

气温对汉中飞播油松成苗效果的影响

童开林¹, 王锁怀², 韩崇选^{3*}, 李建春⁴

(1. 杨凌职业技术学院,陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省林业调查规划院,陕西 西安 710082;
3. 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100; 4. 陕西省飞机播种造林工作站,陕西 西安 710082)

摘要:气温是林业气候资源的重要气象指标。研究气温年际和月际变化与飞播成苗效果的关系,是科学制定飞播造林方案和合理评价 RPA 拌种飞播效果的前提。为此,在汉中降水量与飞播油松成苗效果关系研究的基础上,利用 1997 年汉中飞播油松成苗期有苗样方频度和成苗量调查数据,采用相关分析法和逐步回归模型分析法研究了成苗效果与温度的关系,并通过与降水量研究对比分析,探讨了温度和降水量匹配协调作用对成苗效果的影响。结果表明,油松飞播成苗效果与年均温和年降水量呈正相关,与年极端低温度和最高温度均呈负相关。与降水量相同,成苗效果不仅取决于年均温度,也与各月的均温密切相关。秋冬季节,成苗效果除与 1 月均温呈极显著负相关外,与其他各月呈正相关;而与各月降水量呈负相关。春季,与 3 月和 5 月均温呈显著或极显著负相关,与 4 月均温极显著正相关;而与各月降水量呈极显著正相关。夏季,与 6 月和 7 月均温呈显著或极显著负相关,与 8 月均温呈极显著正相关;而与 6 月降水量显著负相关,与 8 月和 9 月降水量呈极显著正相关。其中,4 月均温对成苗效果作用最强,5 月降水量对对照成苗效果和 RPA 成苗量作用最大,7 月降水量对 RPA 有苗样方频度贡献率较高。使用 RPA 拌种能提高飞播油松对林地水热资源的利用率。

关键词:飞播造林;温度;油松;多效抗旱驱鼠剂;成苗效果

中图分类号:S791. 254 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)03-0113-07

Influence of Atmospheric Temperature on Effective Grown-up Seedling of
Pinus tabulaeformis for Aerial Seeding in Hanzhong

TONG Kai-lin¹, WANG Suo-huai², HAN Chong-xuan^{3*}, LI Jian-chun⁴

(1. Yangling Vocational & Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Forestry Inventory and Planning Institute in Shaanxi, Xian, Shaanxi 710082, China; 3. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Shaanxi Work Station of Afforestation by Aerial Seeding, Xi'an, Shaanxi 710082, China)

Abstract:Air temperature is the main meteorological index, and also an important element of forestry climatic resources. The relationship between the annual and monthly variations of temperature and effective grown-up seedling after the aerial seeding is the prerequisite to scientific development plan of afforestation by aerial seeding and to rational evaluation of the application effect of RPA. Based on the study of the relationship between precipitation and effective grown-up seedling for *Pinus tabulaeformis* after the aerial seeding in Hanzhong, by using the data of the frequentness of sample plots with available seedling and the quantity of available seedling of *P. tabulaeformis* during grown-up seedling period in 1997 after aerial seeding, the correlation analysis method and the stepwise regression model analysis method were adopted to analyze the relationship between seedling effect and temperature. The influence of coordinating function

收稿日期:2014-11-21 修回日期:2015-01-18

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:童开林,男,工程师,研究方向:园林绿化。E-mail:492926418@qq.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

between temperature and precipitation on seedling effect was examined. The results showed that there was a positive correlation between the effective grown-up seedling and annual mean temperature and annual precipitation. The effective grown-up seedling not only depended on the annual mean temperature, but was also closely related to the monthly mean temperature. In fall and winter seasons, effective grown-up seedling was significantly negatively correlated with the mean temperature in January, had a positive correlation in other months, but negatively correlated with precipitation. In spring, there were significantly or highly significantly negative correlation between the effective grown-up seedling and mean temperature in March and May, and the highly significantly positive correlation with the mean temperature in April, but were highly significantly positive correlated to monthly precipitation. In summer, there were significantly or very significantly negative correlation with average temperature in June and July, were positively correlated with precipitation in August, and significant negative correlation with the precipitation in June, and significantly positive correlation with the precipitation in August and September. Among them, the effect of average temperature on effective grown-up seedling in April was the most powerful, and the precipitation in May contributed mostly on effective grown-up seedling in control area and the quantity of available seedling in RPA area. The contribution rate of the rainfall in July was higher to the frequentness of sample plots with available seedling in RPA area. Seed dressing with RPA could improve the utilization of water and thermal resources of *P. tabulaeformis* in the forest.

Key words: afforestation by aerial seeding; atmospheric temperature; *Pinus tabulaeformis*; RPA; effective grown-up seedling

全球变暖已经成为多数学者的共识^[1-4]。由于气温升高,引起年间和月际间气温和降水分布发生剧烈变化^[5-6],造成秦巴山区冬季寒冷干燥;夏季高温,暴雨频繁;秋季阴雨连绵,冬春季干旱和夏季伏旱时有发生^[7-8]。气象因子的变化直接影响飞播后种子在林地的存留状态和发芽进程^[9-10],引起鸟兽对种子盗食量和种子损失程度产生差异^[11-12],进而造成飞播成苗量和有苗样方频度发生变化^[13-18],决定飞播造林的成败,影响飞播林分的生长规律^[19-20]。为此,利用1997年汉中RPA拌种和对照飞播区油松成苗期的有苗样方频度和成苗量资料,分析了汉中市温度与飞播油松造林成效的关系,并通过降水量与飞播成苗效果关系研究结果对比分析,探讨了温度和降水量对飞播成苗效果的影响。以期为制定科学的飞播造林技术方案和评估RPA拌种飞播效果提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

按照1996年汉中市飞播造林作业设计方案,选择汉中市宁强县油松播区为研究基地^[21]。宁强县地处秦岭和巴山两大山系的交汇地带,北属秦岭山系,大部分海拔1 000~1 600 m;南属巴山山系,大部分海拔1 000~1 800 m,分为谷坝、谷地、低山、中山和高中山5个地貌类型,属山地暖温带湿润季风气候类型,垂直分带明显。年均气温12.9℃,极端

最低气温-11.6℃(1991年12月28日),极端最高气温37.4℃(2002年7月5日);1月均温1.8℃,7月均温23.7℃。年均地温2.6℃,1月0.4℃,7月29.9℃;最大冻土层深度11 cm。年降水量均值1 103.6(623.4~2 022.9)mm,7—9月降水量占52.6%,汛期5—10月占82.4%;夏季多暴雨,秋季多连阴雨,冬季降水较少,占年降水量的3.9%。年日照时数1 589.0 h。无霜期247 d^[6]。播区面积1.05万hm²。海拔900 m以下主要树种为栓皮栎(*Quercus variabilis*)、油桐(*Vernicia fordii*)、核桃(*Juglans regia*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、棕榈(*Trachycarpus fortunei*)、枫香(*Liquidambar formosana*)等;海拔900~1 500 m主要树种有栎类(*Quercus* spp.)、槭类、千金榆(*Carpinus cordata*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)等;海拔1 500 m以上主要树种为华山松(*Pinus armandii*)和桦木(*Betula* spp.),林间有马棘(*Indigofera pseudotinctoria*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、苔草(*Carex tristachya*)和千金子(*Euphorbia lathyris*)等组成的山地灌木草丛。

1.2 调查方法与数据处理

1997年飞播后,选择RPA拌种与不拌种播区,每年10月按照“M”或“Z”形取样方法,随机抽取50块1 m×2 m样方,调查样方油松株数。重复5次,连续调查6 a。温度资料来源于1998—2004年陕西省统计年鉴。按单位面积成苗量(survival seedling

quantity, Q_{ss}) 和有苗样方频度 (frequentness of sample plots with available seedling, F) 表述飞播后油松成苗效果(表 1)。采用 SPSS17.0 中的相关分析法和逐步回归模型分析温度指标与油松成苗效果的关系,以模型参数、相关系数和指标量综合分析各温度指标对成苗效果作用稳定性和影响强度。并通过与降水量与成苗效果关系研究结果对比分析^[21],探讨温度和降水因子对飞播油松成苗效果作用变化。

2 结果与分析

2.1 成苗效果与温度相关分析

对汉中油松飞播后第 1—6 年成苗指标与温度指标进行相关分析显示,温度与飞播后油松成苗效果相关度极高(表 2)。油松成苗效果与年均温度呈

显著正相关($r>0, p<0.05$),与 7 月极端最高温度呈极显著负相关($r<0, p<0.01$),与 1 月极端最低温度呈显著负相关($r<0, p<0.05$)。从月均温分析,油松成苗效果与 2 月和 12 月月均温度呈一定正相关性,但相关不显著($r>0, p>0.05$),与 10 月呈显著正相关,与 4 月、8 月、9 月和 11 月正相关极显著($r>0, p<0.01$);而与 5 月和 6 月均温呈显著负相关,与 1 月和 7 月呈极显著负相关(表 2)。

2.2 成苗效果与温度模型分析

逐步回归模型分析显示,对照油松成苗效果与 4 月和 11 月月均温度关系密切,RPA 油松成苗量与 4 月、11 月和 12 月月均温度关系紧密,而 RPA 油松有苗样方频度与 4 月、1 月极端最低温度和 9 月月均温度相关性较强(图 1)。引入时间因子,模型分析结果不变。

表 1 汉中飞播油松成苗效果调查(1998 年—2003 年)

Table 1 Effective grown-up seedling of *P. tabulaeformis* for aerial seeding in Hanzhong

项目	年限	RPA						CK					
		I	II	III	IV	V	\bar{m}	I	II	III	IV	V	\bar{m}
成苗量 Q_{ss} /(株·hm ⁻²)	1	5 900	5 500	6 200	5 200	5 600	5 680.0±383.4	3 100	2 900	3 300	2 700	2 900	2 980.0±228.0
	2	3 600	3 500	3 600	4 000	3 900	3 720.0±216.8	1 600	1 300	2 100	1 400	1 900	1 660.0±336.2
	3	2 500	2 300	2 100	3 000	3 000	2 580.0±408.7	1 000	1 200	1 500	1 000	1 300	1 200.0±212.1
	4	2 000	2 000	2 100	2 300	2 200	2 120.0±130.4	1 100	1 000	900	1 100	1 000	1 020.0±83.7
	5	1 900	2 100	1 800	1 800	2 000	1 920.0±130.4	900	1 000	900	800	1 000	920.0±83.7
	6	1 600	1 800	1 700	1 600	1 400	1 620.0±148.3	700	900	900	800	900	840.0±89.4
有苗样方 频度 $F/\%$	1	68	72	66	58	62	65.2±5.4	56	54	48	52	46	51.2±4.1
	2	48	46	42	40	48	44.8±3.6	28	36	20	18	28	26.0±7.2
	3	30	32	20	30	36	29.6±5.9	14	16	20	12	14	15.2±3.0
	4	22	24	20	28	26	24.0±3.2	16	18	12	10	12	13.6±3.3
	5	20	24	20	22	18	20.8±2.3	12	14	16	16	12	13.6±2.6
	6	18	22	26	24	14	20.4±5.2	10	8	6	10	12	9.2±2.3

表 2 1998—2003 年汉中气温变异与飞播油松成苗效果相关分析

Table 2 From 1998 to 2004, correlation analysis between atmospheric temperature variation and effective grown-up seedling of *P. tabulaeformis* for aerial seeding in Hanzhong

指标	温度/℃			变异系数 /%	相关系数			
	平均	最低	最高		苗木保存量 Q_{ss}	有苗样方频度 F	RPA	CK
	RPA	CK	RPA	CK				
年	15.1±0.0	14.7	15.4	1.5	0.461*	0.442*	0.405*	0.461*
极端最高	37.4±0.4	33.5	39.5	5.3	-0.880**	-0.840**	-0.851**	-0.880**
极端最低	-4.6±0.2	-11.9	-3.0	20.1	-0.377*	-0.323	-0.382*	-0.377*
1月	3.3±0.1	2.3	4.1	18.1	-0.523**	-0.596**	-0.495**	-0.523**
2月	6.6±0.1	5.3	7.5	10.5	0.151	0.113	0.165	0.151
3月	10.7±0.3	8.8	12.3	13.9	-0.685**	-0.670**	-0.718**	-0.685**
4月	15.8±0.2	14.6	17.9	7.2	0.935**	0.919**	0.922**	0.935**
5月	20.2±0.2	19.1	21.7	4.3	-0.432*	-0.469**	-0.406*	-0.432*
6月	24.0±0.1	23.1	25.1	2.6	-0.414*	-0.326	-0.446*	-0.414*
7月	26.3±0.2	25.1	27.4	3.7	-0.476**	-0.483**	-0.520**	-0.476**
8月	24.8±0.1	24.0	26.1	2.7	0.504**	0.399*	0.509**	0.504**
9月	20.8±0.2	19.0	22.0	4.9	0.624**	0.589**	0.640**	0.624**
10月	15.5±0.2	13.9	16.5	6.0	0.401*	0.404*	0.338	0.401*
11月	9.0±0.2	7.3	10.7	12.1	0.625**	0.655**	0.593**	0.625**
12月	3.9±0.2	2.7	5.1	23.4	0.320	0.399*	0.304	0.320

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

$$Q_{ssck} = -8394.374 + 622.875 \bar{T}_{m4}$$

$$(n=30, R^2 = 0.844, r_{m4} = 0.919, F = 151.463,$$

$$p=0.000)$$

$$Q_{ssck} = -9135.462 + 530.158 \bar{T}_{m4} + 245.851 \bar{T}_{m11}$$

$$(n=30, R^2 = 0.944, r_{m11} = 0.655, F = 225.912,$$

$$p=0.000)$$

$$Q_{ssrpa} = -15703.082 + 1181.188 \bar{T}_{m4}$$

$$(n=30, R^2 = 0.875, r_{m4} = 0.935, F = 196.204,$$

$$p=0.000)$$

$$Q_{ssrpa} = -16910.749 + 1030.098 \bar{T}_{m4} + 400.636 \bar{T}_{m11}$$

$$(n=30, R^2 = 0.951, r_{m11} = 0.625, F = 264.288,$$

$$p=0.000)$$

$$Q_{ssrpa} = -17499.447 + 1171.752 \bar{T}_{m4} + 335.653 \bar{T}_{m11} - 272.922 \bar{T}_{m12}$$

$$(n=30, R^2 = 0.971, r_{m12} = 0.320, F = 286.321,$$

$$p=0.000)$$

$$F_{ck} = -164.016 + 11.752 \bar{T}_{m4}$$

$$(n=30, R^2 = 0.802, r_{m4} = 0.896, F = 113.740,$$

$$p=0.000)$$

$$F_{rp} = -180.670 + 9.668 \bar{T}_{m4} + 5.525 \bar{T}_{m11}$$

$$(n=30, R^2 = 0.937, r_{m11} = 0.692, F = 200.244,$$

$$p=0.000)$$

$$F_{rpa} = -181.850 + 13.684 \bar{T}_{m4}$$

$$(n=30, R^2 = 0.850, r_{m4} = 0.922, F = 158.058,$$

$$p=0.000)$$

$$F_{rpa} = -194.155 + 13.129 \bar{T}_{m4} - 4.630 T_{\min}$$

$$(n=30, R^2 = 0.911, r_{\min} = -0.382, F = 137.605, p=0.000)$$

$$F_{rpa} = -152.314 + 15.488 \bar{T}_{m4} - 63.691 T_{\min} - 4.246 \bar{T}_{m9}$$

$$(n=30, R^2 = 0.934, r_{m9} = 0.640, F = 123.424,$$

$$p=0.000)$$

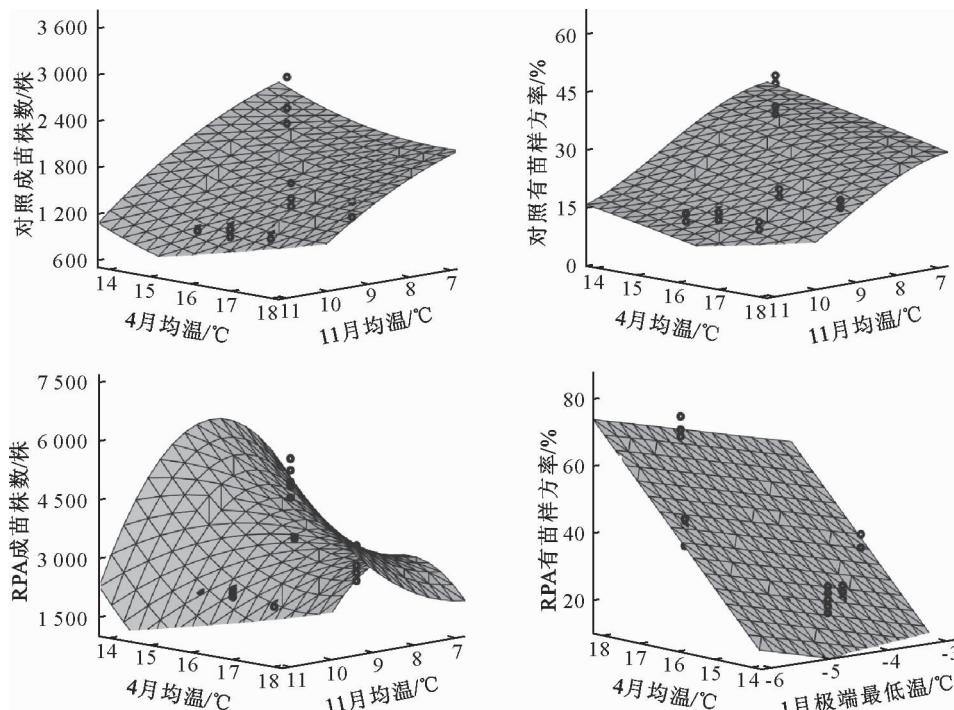


图 1 汉中飞播油松成苗效果与气温关系

Fig. 1 The relationship between atmospheric temperature and effective grown-up seedling of *P. tabulaeformis* for aerial seeding in Hanzhong

从成苗效果 4 月温度模型分析, RPA 与对照油松成苗量模型和有苗样方模型反映了成苗效果与 4 月降水量 87.5%、85.0% 和 84.4%、80.2% 的信息量。2 组模型交点分别在月均温度为 13.1℃ 和 9.2℃ 附近, 模型斜率比值为 1.9 和 1.2; 在试验期 4 月月均温度范围内 {14.9℃, 17.9℃}, RPA 模型值大于对照, 差距随月均温度提高扩大; 其中, 油松成苗量扩大效果明显。

从成苗效果两温度因子模型分析, 成苗量模型包含了 RPA 和对照成苗量与 4 月和 11 月均温 95.1% 和 94.4% 的信息量, 满足生物统计分析的需求。在控制 4 月温度指标作用下, 成苗量与 11 月均温呈极显著正相关 ($r=0.782, 0.799, p=0.000$); 2 温度因子相互作用下, 4 月均温对 RPA 和对照成苗量贡献率为 81.9% 和 79.1%, 明显大于 11 月的 18.1% 和 20.9%。从有苗样方频度模型分析, 在排

除4月温度干扰小,RPA有苗样方与1月极端最低温度呈极显著负相关($r = -0.637, p = 0.000$),对照与11月均温正相关极显著($r = 0.825, p = 0.000$)。4月均温对RPA和对照油松有苗样方贡献率为90.8%和75.5%,远大于1月极端最低温度和11月均温的9.2%和24.5%。

RPA成苗效果3温度因子模型,分别包含了成苗量和有苗样方温度指标97.1%和93.4%的信息量,更能准确反映温度因子对其成苗效果的影响。在控制其他温度因子作用下,9月均温与RPA有苗样方负相关极显著($r = -0.515, p = 0.005$);4月均温贡献率为67.3%,大于9月和1月极端最低温度的24.3%和8.4%。从复相关系数分析,12月均温与RPA油松成苗量关系相对疏远,作用效果不稳定,而1月极端最低温度与RPA油松有苗样方频度关系相对松散,作用效果稳定性较低。

以飞播年限为权重分析,对照油松成苗效果和RPA油松成苗量与温度指标关系不变,仅模型参数有所改变;而RPA油松有苗样方与温度指标关系发生了较大改变,11月和6月均温的作用凸显。

$$Q_{ssck} = -6862.329 + 528.239 \bar{T}_{m4} \\ (n=30, R^2 = 0.731, r_{m4} = 0.855, F = 76.064, p = 0.000)$$

$$Q_{ssck} = -9170.210 + 532.348 \bar{T}_{m4} + 245.474 \bar{T}_{m11} \\ (n=30, R^2 = 0.910, r_{m11} = 0.410, F = 137.246, p = 0.000)$$

$$Q_{ssrpa} = -14008.411 + 1066.368 \bar{T}_{m4} \\ (n=30, R^2 = 0.768, r_{m4} = 0.876, F = 92.694, p = 0.000)$$

$$Q_{ssrpa} = -18086.983 + 1073.950 \bar{T}_{m4} + 453.455 \bar{T}_{m11} \\ (n=30, R^2 = 0.926, r_{m11} = 0.384, F = 168.823, p = 0.000)$$

$$Q_{ssrpa} = -17455.354 + 1173.592 \bar{T}_{m4} + 329.309 \bar{T}_{m11} - 278.315 \bar{T}_{m12} \\ (n=30, R^2 = 0.955, r_{m12} = 0.006, F = 182.447, p = 0.000)$$

$$F_{ck} = -132.453 + 9.667 \bar{T}_{m4} \\ (n=30, R^2 = 0.645, r_{m4} = 0.803, F = 50.765, p = 0.000)$$

$$F_{ck} = -183.216 + 9.761 \bar{T}_{m4} + 5.644 \bar{T}_{m11} \\ (n=30, R^2 = 0.894, r_{m11} = 0.487, F = 114.309, p = 0.000)$$

$$F_{rpa} = -164.769 + 12.523 \bar{T}_{m4} \\ (n=30, R^2 = 0.732, r_{m4} = 0.856, F = 76.591, p = 0.000)$$

$$F_{rpa} = -206.694 + 12.601 \bar{T}_{m4} + 4.661 \bar{T}_{m11} \\ (n=30, R^2 = 0.848, r_{m11} = 0.326, F = 75.127, p = 0.000)$$

$$F_{rpa} = -86.626 + 11.069 \bar{T}_{m4} + 5.059 \bar{T}_{m11} - 4.142 \bar{T}_{m6} \\ (n = 30, R^2 = 0.885, r_{m6} = -0.530, F = 66.522, p = 0.000)$$

从复相关系数和偏相关系数分析,在飞播年限权重下,油松成苗效果与温度指标相关性均有不同程度降低,但性质保持不变。对于成苗量,RPA和对照4月温度模型交点在13.1°C附近,斜率比值为2.1;交点值与上述分析相同,斜率比值略大。说明在飞播年限权重下,RPA与对照差异更明显。4月和11月温度共同作用下,4月温度对成苗量贡献率为80.7%和79.2%,远大于11月的19.3%和20.8%;与上述分析结果基本一致。对照3变量模型中,4月温度贡献率为82.1%,也远大于11月和12月的13.1%和4.8%;与上述分析结果十分接近。对于有苗样方频度,4月温度模型交点在11.3°C附近,模型斜率比值为1.3,略大于上述分析结果,但交点值仍然低于试验期4月均温范围下限。在4月和11月温度共同作用下,4月温度对模型值贡献率为82.6%和75.3%,大于11月的17.4%和24.7%;4月温度对对照油松有苗样方作用强度略有增强,而对RPA油松作用相对降低。从3变量模型分析,在控制模型中其它温度指标作用下,6月温度与RPA油松有苗样方呈极显著负相关($r = -0.493, p = 0.008$);其中,4月温度对模型贡献率为54.7%,大于6月的31.1%,11月温度作用强度最低,贡献率仅为14.2%;与上述分析结果相比,4月温度作用程度明显降低。

3 结论与讨论

3.1 成苗效果与温度的相关性及变化

与降水量对成苗效果作用相同,油松成苗效果不仅取决于年均温度,也与各月均温有密切关系。但月均温和降水量与油松成苗效果关系不同,作用效果也有差异。年均温与飞播油松成苗效果关系和年降水量与成苗效果关系相同,也表现为正相关($r > 0$)。但降水量相关极显著($p < 0.01$),年均温相关显著($p < 0.05$)。油松成苗效果与年极端最高温度和最低温度均呈负相关($r < 0$),其中与前者极显著相关($p < 0.01$),与后者多显著相关,仅与对照成苗量不显著($p > 0.05$)。

冬季气温低,土壤表层容易结冻。成苗效果与1月均温呈极显著负相关,与12月和2月均温呈正

相关,但仅对照成苗量与 12 月均温相关显著;而成苗效果与冬季各月降水量均呈极显著负相关。春季 3 月,月均温比 2 月提高(4.9 ± 0.2)℃,气温回升较快,林木开始萌动,对水分需求增加,但 3 月降水量仅为(16.3 ± 1.7)mm,满足不了林木要求,所以,成苗效果与月均温呈极显著的负相关,而与月降水量呈极显著正相关。4 月林木生长加快,对温度和水分需求增强,月均温和降水量分别为(15.8 ± 0.2)℃ 和(53.7 ± 3.9)mm,也不能满足林木生长需求,成苗效果与月均温和降水量均呈极显著的正相关。5 月均温为(20.2 ± 0.2)℃,降水量为(96.0 ± 8.6)mm。月均温与成苗效果呈负相关,其中,除与对照成苗量相关极显著外,其余相关仅为显著;而降水量与成苗效果呈极显著的正相关。

夏季 6 月,油松生长减缓,月均温和降水量为(24.0 ± 0.1)℃ 和(92.3 ± 8.8)mm,超过了油松苗木正常需求,与成苗效果呈负相关。其中,月均温除与对照成苗量相关不显著外,与其他相关显著,而月降水量与成苗效果呈显著负相关。7 月均温最高,暴雨与伏旱交替发生,油松苗木生长停滞;成苗效果与月均温呈极显著的负相关,与月降水量呈极显著正相关。8 月均温下降,月降水量全年最高,油松幼苗开始第 2 次生长。月均温和降水量与成苗效果均多呈极显著的正相关,其中仅月均温与对照成苗量和降水量与 RPA 有苗样方频度呈显著正相关。秋季气温下降,连阴雨增多,降水量渐少。成苗效果与月均温正相关,其中与 9 月和 12 月相关极显著,与 10 月除 RPA 有苗样方频度相关不显著外,其余相关均显著;与月降水量均呈负相关,其中与 9 月负相关极显著,与 10 月相关不显著,与 11 月仅有对照有苗样方频度相关显著^[4]。

3.2 不同温度因子对成苗效果的协同作用

3.2.1 排除时间因素下温度对成苗效果的协同作用 对照成苗效果与 4 月和 11 月均温相关性强;RPA 成苗效果与 4 月均温关系最紧密,其中,成苗效果也与 11 月和 12 月均温相关性强,有苗样方频度也与 1 月极端最低温度和 9 月均温相关度高。在 2 因子共同作用下,4 月均温对对照成苗量和有苗样方频度模型值贡献率为 79.1% 和 75.5%,明显大于 11 月均温的 20.9% 和 24.5%。4 月均温对 RPA 成苗效果贡献率为 81.9% 和 90.8%,大于对应 11 月均温和 1 月最低温度的 18.1% 和 9.2%。而 5 月降水量对对照成苗效果作用最大,贡献率为 96.9% 和 96.7%,远大于 2 月降水量的 3.1% 和 3.3%。7 月降水量与 RPA 成苗效果关系密切,贡献率为 71.6% 和 69.8%,远大于 9 月的 26.9% 和 28.5%,

以及 12 月的 1.5% 和 1.7%。

3.2.2 飞播年限协调作用下温度与成苗效果关系 引入时间变量,成苗效果与温度关系不变;而 5 月降水量对油松成苗效果作用强度极强。其中,对照有苗样方频度和有效成苗量作用强度分别为 97.4% 和 97.1%,对 RPA 分别为 95.8% 和 95.9%,远高于飞播年限的贡献率。

3.2.3 飞播年限权重下温度与成苗效果关系 在飞播年限权重下,4 月均温也与成苗效果关系最为紧密,作用最大。其中,对照成苗效果和 RPA 成苗量与温度关系保持不变,而 RPA 有苗样方频度模型中,11 月和 6 月均温指标代替了原模型中的 1 月极端最低温度和 9 月均温指标。而 2 月降水量与对照飞播油松成苗效果和 RPA 成苗量关系最为紧密,5 月降水量贡献率最高;5 月降水量与 RPA 有苗样方频度关系最为紧密,但 7 月降水量贡献率为 63.9%,明显大于 5 月和 2 月的 32.3% 和 3.8%。在当地温度和降水量范围内,RPA 模型值大于对照,说明 RPA 拌种飞播油松对林地温度和水分利用率高,单位有效积温和降水量有苗样方频度和有效成苗量较大。

参考文献:

- [1] BROHAN P, KENNEDY J J, HARRIS I, et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new data set from 1850 [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006, 111(12):1-21.
- [2] JONES P D, BRIFFA K R. What can the instrumental record tell us about longer timescale paleoclimatic reconstructions [C]// JONES P D, BRADLEY R S, JOUZEL J. Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years. Berlin: Springer, 1996: 625-644.
- [3] 王海军, 张勃, 赵传燕, 等. 中国北方近 57 年气温时空变化特征[J]. 地理科学进展, 2009, 28(4):643-650.
- [4] 李庆祥, 董文杰, 李伟, 等. 近百年中国气温变化中的不确定性估计[J]. 科学通报, 2010, 55(16):1544-1554.
- [5] LI Q X, DONG W J, LI W, et al. Assessment of the uncertainties in temperature change in China during the last century [J]. Chinese Sci. Bull., 2010, 55 (16): 1544-1554. (in Chinese)
- [6] 刘学华, 季致建, 吴洪宝, 等. 中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618-624.
- [7] LIU X H, JI Z J, WU H B, et al. Distributing characteristics and interdecadal difference of daily temperature and precipitation extremes in China for latest 40 years [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2006, 22(6): 618-624. (in Chinese)
- [8] 胡江波, 鲁学忠, 苏俊辉. 近 51 年宁强县气候特征分析[J]. 陕西气象, 2010(10):18-21.
- [9] 张翀, 任志远, 李小燕, 等. 黄土高原植被对气温和降水的响

- 应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(20):4205-4215.
- [8] 崔晓临, 白红英, 王涛. 秦岭地区植被 NDVI 海拔梯度差异及其气温响应[J]. 资源科学, 2013, 35(3):618-626.
- [9] 王进, 张勇, 颜霞, 等. 光照、温度、土壤水分和播种深度对披针叶黄华种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(9):1640-1644.
- [10] 李有志, 黄继山, 朱杰辉. 光照和温度对小叶章种子萌发及其幼苗生长的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2007, 33(2):187-190.
- LI Y Z, HUANG J S, ZHU J H. Effects of light and temperature on seed germination and seedling growth of *Deyeuxia angustifolia* [J]. Journal of Hunan Agricultural University:Natural Sciences, 2007, 33(2): 187-190. (in Chinese)
- [11] 张建华. 商洛市飞播造林的影响因素及改善措施[J]. 现代农业科技, 2012(22):163-164.
- [12] 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.
- [13] 刘向东, 吴钦孝, 侯庆春, 等. 飞播油松幼苗的生态分布[J]. 水土保持通报, 1983, 3(6):77-82.
- [14] 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.
- [15] 王树国, 王庆丰. 降水过程对飞播造林油松成苗的影响[J]. 河北林果研究, 2000, 19(3):232-235.
- [16] 齐长江, 郊松平, 王可盛. 降水对油松雨季直播造林出苗的影响[J]. 辽宁林业科技, 1986, (1):34-36.
- [17] 陈射斗. 秦巴山区降水规律与飞播造林成效关系的研究[J]. 西北林学院学报, 1996, 11(3): 50-53.
- CHEN S D. Relationship between characteristics of rainfall and aerial seeding afforestation results in the Qinba Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1996, 11(3): 50-53. (in Chinese)
- [18] 冯玉龙, 刘恩举, 孙国斌. 根系温度对植物的影响(I)——根温对植物生长及光合作用的影响[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(3):63-69.
- FENG Y L, LIU E J, SUN G B. Influence of temperature of root system on plant (I)—influence of root temperature on plant growth and photosynthesis [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1995, 23(3): 63-69. (in Chinese)
- [19] 李有志, 黄继山, 朱杰辉. 光照和温度对小叶章种子萌发及其幼苗生长的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2007, 33(2):187-190.
- LI Y Z, HUANG J S, ZHU J H. Effects of light and temperature on seed germination and seedling growth of *Deyeuxia angustifolia* [J]. Journal of Hunan Agricultural University:Natural Sciences, 2007, 33(2): 187-190. (in Chinese)
- [20] 钱瑞芳, 钟全林, 程栋梁. 温度对森林生长速率和生物量异速生长关系的影响[J]. 沈阳大学学报:自然科学版, 2010, 22(4):20-23.
- QIAN R F, ZHONG Q L, CHENG D L. Effects of temperature on allometry of forest biomass production rates and body size [J]. Journal of Shenyang University: Natural Science, 2010, 22(4): 20-23. (in Chinese)
- [21] 陕西省林业勘察设计院. 汉中市 1996 年飞播造林作业设计(1997 年施工)[R]. 1996.

(上接第 106 页)

- [10] LIU Y L, HUANG Z D, AO Y, et al. Correction: transcriptome analysis of yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge.) : a potential oil-rich seed tree for biodiesel in China [J]. PloS one, 2014, 9(1). 1-13.
- [11] 敖妍. 不同地区文冠果群体种子含油率·产量变异规律[J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (25):11967-11969.
- [12] 敖妍. 因子分析法在文冠果优良单株选择中的应用[J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(4):70-73.
- AO Y. Application of factor analysis in superior individual plant selection of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. Journal of South China Agricultural University, 2009, 30 (4): 70-73. (in Chinese)
- [13] 王涛, 敖妍, 牟洪香, 等. 中国能源植物文冠果的研究[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2012.
- [14] GB/T15690-1995. 油籽含油量核磁共振测定法[S]. 北京:中国标准出版社, 1995.
- [15] 徐青萍, 马明星, 马存德. 文冠果种子发芽特性的研究[J]. 陕西农业科学, 2006 (3):62-64.
- [16] GB/T 14071-93. 林木良种审定规范[S]. 北京:中国标准出版社, 1993.
- [17] 岁立云, 刘晓敏, 李周岐, 等. 山桐子果实性状的自然变异及类型划分[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009, 37(8):115-120.
- SUI L Y, LIU X M, LI Z Q, et al. Natural variation and variation types of fruit characters of *Idesia polycarpa* Maxim. [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed., 2009, 37(8):115-120. (in Chinese)
- [18] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京:中国林业出版社, 1990.
- [19] 蒋晋豫, 郭军战, 蔡英, 等. 油松类型划分与优良类型选育[J]. 西北林学院学报, 2010, 25 (3):66-70.
- JIANG J Y, GUO J Z, CAI Y, et al. Classification and selection of superior *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(3):66-70. (in Chinese)
- [20] 周建云, 曹旭平, 张宏勃, 等. 陕西栓皮栎天然类型划分研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(1):16-19.
- ZHOU J Y, CAO X P, ZHANG H B, et al. Classification of natural types of *Quercus variabilis* in Shaanxi Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(1):16-19. (in Chinese)
- [21] 吴裕, 段安安. 元宝枫性状相关分析与变异类型划分[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1):34-37.
- WU Y, DUAN A A. Variable type compartmentalization and plus-tree selection of *Acer truncatum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(1):34-37. (in Chinese)