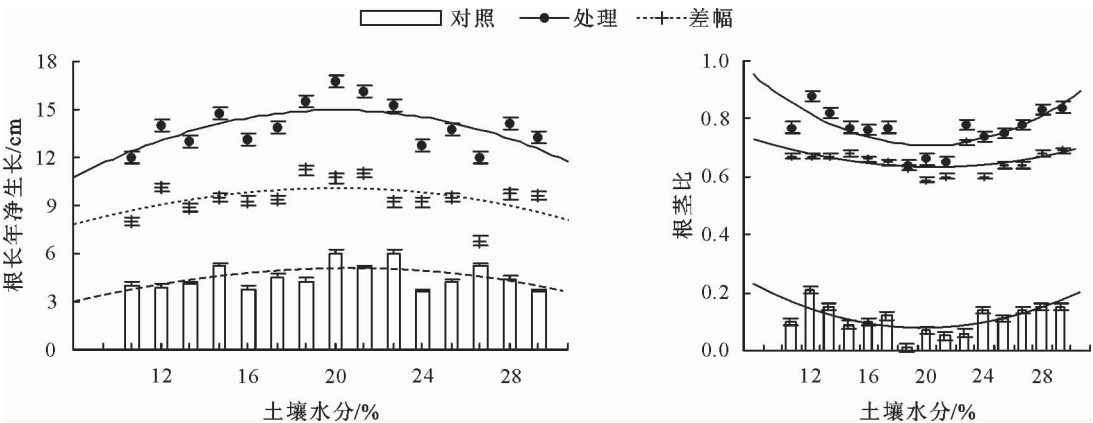


图 2 纳米型植物抗逆剂对油松根生长作用比较

Fig. 2 Comparison of the root growth of *P. tabulaeformis* by using NPA

2.4.1 纳米型植物抗逆剂 从试验设计水分梯度分析可以看出(表 4),NPA 处理苗木根长年净生长量依次为(13.00±0.58)cm、(13.90±0.46)cm、(16.10±0.35)cm、(13.90±0.70)cm 和(13.10±0.61)cm,均值为(14.00±0.36)cm,组间差异显著( $F=5.109, p=0.017$ );比对照分别增加了(9.00±0.61)cm、(9.40±0.06)cm、(10.97±0.15)cm、(9.30±0.10)cm 和(8.70±0.95)cm,均值增加了(9.47±0.29)cm,组间差异不显著( $F=5.951, p=0.075$ )。20%水分组的增益指数为 85.96%±4.41%,均值为 77.90%±2.52%,组间差异显著( $F=5.533, p=0.013$ )。而处理组与对照相比,差异极显著( $F=511.132, p=0.000$ ;图 2)。说明 NPA 处理根长年净生长量和其增益指数随土壤水分变化显著,而与对照相比的绝对净生长量差异不显著,处理组苗木根长明显大于对照组。

根茎比随水分变化与根长相反,表现为 20%最小,处理与对照的分别为 0.65±0.01 和 0.61±0.01,相差 0.04±0.02,增益为 6.94%±3.06%;为均值为 0.76±0.02 和 0.65±0.01,相差 0.11±0.01,增益率 16.82%±2.03%(表 4)。其中,处理组间差异根茎比差异极显著( $F=14.973, p=0.000$ ),对照组间差异不显著( $F=1.999, p=0.171$ ),处理相比对照的绝对增量组间差异显著( $F=4.957, p=0.018$ ),增益指数组间差异也达显著水平( $F=3.525, p=0.048$ ),而处理与对照相比,差异极显著( $F=29.287, p=0.000$ ;表 4,图 2)。结果说明,NPR 处理组的苗木根茎比明显大于对照组,尤其在低水分组表现尤为显著。

模型分析显示,处理的根长( $R_{nl}$ )与根茎比( $R_{nr}$ )与土壤水分变化符合 Quadratic-模型,而对照的模型不显著;处理相比对照的根长绝对增量及其相应的增益指数 Quadratic-模型不显著,但根茎比

及其相应的增益指数模型显著:

$$R_{nl}=1.086+1.398M_S-0.035M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.468;F=05.279,p=0.023)$$

(19)

$$R_{nr}=1.534-0.083M_S+0.002M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.668;F=12.086,p=0.001)$$

(20)

$$R_{nkl}=-0.140+0.481M_S-0.011M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.184;F=01.380,p=0.289)$$

(21)

$$R_{nkr}=0.900-0.026M_S+0.001M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.255;F=02.050,p=0.171)$$

(22)

$$R_{n-ckl}=1.255+0.917M_S-0.023M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.352;F=03.254,p=0.074)$$

(23)

$$R_{n-ckr}=0.620-0.055M_S+0.001M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.577;F=08.195,p=0.006)$$

(24)

$$I_{nrl}=40.421+4.361M_S-0.115M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.128;F=00.880,p=0.440)$$

(25)

$$I_{nrr}=90.658-8.042M_S+0.201M_S^2$$
$$(n=15,R^2=0.503;F=06.082,p=0.015)$$

(26)

根长模型有极大值,根茎比模型有极小值(图 2)。其中,处理与对照的根长模型极大值分别出现在土壤水分 20.07%和 20.98%附近,差值出现在 19.63%附件,增益指数极大值点在 18.93%附近;而相应的根茎比模型极小值依次出现在 20.13%、20.36%、20.12%和 19.96%附近。在土壤最低持水量(12%)至有效含水量(极值点)范围内,根长年净生长量随土壤水分的增加而提高,NPA 对根长的

促进作用也相应增强;而土壤水分超过土壤有效含水量后,根长年净生长量随之下降,NPA 的促长作用也随之减弱。根茎比在土壤最低持水量至有效含水量(极值点)范围内随着水分增加而降低,NPA 的作用也相应减弱。在试验设计土壤水分范围内,处理的根长和根茎比模型值均大于对照,证明在各种水分条件下,NPA 均对油松根生长有促进作用,而且能显著改善苗木的根基比,提高苗木的抗逆能力。

2.4.2 多效抗旱驱鼠剂 从不同土壤水分分析,使用 RPA 苗木根长变化规律与 NPA 相似,也表现为 20%水分组最大(表 4,图 3)。处理和对照 20%水分组根茎年净生长量分别为(15.53±0.85)cm 和(5.10±0.49)cm,相差(10.43±0.35)cm;各处理与对照根长年净生长均值为(13.18±0.41)cm 和(4.13±0.22)cm,相差(9.05±0.23)cm。其中,处理组间差异显著( $F=5.650, p=0.012$ ),对照差异不显著( $F=1.675, p=0.231$ ),但处理与对照差值组间差异极显著( $F=10.132, p=0.002$ )。其增益指数也表现为 20%水分组最大,为 81.71%±

0.49%,而均值为 76.65%±1.40%,但组间差异不显著( $F=1.345, p=0.319$ )。对照与处理比较,差异十分显著( $F=373.974, p=0.000$ )。说明土壤缺水状况下,RPA 对油松根生长的促进作用相对较强,但增益率相对稳定。

与 NPA 相同,RPA 处理和对照的根茎比年变化也表现为 20%水分组最小,分别为(0.69±0.01)cm 和(0.58±0.01)cm,相差(0.11±0.01)cm;而均值为(0.76±0.01)cm 和(0.64±0.01)cm,相差(0.11±0.01)cm。其中,处理组间差异显著( $F=3.825, p=0.039$ ),对照组间差异极显著( $F=22.132, p=0.000$ ),差值组间差异极不显著( $F=0.149, p=0.959$ )。其增益指数以 16%水分组最大,为 20.66%±1.75%,组间均值为 18.18%±1.14%,差异不显著( $F=0.390, p=0.811$ )。处理与对照差异十分显著( $F=62.596, p=0.000$ ;表 4,图 3)。结果说明,RPA 对油松根茎比的作用相对稳定,处理组的苗木根茎比明显大于对照组,根系相对发达。

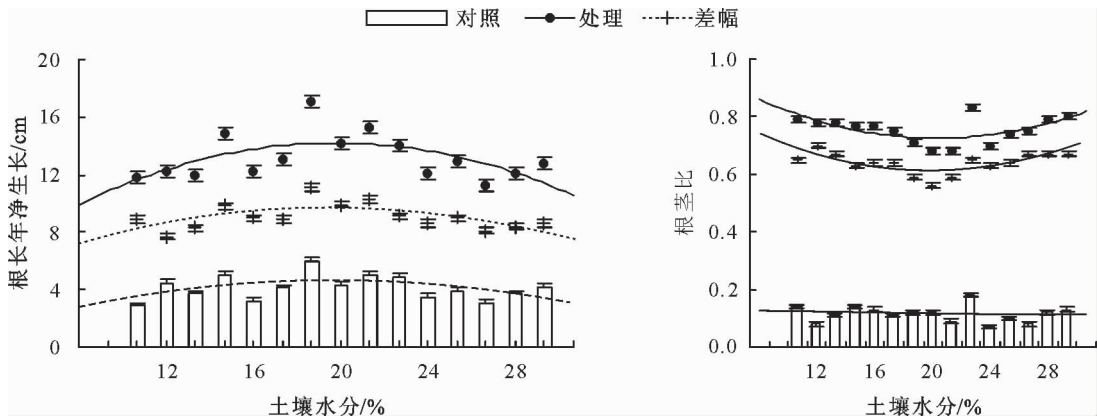


图 3 多效抗旱驱鼠剂对油松根生长作用比较

Fig. 3 Comparison of the root growth of *P. tabulaeformis* by using RPA

处理根长和根茎比的  $KU$  为 -1.739 和 -0.994,标准误差为 0.833; $SK$  为 0.141 和 0.072,标准误差为 0.427。说明数据满足正态分布,属峰值小于正态分布的正偏分布。对照根长和根茎比的  $KU$  为 0.099 和 0.144,标准误差为 1.121; $SK$  为对照的 0.555 和 -0.752,标准误差为 0.580。说明对照根长属峰值接近正态分布的正偏分布,而根茎比属负偏分布。处理与对照组根长和根茎比差的  $KU$  为 0.639 和 0.634,标准误差为 1.121, $SK$  为 0.863 和 0.456,标准误差 0.580。均为满足正态分布的正偏分布。根长和根茎比增益指数的  $KU$  为 1.245 和 -0.429,标准误差 1.121; $SK$  为 -0.804 和 -0.113,标准误差为 0.580。说明根长增益指数属正偏分布,而根茎比增益指数属负偏分布。模型分

析显示,根长、根茎比以及其相应的增益指数与土壤水分的关系均具有 Quadratic-模型的特征,但各模型相关程度不同。

$$R_{rl} = -2.020 + 1.665M_s - 0.042M_s^2$$
$$(n=15, R^2=0.520; F=06.505, p=0.012)$$

(27)

$$R_{rr} = 1.124 - 0.039M_s + 0.001M_s^2$$
$$(n=15, R^2=0.380; F=03.675, p=0.057)$$

(28)

$$R_{rkl} = -1.857 + 0.653M_s - 0.016M_s^2$$
$$(n=15, R^2=0.287; F=02.418, p=0.131)$$

(29)

$$R_{rkr} = 1.035 - 0.043M_s + 0.001M_s^2$$
$$(n=15, R^2=0.686; F=13.133, p=0.001)$$

(30)



$$R_{r-kl} = -0.163 + 1.007M_S - 0.025M_S^2$$

$(n=15, R^2=0.614; F=09.564, p=0.003)$

(31)

$$R_{r-kr} = 0.081 + 0.004M_S + 0.0001M_S^2$$

$(n=15, R^2=0.013; F=00.078, p=0.925)$

(32)

$$I_{rrl} = 39.761 + 4.072M_S - 0.103M_S^2$$

$(n=15, R^2=0.280; F=02.328, p=0.140)$

(33)

$$I_{rrr} = 3.385 + 1.696M_S - 0.044M_S^2$$

$(n=15, R^2=0.088; F=00.579, p=0.575)$

(34)

对照与处理根长年净生长量及其差值的模型极大值依次出现在土壤水分 19.92%、19.95% 和 19.90%附近,处理和对照根茎比模型的极小值发生在 20.26%和 20.04%附近,差值极大值出现在 18.80%附近;相应增益指数模型极大值发生在 19.74%和 19.15%附近。试验设计水分范围内,处理根长模型值大于对照组,差值模型和增益指数模型值均大于零。结果显示,无论处理与对照油松根生长指标如何变化,两者之间的差值和增益指数变化规律趋势一致,表现为土壤缺水时差值和增益指数较大。进一步说明 RPA 蘸浆处理对油松的根部生长有稳定的促进作用。

3 结论与讨论

利用驱避剂制食草动物尤其是啮齿动物对林木的危害,是在不改变经营的前提下,以保护目的植物为中心,利用化学药剂的方法降低食草动物对林木的危害,促进林木生长。该类技术措施对生态系统干预最小,对环境安全,投资少,持效长<sup>[8-15]</sup>。本试验通过棚内模拟研究,测定了纳米型植物抗逆剂(NPA)和多效抗旱驱鼠剂(RPA)不同水分梯度下抗旱促长作用。

1)使用剂量 2 种药剂模拟蘸浆造林的最佳浓度是 150 倍水溶液。其对油松根部促长作用大于地径,处理苗木根系相对发达,其增益指数为根长>地径>苗高。

2)对苗木保存率的影响 2 种药剂处理和对照的油松保存率与土壤水分呈极显著的 Quadratic-模型,极大值分别出现在土壤水分为 24.77%、23.58%和 24.80%附近;其增益指数与土壤水分也呈显著的 Quadratic-模型,极小值出现在 23.95%和 24.13%附近。在土壤最小持水量(12%)时,NPA、RPA 处理保存率比对照分别提高了 50.0%±14.4%和 45.0%±5.8%,增益指数达 240.7%±

133.5%和 198.1%±86.8%,差异极显著;而在土壤最大有效含水量(24%)时,两者无差异。说明利用 NPA 和 RPA 蘸浆造林能提高林木保存率,且 NPA 作用效果强于 RPA,尤其在土壤缺水条件下,效果尤为明显。

3)对苗木高茎作用规律 NPA、RPA 和对照的苗高和地径与土壤水分关系均符合 Quadratic-模型,极大值均出现在土壤水分 20%附近。2 种药剂苗高年净生长量均值比对照增加了(10.0±0.7)cm 和(9.2±0.8)cm,增益指数分为 54.7%±2.7%和 49.6%±1.5%;地径增加了(3.9±0.1)mm 和(3.0±0.1)mm,增益指数为 71.0%±2.0%和 56.1%±1.6%;差异极显著。由于药剂对苗高和地径作用强度的差异,使得药剂处理相对苗高略小于对照组。

4)对苗木根部的作用规律 2 种药剂和对照的根长和根茎比与土壤水分的关系也符合 Quadratic-模型变化,但前者 20%土壤水分组最大,而后者 20%水分组最小。根长年净生长比对照提高了(9.47±0.29)cm 和(9.05±0.23)cm,增益指数 77.90±2.52和 76.65%±1.40%;根茎比增加了 0.11±0.01和 0.11±0.01,增益率 16.82%±2.03%和 18.18%±1.14%。

参考文献:

[1] 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.

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

[3] 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.

[4] 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):38-41.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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,1999,15(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, 1999,15(4):63-68. (in Chinese)

[9] 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,(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)



tural College, 1996, 17(2):39-43. (in Chinese)

[10] 王伟,赵林森. 昆明市区樱花行道树应用效果综合评价[J]. 中国城市林业, 2006, 4(3):24-26.  
WANG W, ZHAO L S. Comprehensive evaluation of *Cerasus* spp. planted as street trees in Kunming urban area [J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2006, 4(3):24-26. (in Chinese)

[11] DANIEL T C, BOSTER R S. Measuring landscape esthetics: The scenic beauty estimation on method [D]. Michigan:US-DA Forest Service, 1976.

[12] 董冬,周志翔,何云核,等. 安徽省九华山风景区古树群落景观美学评价[J]. 生态学杂志, 2011, 30(8):1786-1792.  
DONG D, ZHOU Z X, HE Y H, *et al.* Landscape aesthetic assessment of old-tree communities in Jiuhua Mountain scenic area of Anhui Province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(8):1786-1792. (in Chinese)

[13] 杨鑫霞,亢新刚,杜志,等. 基于 SBE 法的长白山森林景观美学评价[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2012, 40(6):86-90.  
YANG X X, KANG X G, DU Z, *et al.* SBE method-based forest landscape aesthetic quality evaluation of Changbai Mountain [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Edi., 2012, 40(6):86-90. (in Chinese)

[14] HUANG G Y, XU C Y, GONG L, *et al.* Landscape quality evaluation on scenic and recreational forest of *Pinus tabulaeformis* in Beijing Xi Mountain [J]. Advance Materials Research, 2012, 518-523;5281-5284.

[15] ELENA B, JOSE R G, PEDRO R, *et al.* Predicting scenic beauty of forest stands in Catalonia(North-east Spain)[J]. Journal of Forestry Research, 2009, 20(1):73-78.

[16] 童明坤,弓弼,王海迪,等. 关中地区模拟自然群落植物景观设

计研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(2):207-212.  
TONG M K, GONG B, WANG H D, *et al.* Plantscape design based on simulation of batural plant communities in Guanzhong [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2):207-212. (in Chinese)

[17] 张凯旋,凌焕然,达良俊. 上海环城林带景观美学评价及优化策略[J]. 生态学报, 2012, 32(17):5521-5531.  
ZHANG K X, LING H R, DA L J. Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai green belt[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17):5521-5531. (in Chinese)

[18] 矫明阳,高凤,郝培尧,等. 基于 SD 法的城市带状公园植物景观评价研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(5):185-190.  
JIAO M Y, GAO F, HAO P Y, *et al.* Evaluation of plant design of linear parks based on semantic differential method [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(5):185-190. (in Chinese)

[19] 石金莲,王兵. 城市公园使用状况评价(POE)应用案例研究——以玉渊潭公园为例[J]. 旅游学刊, 2006, 21(2):67-70.  
SHI J L, WANG B. A study on the application of post occupancy evaluation in the urban parks—a case study of Beijing Yu Yuan Tan Park[J]. Tourism Tribune, 2006, 21(1):67-70. (in Chinese)

[20] 李效文,贾黎明,李广德,等. 北京低山桃针叶树混交林风景林景观质量评价及经营技术[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2010, 34(4):107-111.  
LI X W, JIA L M, LI G D, *et al.* Landscape evaluation and management techniques on mixed scenic forest of *Amygdalus davidiana* and conifer in Beijing lower mountainous area[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Nat. Sci. Edi., 2010, 34(4):107-111. (in Chinese)

(上接第 128 页)

[10] 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.

[11] 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)

[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)

[13] 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)

[14] 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)

[15] 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: Nat. Sci. Edi., 2004, 32(4):37-40. (in Chinese)

[16] 贾慧君,郑槐明,李江南,等. 湿地松容器苗稳态营养与土壤矿化作用研究[J]. 林业科学, 1998, 34(1):9-17.  
JIA H J, ZHENG H M, LI J N, *et al.* Studies on steady state mineral nutrition and mineralization for container-grown seedlings of Slash pine[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1998, 34(1):9-17.