

多效抗旱驱鼠剂(RPA)对飞播油松高生长的影响

李建春^{1,2}, 张斌善³, 党齐域⁴, 韩崇选^{1*}

(1. 西北农林科技大学鼠害治理研究中心 陕西 杨陵 712100; 2. 陕西省飞机播种造林工作站, 陕西 西安 710082;
3. 汉中市森林病虫害防治检疫站, 陕西 汉中 723000, 4. 咸阳市森林病虫害防治检疫站, 陕西 咸阳 712000)

摘要:多效抗旱驱鼠剂(RPA)拌种是提高飞播造林成效的重要措施。为了正确评价 RPA 拌种飞播造林成效,为制定科学的飞播造林技术方案和飞播林营林方案提供依据,采用 ANOVA-LSD 均值检验法和模型分析法,利用陕西 4 个地区 14 a 油松高生长资料,分析了 RPA 和对照飞播油松高生长的差异和年动态。结果表明,各地飞播油松的高生长表现为汉中>安康>淳化>商州。RPA 处理区 14 a 生油松高比对照分别提高了(33.0±1.6)%、(26.9±2.3)%、(29.5±3.6)%和(31.7±6.3)%;RPA 处理与对照间树高差异十分明显($p<0.01$),且差距逐年增大;年际间高生长量均值变异较大,增益作用有波动。理论上可将飞播油松林生活周期分为幼苗生长期、个体林木生长期和群体林木生长期。其中,幼苗生长期决定飞播造林的成败,个体林木生长期决定林木能否成林。汉中、安康和淳化 RPA 和对照油松林的理论更新周期分别为 42 a 和 44 a,商州的为 43 a 和 45 a。

关键词:多效抗旱驱鼠剂;飞播造林;油松;高生长

中图分类号:S764.5 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2015)01-0137-07

Effects of RPA on the Height Growth of *Pinus tabulaeformis* by Aerial Seeding

LI Jian-chun^{1,2}, ZHANG Bin-shan³, DANG Qi-yu⁴, HAN Chong-xuan^{1*}

(1. Research Center of Rodent Pest Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Shaanxi Work Station of Afforestation by Aerial Seeding, Xi'an, Shaanxi 710082, China;
3. Hanzhong Station of Forest Pest Management, Hanzhong, Shaanxi 723000, China;
4. Xianyang Station of Forest Pest Management, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: Dressing seed with RPA is an important measure to enhance the effectiveness of afforestation by aerial seeding. In order to correctly evaluate the effectiveness of this method, and to provide reference for making technical scheme of afforestation by aerial seeding and the aerial seeding forest management, by using the ANOVA-LSD mean value test method and the model analysis method, differences in height growth of *Pinus tabulaeformis* trees among different areas and dynamic changes were evaluated. The results showed that the height growth of the trees in four afforestation areas was in an order of Hanzhong > Ankang > Chunhua > Shangzhou. Significant differences in height growth were observed between those treated by RPA and the control. In the four areas above mentioned, compared with the control, the percentages of the height increments in the past 14 years were 33% ± 1.6%, 26.9% ± 2.3%, 29.5% ± 3.6%, and 31.7% ± 6.3%, respectively. Differences between the RPA treatments and the control were significant ($p<0.01$), and increased with time. On the other hand, the average values of height growth varied in different years, indicating the fluctuations of the effectiveness. Theoretically, the life cycle of *P. tabulaeformis* can be divided into the young seedling period, the individual tree growth period and the pop-

收稿日期:2014-03-07 修回日期:2014-05-05

基金项目:国家林业公益性行业专项(2014044405);国家林业局重点项目(2012-02)。

作者简介:李建春,男,高级工程师,研究方向:飞播造林。E-mail:lijianchun@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

ulation forest growth period. Among them, the young seedling period is a key stage to determine the success of afforestation by aerial seeding, and the individual tree growth period is the period to decide whether the individual trees can form forest. The theoretical regeneration cycles for RPA treated forest and the control were 42 and 44 years in Hanzhoung, Ankang and Chunhua, and 43 and 45 years in Shangzhou.

Key words: RPA; afforestation by aerial seeding; *Pinus tabulaeformis*; height growth

飞播造林是一种重要的造林方式,在我国已经使用了 50 a 多^[1-5]。近年来,受立地条件限制,加之干旱和鸟兽危害严重,使得飞播造林成效有所下降^[6-8]。为了提高飞播造林质量,各地采取了多种措施^[9-11];其中,利用驱避剂预防是一种有效的策略^[12-21]。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^[22-23]。认识这些规律,利用这些规律,对驱避剂的合理使用和评价以及制定科学的飞播林经营管理方案至关重要^[24]。为此,本研究对陕西 4 个地市,1997—2011 年采用多效抗旱驱鼠剂(RPA)拌种飞播油松高生长进行了系统研究。

表 1 飞播油松高年动态(1998—2011 年)

Table 1 The annual dynamic height of *P. tabulaeformis* after aerial seeding(from 1998 to 2011)

树龄/a	汉中		安康		商州		淳化	
	RPA	CK	RPA	CK	RPA	CK	RPA	CK
1	8.7±0.6	6.2±0.1	7.4±0.6	5.9±0.1	6.8±0.5	5.5±0.1	6.2±0.5	5.1±0.1
2	13.2±0.5	10.9±0.1	12.3±0.5	9.9±0.1	10.1±0.3	8.4±0.6	11.2±0.9	8.9±0.6
3	21.9±2.2	17.7±0.2	19.1±1.6	15.1±0.1	15.9±1.3	11.8±0.6	16.5±1.3	13.4±0.9
4	29.5±1.0	23.1±0.6	25.7±1.0	20.7±0.1	22.9±2.3	17.4±0.8	23.2±1.5	18.2±0.6
5	37.9±0.6	30.0±0.1	32.6±0.5	27.5±0.1	26.5±2.0	22.8±2.1	28.4±1.3	23.6±1.4
6	47.1±1.8	41.1±0.8	44.0±1.5	35.9±0.1	33.8±1.5	30.3±2.4	37.5±1.8	33.5±1.6
7	70.9±3.2	52.7±1.1	63.1±2.4	45.9±0.1	54.4±3.4	37.1±1.5	58.2±2.7	41.5±1.0
8	88.4±1.6	68.1±1.5	75.9±2.1	60.1±1.1	62.4±4.4	49.5±2.1	63.2±3.5	50.7±2.4
9	125.4±4.8	98.4±2.4	107.1±3.2	91.9±1.7	85.9±6.1	76.8±5.5	95.7±3.0	83.2±5.1
10	160.0±5.7	119.1±3.8	145.7±4.9	102.4±1.7	121.5±7.7	78.6±4.1	127.6±6.1	87.1±3.4
11	234.2±11.8	161.3±4.0	207.6±7.4	144.5±2.7	167.2±4.2	128.5±11.9	176.8±8.0	130.6±7.4
12	272.6±3.9	214.8±7.8	235.0±6.2	190.2±3.5	212.9±20.3	160.7±15.2	213.0±14.9	177.9±10.3
13	366.5±12.2	308.6±8.3	319.4±9.6	280.2±5.0	267.8±14.2	221.9±11.8	299.6±8.4	253.4±8.0
14	476.8±13.5	318.9±7.6	409.3±13.7	297.9±5.1	351.4±15.8	247.3±14.6	379.0±22.1	253.7±9.4
均值	139.5±17.0	105.1±12.5	121.7±14.7	94.9±11.4	102.8±12.7	78.3±9.5	109.7±13.7	84.3±10.2

2 结果与分析

2.1 油松树高年动态

2.1.1 树高模型分析 对树高(H)与树龄(t)进行模型分析,两者关系遵从指数模型;以成年油松平均高度 30 m 对数据进行模拟分析,树高与树龄符合 Logistic-模型规律。样本容量 $n=70$ 。

汉中试验区

$$H_{rpahz}=7.912e^{0.300t}(R^2=0.989) \tag{1}$$

$$H_{khhz}=6.387e^{0.294t}(R^2=0.988) \tag{2}$$

1 材料与方法

试验设在 1997 年陕西多效抗旱驱鼠剂(RPA)飞播种子拌种处理造林试验区进行。选择汉中、安康、商州和淳化试验区油松高生长量进行定点定期调查。各地选择 5 个播区,在每播区 RPA 处理区选择 20 m×20 m 15 块,对照区选择 5 块具有代表性的宜林地作为固定调查样地。1998—2011 年,每年 9 月下旬—10 月中旬,采用“M”形抽样法,在各样地随机 10 株同龄油松测量其苗高,不足 10 株时每木测量;以 20 块样地平均测量值代表各播区油松高,用 5 个播区均值反映油松高生长动态(表 1)。利用 SPSS17.0 统计软件检验分析。

$$H_{rpahz}=\frac{3\ 000}{1+393.308\times0.733^t}(R^2=0.991) \tag{3}$$

$$H_{khhz}=\frac{3\ 000}{1+481.865\times0.740^t}(R^2=0.989) \tag{4}$$

安康试验区

$$H_{rpahz}=7.037e^{0.298t}(R^2=0.989) \tag{5}$$

$$H_{ckak}=5.746e^{0.294t}(R^2=0.991) \tag{6}$$

$$H_{rpahz}=\frac{3\ 000}{1+439.319\times0.735^t}(R^2=0.991) \tag{7}$$

$$H_{ckak}=\frac{3\ 000}{1+534.489\times0.740^t}(R^2=0.993) \tag{8}$$

商洛试验区

$$H_{rpsz}=5.929e^{0.297t}(R^2=0.983) \tag{9}$$

$$H_{cksz}=4.881e^{0.290t}(R^2=0.982) \tag{10}$$

$$H_{rpsz}=\frac{3\,000}{1+519.586\times0.737^t}(R^2=0.983) \tag{11}$$

$$H_{cksz}=\frac{3\,000}{1+626.452\times0.744^t}(R^2=0.808) \tag{12}$$

淳化试验区

$$H_{rpach}=6.023e^{0.302t}(R^2=0.984) \tag{13}$$

$$H_{ckch}=5.034e^{0.295t}(R^2=0.983) \tag{14}$$

$$H_{rpach}=\frac{3\,000}{1+512.721\times0.733^t}(R^2=0.985) \tag{15}$$

$$H_{ckch}=\frac{3\,000}{1+608.322\times0.740^t}(R^2=0.984) \tag{16}$$

式中:右下标中 rpa 、 ck 分别表示处理与对照。

2.1.1.1 对于树高(H)与树龄(t)的指数模型 $H=ae^{bt}$ ($t=1,\cdots,14$),由于该函数是增函数,对树龄求导数有 $H'=abe^{bt}$,其导数反映树高年增长速率,即年增长量的变化率(图 1)。模型中的参数 a 、 b 值的

变化反应了林地立地质量的优劣, a 、 b 值乘积越大,树高和其年生长量越大,年增长速率递增幅度也随之增大,林地立地质量也就越高。对照区模型的 a 、 b 乘积值顺序:汉中(1.878)>安康(1.689)>淳化(1.485)>商州(1.415),RPA 处理的变化相同,依次为 2.374、2.097、1.819 和 1.761。说明汉中飞播林地立地质量较高,油松高生长较大;而商州立地质量相对较差,油松高生长相对较小。同时也证明 RPA 拌种可有效地降低立地质量对油松高生长的影响,提高油松的高生长量。模型同时也显示,随着林木生长,年间、地区间和药剂处理与对照间树高差距逐渐扩大。

2.1.1.2 Logistic-模型 Logistic-模型是飞播油松高与树龄的理论模型,反映了油松树高的期望值和年生长信息。是一条“S”型曲线(图 2)。根据 Logistic-生长模型特性和飞播油松生长规律,可将油松飞播林生长过程从理论上划分为 3 个时期。

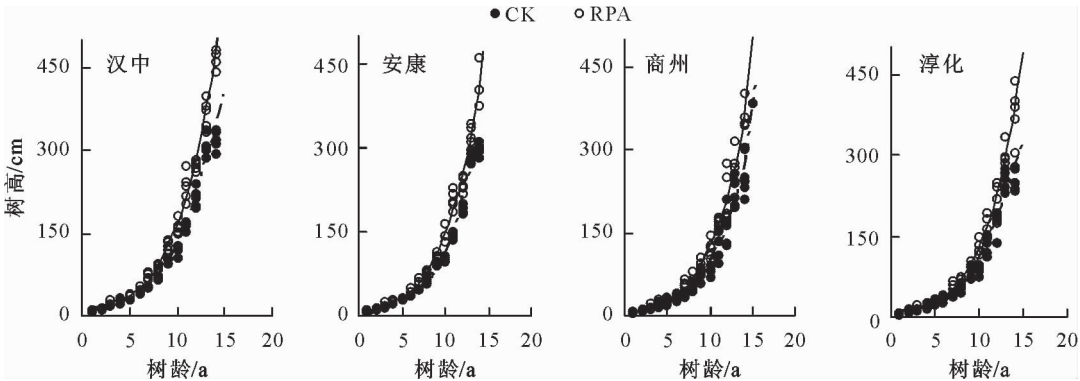


图 1 油松树高与树龄的关系

Fig. 1 The relationship between tree height and age for *P. tabulaeformis*

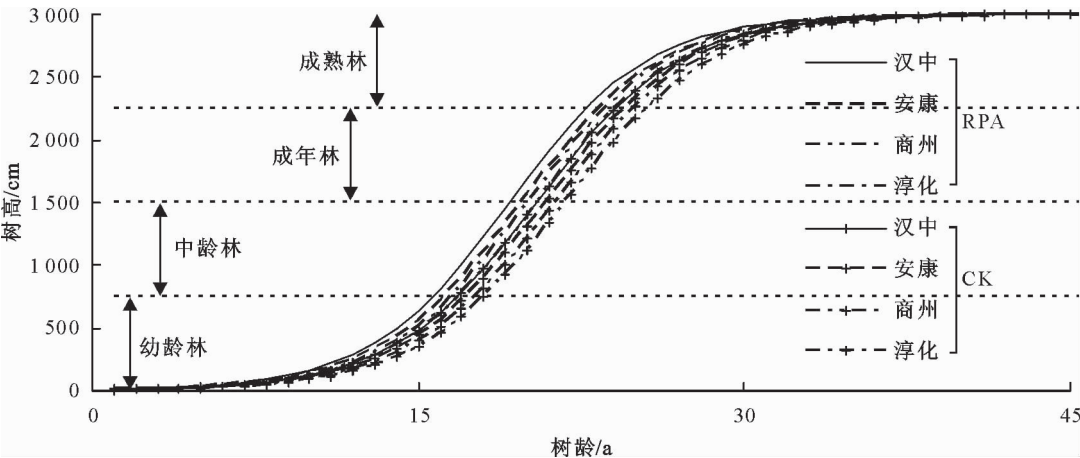


图 2 油松树高与树龄 Logistic-模型预测曲线

Fig. 2 The prediction curve of *P. tabulaeformis* height and age by used Logistic-model

1) 幼苗生长期 苗高<50 cm,极易受干旱和有害生物的干扰,死亡率高,生长缓慢,是决定飞播造林成败的关键时期。Logistic-模型预测,汉中 RPA 和对照分别约需 6 a 和 7 a,实测苗高分别为(47.1

± 1.8)cm 和 (52.7 ± 1.1) cm;安康两者均需 7 a 左右,7 年生油松平均高分别为 (63.1 ± 2.4) cm 和 (45.9 ± 0.1) cm,差异极显著($p < 0.01$)商州和淳化 RPA 和对照均为 7 a 和 8 a 左右,两地 RPA 处理油松高分别为 (54.4 ± 3.4) cm 和 (58.2 ± 2.7) cm,对照为 (49.5 ± 2.1) cm 和 (50.7 ± 2.4) cm。

2)个体林木生长期 树高介于 50 cm 至 Logistic-模型期望值的 25%之间,生长缓慢,树高年生长量增速较低,林木保存量损失较大,RPA 与对照林分差异逐渐显现,林分不稳定,郁闭度小,是飞播成林的关键时期,与幼龄林相对应。模型预测,汉中和安康对照约为 17 a,RPA 约为 16 a;商州和淳化对照均为 18 a,RPA 均为 17 a。

3)群体林木生长期 前期立地对林木作用增强,林木保存量相对稳定,高年生长渐趋最大,林分郁闭度逐渐稳定;地区间和对照区与 RPA 处理区林分差异逐渐扩大。Logistic-模型树高年最大生长量拐点发生在其 25%和 75%树高最大期望值出现年份,与中龄林期和成年林期对应。汉中对对照区和 RPA75%树高模型拐点出现在飞播后第 24 年和第 23 年,安康分别出现在第 25 年和第 23 年;商州在第 26 年和第 24 年;淳化出现在第 25 年和第 24 年,依次相差 3 a 和 2 a。后期林木年高生长量渐趋消失,树高逐渐稳定;对照与 RPA 林区差距相对平稳,差异稳定。与成熟林期对应,模型预测达到 99.9%树高最大期望值,汉中和安康的对照和 RPA 均分别需 44 a 和 42 a,商州为 45 a 和 43 a,淳化需 44 a 和 42 a。之后,林分进入过熟林期,林木高生长停止,林分处于相对平衡状态,树势逐渐减弱,林内枯立木逐渐增多,林木保存量渐趋减少,但总生物量增加。模型预测汉中、安康、商州和对照油松林龄依次超过 89、90、92 a 和 90 a 高生长停滞,RPA 分别大于 86、87、88 a 和 87 a 高生长停止。

2.1.2 苗高地区差异分析 飞播后第 1 年,油松苗高依次为汉中>安康>商州>淳化;对照地区间整体差异极显著($p < 0.01$),其中汉中与安康差异不显著;RPA 地区间整体差异显著($p < 0.05$),但汉中与淳化差异极显著($p < 0.01$)。汉中、安康、商州和淳化 RPA 苗高分别比对照增加 (2.5 ± 0.7) 、 (1.5 ± 0.6) 、 (1.3 ± 0.5) cm 和 (1.1 ± 0.5) cm,增益率为 $(27.4 \pm 4.7)\%$ 、 $(18.7 \pm 5.7)\%$ 、 $(17.5 \pm 5.7)\%$ 和 $(15.3 \pm 7.7)\%$;汉中 RPA 与对照间差异极显著,安康和商州差异显著,淳化差异不显著。

第 5 年,对照与 RPA 苗高均以汉中最大,商州最小。对照与 RPA 苗高地区间整体差异均极显著,其中,对照汉中与安康和商州与淳化,RPA 商州

与淳化差异不显著。汉中、安康、商州和淳化 RPA 苗高比对照依次增加 (7.9 ± 0.6) 、 (5.0 ± 0.5) 、 (3.7 ± 1.0) cm 和 (4.9 ± 1.8) cm,增率为 $(20.9 \pm 1.2)\%$ 、 $(15.4 \pm 1.2)\%$ 、 $(14.0 \pm 3.6)\%$ 和 $(16.6 \pm 6.1)\%$ 。与上年相同,汉中和安康 RPA 与对照苗高差异极显著,淳化差异显著,商州不显著。

第 14 年,汉中、安康、淳化和商州 RPA 油松高达 (476.8 ± 13.5) 、 (409.3 ± 13.7) 、 (379.0 ± 22.1) cm 和 (351.4 ± 15.8) cm,比对照分别增加了 (158.0 ± 11.6) 、 (111.4 ± 13.8) 、 (125.2 ± 28.3) cm 和 (104.2 ± 13.6) cm,提高率 $(33.0 \pm 1.6)\%$ 、 $(26.9 \pm 2.3)\%$ 、 $(29.5 \pm 3.6)\%$ 和 $(31.7 \pm 6.3)\%$ 。苗高地区间整体差异极显著,其中对照汉中和安康、商州与淳化,RPA 淳化与安康和商州苗高地区间差异不显著。各地 RPA 与对照苗高差异均极显著。

2.2 油松苗高年生长变化

2.2.1 油松高年生长动态 汉中、安康、商州和淳化飞播后第 1 年苗高年生长量,对照区依次为 (6.2 ± 0.1) 、 (5.9 ± 0.1) 、 (5.5 ± 0.1) cm \cdot a $^{-1}$ 和 (5.1 ± 0.1) cm \cdot a $^{-1}$,地区差异整体极显著,其中汉中与安康差异不显著。RPA 苗高年生长量分别为 (8.7 ± 0.6) 、 (7.4 ± 0.6) 、 (6.8 ± 0.5) cm \cdot a $^{-1}$ 和 (6.2 ± 0.5) cm \cdot a $^{-1}$,地区差异整体显著,其中仅汉中与淳化差异极显著。比对照依次增加 (2.5 ± 0.7) 、 (1.5 ± 0.6) 、 (1.3 ± 0.5) cm \cdot a $^{-1}$ 和 (1.1 ± 0.5) cm \cdot a $^{-1}$ 。汉中 RPA 与对照差异极显著,安康和商州差异显著,淳化差异不显著。飞播后第 1 年至 14 年,RPA 油松高年均生长 (34.1 ± 4.3) 、 (29.2 ± 3.7) 、 (25.1 ± 3.9) cm \cdot a $^{-1}$ 和 (27.1 ± 3.9) cm \cdot a $^{-1}$,比对照分别提高 (11.3 ± 3.7) 、 (8.0 ± 2.8) 、 (7.4 ± 3.9) cm \cdot a $^{-1}$ 和 (8.9 ± 3.4) cm \cdot a $^{-1}$,年均增益率为 $(20.6 \pm 8.6)\%$ 、 $(17.9 \pm 9.8)\%$ 、 $(15.1 \pm 11.6)\%$ 和 $(16.6 \pm 12.4)\%$,增益作用十分明显。其均值变异较大,说明年间增益作用变动较大(图 3)。

2.2.2 RPA 和对照油松高年生长地区变化 飞播后 1~6 a,汉中油松高生长波动逐年降低,高年生长量均值为 (7.8 ± 0.7) cm \cdot a $^{-1}$,年间变化较小;增量为 (1.5 ± 1.2) cm \cdot a $^{-1}$,年间差异较大。高年生长量年间差异整体不显著,仅第 2 年与第 6 年差异显著。与对照相比年生长量增加了 (1.0 ± 0.8) cm \cdot a $^{-1}$,而增量降低了 (0.3 ± 1.2) cm \cdot a $^{-2}$,差异不显著。6 a 以后,油松高年生长量逐渐提高,年间波动逐年增大,增量在高位上振荡,年间差距有所扩大。第 7、9、11 年高生长出现峰值,第 14 年油松高生长量最大,为 (110.3 ± 10.3) cm \cdot a $^{-1}$;年均高生长量为 (53.7 ± 5.9) cm \cdot a $^{-1}$,增量均值为 (12.6 ± 6.0)

$\text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$; 生长量年间差异整体极显著, 其中第 7 年与后 3 a 及第 12 年, 第 8 年与后 2 a 及第 12 年, 第 9 年与后 1 a 及第 12 年, 第 10 年与第 12 年, 第 11 年与第 13 年, 第 13 年与第 14 年差异均不显著。比对照高生长量年均提高 $(19.0 \pm 6.2) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 增量提高 $(12.8 \pm 7.9) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$, 差异显著。第 4~第 7 年和第 12~第 14 年为油松高生长稳定增长期; 年生长均值为 $(12.0 \pm 2.0) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(80.9 \pm 10.0) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 增量均值为 $(3.8 \pm 2.4) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$ 和 $(12.0 \pm$

$13.8) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$; 第 4 年~第 7 年高生长年间差异整体极显著, 其中仅第 7 年与其他各年差异极显著, 而其他各年年间差异不显著; 第 12 年~第 14 年高生长年间差异整体极显著, 其中第 13 年与第 14 年差异不显著。高生长比对照分别提高 $(3.2 \pm 2.0) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(28.4 \pm 15.2) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 增量提高 $(2.6 \pm 2.9) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$ 和 $(22.7 \pm 19.7) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$; 均值变异较大, 与对照年间差异不稳定。

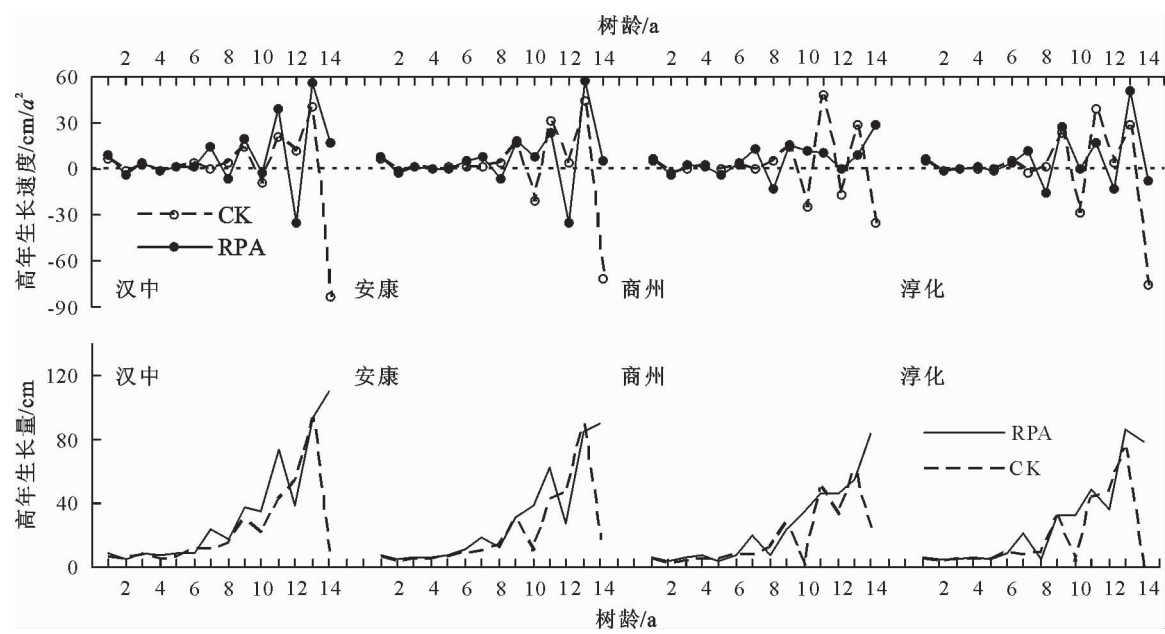


图 3 油松高年生长量与生长速度

Fig. 3 Annual height growth and annual height growth rate of *P. tabulaeformis*

安康药剂处理区, 飞播后 1~5 a, 油松高生长增量降低, 高年生长量基本稳定。油松高年生长量及其均值分别为 $(6.5 \pm 0.4) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(1.4 \pm 0.9) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$, 高生长年间差异不显著。与对照相较, 高生长及其增量分别提高 $(1.0 \pm 0.4) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(0.0 \pm 0.6) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$, 差异显著。5 a 以后, 油松高生长逐渐加速, 第 7 年和第 11 年高年生长出现峰值, 第 14 年高生长最大, 为 $(89.9 \pm 12.7) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。年生长量及其增量均值分别为 $(41.9 \pm 4.8) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(9.2 \pm 4.9) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$, 年间差异整体极显著; 其中, 第 6 年和第 7 年与后 3 a 及第 12 年, 第 8 和第 9 年与后 1 a 及第 12 年, 第 10 与第 12 年和第 13 与第 14 年年间差异均不显著。年生长量及其增量均值比对照分别提高 $(11.8 \pm 4.3) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(8.0 \pm 5.7) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$, 增益效果非常明显。飞播后第 4~第 7 年和第 9~第 11 年为油松高生长稳定增长期, 12 a 后又进入下一个稳定增长期。年生长量均值依次为 $(11.0 \pm 1.5) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $(43.9 \pm 5.1) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(67.2 \pm 9.3) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$, 增量为 $(3.1 \pm 1.6) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$ 、

$(16.4 \pm 5.2) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$ 和 $(9.3 \pm 13.5) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$; 第 4~第 7 年高生长年间差异整体极显著, 其中第 4 年和第 5 年与后 1 a 差异不显著; 第 9 年~第 11 年年间差异整体显著, 其中第 9 年与第 10 年差异不显著; 第 12 年~第 14 年年间差异整体极显著, 其中第 13 年与第 14 年差异不显著。第 1 次稳定增长期比对照推迟缩短, 但高生长及其增量年均提高了 $(3.3 \pm 1.2) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(1.9 \pm 1.2) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$; 第 2 次稳定增长期比对照提前, 年高生长及其增量分别增加 $(15.8 \pm 4.6) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(7.1 \pm 6.5) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$; 第 3 次稳定增长期对照没有出现, 同期相比高生长及其增量提高了 $(33.3 \pm 14.9) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $(45.3 \pm 15.3) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$ 。高生长与对照差异均显著, 增益效果明显。

飞播后 1~5 a, 商州 RPA 油松高生长在 $(5.3 \pm 0.8) \text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 上下波动, 年间差异不显著; 年生长增量在 $(0.7 \pm 1.4) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$ 上下振荡, 均值变异程度高, 年间波动较大。油松年高生长量及其增量比同期对照提高 $(0.7 \pm 0.9) \text{cm} \cdot \text{a}^{-2}$ 和 $(-0.4 \pm 1.4) \text{cm}$

• a⁻², 均值变异程度高, 播区与年间增益不稳定, 高年生长与对照差异不显著。第 5 年后, 生长增速, 播区间林分分化, 年间差距渐趋扩大。第 7 年出现第 1 次高生长峰值, 为 (20.5±4.7)cm • a⁻¹, 第 8 年后进入第 2 次高生长稳定增长期, 一直延续至第 14 年。油松高年生长及其增量均值为 (36.1±5.4)cm • a⁻² 和 (8.8±7.4)cm • a⁻²; 高生长年间差异整体极显著, 其中第 11 和第 12 年与其他各年年间差异不显著, 第 13 年仅与第 6 和 8 年差异显著, 第 14 年与第 11、12 年和第 13 年差异不显著; 第 11 年和第 12 年几乎无差异。与对照同期相比, 油松年高生长量及其增量提高 (11.2±6.0)cm • a⁻¹ 和 (6.7±10.0)cm • a⁻², 均值变异程度高, 年间波动较大, 增益显著。第 1 次高生长稳定增长期出现在第 5 年~第 7 年, 比对照提前; 高生长量及其增量均值为 (10.5±2.6)cm • a⁻¹ 和 (4.5±3.1)cm • a⁻², 年间整体差异极显著, 其中第 5 年与第 6 年差异不显著; 比对照同期高生长量及其增量提高了 (3.9±3.2)cm • a⁻¹ 和 (4.1±4.7)cm • a⁻², 差异显著。第 2 次高生长稳定增长期发生在第 9 年~第 14 年, 高生长量及其增量均值为 (48.2±6.9)cm • a⁻¹ 和 (12.6±10.9)cm • a⁻², 年间整体差异不显著, 仅第 14 年与第 9 和第 10 年差异显著; 高生长量及其增量比对照同期增加 (15.2±8.7)cm • a⁻¹ 和 (10.4±14.8)cm • a⁻², 差异显著。RPA 对油松高生长增益增益显著。

淳化 RPA 处理区, 飞播后 1~5 a 油松高生长变化相对较小, 高年生长量及其增量均值为 (5.7±0.7)cm • a⁻¹ 和 (1.0±14.8)cm • a⁻², 年间差异不显著; 与对照同期相比, 年生长量及其增量均值提高了 (1.0±0.7)cm • a⁻¹ 和 (-0.0±1.1)cm • a⁻², 差异不显著。5 a 后, 油松高生长逐渐增速, 分别在第 7、9、11、13 年出现峰值, 峰值逐年递增, 依次为 (20.7±2.8)cm • a⁻¹、(32.5±5.3)cm • a⁻¹、(49.2±9.4)cm • a⁻¹ 和 (86.6±11.3)cm • a⁻¹, 增量分别为 (11.6±4.2)cm • a⁻²、(27.5±10.5)cm • a⁻² 和 (17.2±12.8)cm • a⁻² 和 (50.4±26.8)cm • a⁻²; 均值变异较大, 林分分布严重分化; 高年生长量及其增量均值为 (38.9±5.2)cm • a⁻¹ 和 (8.2±5.8)cm • a⁻², 年间差异整体极显著, 其中第 6 年与后 4 a 及第 12 年, 第 7 年与后 5 a, 第 8 年与后 2 a 及第 12 年, 第 9 年与后 3 a, 第 10 年与后 2 a, 第 11 年与第 12 和第 14 年, 第 13 与第 14 年等, 年间差异均不显著。年生长量及其增量均值比对照同期增加了 (13.4±5.2)cm • a⁻¹ 和 (8.8±6.3)cm • a⁻², 差异显著。

3 结论与讨论

干旱和鼠害是决定我国北方飞播造林成败的主要因子^[6-11], 利用 RPA 拌种是降低飞播造林风险的有效措施^[18-21]。通过对 1997—2011 年陕西 RPA 拌种飞播造林油松高生长调查资料的分析, 得出了以下结论。

指数模型分析证明飞播油松高生长汉中>安康>淳化>商州, 说明汉中飞播林地立地质量较高, 而商州立地质量相对较差。同时也证明, RPA 处理与对照间树高生长差异明显, 差距逐年增大。汉中、安康、淳化和商州 RPA 处理区 14 年生油松平均高依次为 (476.8±13.5)、(409.3±13.7)、(379.0±22.1)cm 和 (351.4±15.8)cm, 年均生长量比对照分别提高 (11.3±3.7)、(8.0±2.8)、(8.9±3.4)cm 和 (7.4±3.9)cm, 十分明显; 但年间均值变异较大, 增益作用有波动。结果与 RPA 蘸浆造林结果一致, 充分说明了 RPA 对林木的抗旱促长作用^[20]。

用 Logistic-模型可将飞播油松林生活周期从理论上划分为 3 个时期。幼苗生长期决定飞播造林的成败, 个体林木生长期决定飞播油松能否成林。飞播油松林理想的更新周期, 汉中和安康的对照和 RPA 分别为 44 a 和 42 a, 商州为 45 a 和 43 a, 淳化为 44 a 和 42 a。因为没有完整的飞播林研究资料, 结论还有待进一步验证。

飞播初期, 油松高年生长量较小, 具有年间波动性。汉中 RPA 和对照 6 a 和 7 a 后, 安康两者 7 a 后, 商州和淳化 RPA 和对照 7 a 和 8 a 后, 油松高年生长量增加较快, 年间波动逐渐加剧, 震荡上升, 总体符合变化。

参考文献:

[1] 李愈善, 王锁民, 王恩苓, 等. 飞播造林技术规程(GB/T 15162-2005)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

[2] 李国雷, 刘勇, 郭蓓, 等. 我国飞播造林研究进展[J]. 世界林业研究, 2006, 19(6): 45-48.

LI G L, LIU Y, GUO B, *et al.* Advances in the research of the aerial-seeding forest in China[J]. World Forestry Research, 2006, 19(6): 45-48. (in Chinese)

[3] 中国飞播造林四十年编委会. 中国飞播造林四十年[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.

[4] BULLEY B, BOWLING C. Jack pine aerial seeding on three soil types of the Pakwash Forest[M]. Canada Ontario: Queen's Printer for Ontario Printed, 1996.

[5] FAULIER ME, TROTMAN I G, GARNET B T. Aerial seeding of pines for protection afforestation : kaweka forest, hawks bay[R]. New Zealand Forest Service, 1972: 81-90.

[6] 章国华, 张怀玉, 程继先. 飞播造林成效播期的影响因素分析

- [J]. 黑龙江农业科学,2010(11):92-93.
- [7] 李仲勋. 浅析影响榆林沙区飞播造林成苗的因素[J]. 陕西农业科学,2011(4):85-87.
- [8] 杨兴文, 杨宝珍. 秦岭瘠薄山区飞播造林存在的问题与对策[J]. 陕西林业科技,2011(3):82-84.
- [9] 张建华. 商洛市飞播造林的影响因素及改善措施[EB/OL]. 现代农业科技,2012,11(2):163-164. <http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1278.S.20121205.1120.104.html>
- [10] 王锁民. 飞播生产若干基本技术问题的研究与思考[J]. 陕西林业科技,2012,(4):103-110.
- [11] 黄青平,王得祥,刘华,等. 陕西商洛油松飞播林生长规律及其影响因子分析[J]. 西北林学院学报,2013,28(1):157-162.
- HUANG Q P, WANG D X, LIU H, *et al.* Analysis on the growth rhythm and environmental impact factors of aerially seeded *Pinus tabulaeformis* plantation in Shangluo[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 157-162. (in Chinese)
- [12] 李怀忠. 种子拌药提高柠条出苗率[J]. 植物保护,1986,12(6):48.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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)
- [19] 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)
- [20] 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)
- [21] 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)
- [22] 韩崇选,张放,李惠萍,等. 退耕还林不同整地方式油松林地鼢鼠种群动态研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(4):120-126.
- HAN C X, ZHANG F, LI H P, *et al.* Population dynamics of zokor in Chinese pine forests with different site preparations in grain for green project areas[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 120-126. (in Chinese)
- [23] 韩崇选,杨学军,王明春,等. 陕北林地啮齿动物群落多样性研究[J]. 西北林学院学报,2006,21(1):99-104.
- HAN C X, YANG X J, WANG M C, *et al.* Rodent community diversity in forest lands of North Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(1): 99-104. (in Chinese)
- [24] 崔迅,韩崇选,王明春,等. 黄土高原次生林改造林地鼢鼠发生规律研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(1):96-101.
- CUI X, HAN C X, WANG M C, *et al.* A study on the out-break regularity of zokor in the improved secondary forests on the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(1): 96-101. (in Chinese)