

神府东胜煤田沉陷区三种人工林生长状况比较研究

黄雅茹¹, 董杰⁵, 汪季¹, 马迎宾¹, 党晓宏¹, 孙萍², 王博文³, 张兴源⁴

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古贺兰山管理局, 内蒙古 贺兰 750306; 3. 内蒙古通辽市森林公园管理处, 内蒙古 通辽 028000; 4. 内蒙古乌兰浩特市兴安盟气象局, 内蒙古 乌兰浩特 137400; 5. 国际竹藤中心, 北京 100102)

摘 要:采用野外调查与室内试验相结合的方法,研究了神府东胜煤田沉陷区不同立地条件下三种人工林的生长状况,并对林下土壤含水量进行了测定,分析了人工林生长指标与林下土壤含水量的相关性,结果表明:不同立地条件下,樟子松的生长状况为梁地阴坡>覆沙地>梁地坡顶>梁地阳坡,方差分析表明差异显著($P<0.05$)。沙棘与山杏的生长状况为梁地阴坡>梁地坡顶>梁地阳坡,方差分析表明沙棘生长状况差异性极显著($P<0.01$),山杏生长状况差异不明显。不同立地条件樟子松,沙棘,山杏的各项生长指标之间有较好的相关性,山杏各项生长指标之间的相关性最好,相关系数大于 0.9。樟子松,沙棘,山杏的生长状况与土壤含水量有较好的相关性,相关系数均在 0.6 以上。

关键词:神府东胜煤田; 沉陷区; 生长状况

中图分类号:S728.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)02-0115-06

Comparison Study on the Growth Status of Three Planted Forests in Subsidence Area in Shenfu Dongsheng Coalfield

HUANG Ya-ru¹, DONG Jie⁵, WANG Ji¹, MA Ying-bin¹,

DANG Xiao-hong¹, SUN Ping², WANG Bo-wen³, ZHANG Xing-yuan⁴

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot 010019, China; 2. Helan Mountain Administration Bureau, Helan, Inner Mongolia 750306, China;

3. Forest Park Management Office, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China; 4. Xing'anmeng Meteorological Bureau, Ulanhot, Inner Mongolia 137400, China; 5. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

Abstract: Using a combination of field investigation and laboratory testing methods, three plantation growth conditions were studied in different site conditions in the subsidence area in Shenfu dongsheng coalfield, and soil moisture content understory was determined, the relativity of plantation growth indicators and soil moisture content understory was analyzed. The results showed that growth status of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in different site conditions indicated North-facing slope>cover sand land>slope peak>South-facing slope. Analysis of variance indicated the significant difference($P<0.05$). The growth status of *Hippophae rhamnoides* and *Prunus sibirica* L. indicated north-facing slope>slope peak>south-facing slope. Analysis of variance in growth status of *Hippophae rhamnoides* showed the significant difference($P<0.01$), growth status of *Prunus sibirica* L. was not obvious difference. Growth indices between *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *Hippophae rhamnoides* and *Prunus sibirica* L. in different site conditions had good correlation. Growth indices of *Prunus sibirica* L. had the best correlation, the correlation coefficient was greater than 0.9. Growth indices between *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *Hippophae rhamnoides*, *Prunus sibirica* L. and soil moisture had better correlation. The correlation coefficient was greater than 0.6.

Key words: Shenfu dongsheng coalfield; subsidence area; growth status

煤炭资源在我国经济发展中起着不可替代的作用,且其支柱作用今后很长时间内不会改变。虽然煤

炭资源在我国社会经济发展中起着关键作用,但其在开采过程中造成的环境问题也日益凸显,并已成为制

收稿日期:2012-09-19

修回日期:2012-10-27

资助项目:国家林业局林业公益行业科研专项(201104002-5);国家重点基础研究发展计划资助(2009CB825103)

作者简介:黄雅茹(1987—),女(蒙古族),内蒙古呼和浩特人,在读硕士研究生,主要研究方向:荒漠化防治。E-mail:hu_angyaru@126.com

通信作者:汪季(1957—),男,山东济南人,博士,教授,博士生导师,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:wangji1957@163.com

约区域发展甚至影响国家可持续发展战略的重大隐患^[1]。随着矿区煤田的开采,将有更多的农、林、耕地成为塌陷区,矿区地表塌陷,不仅会使大面积的土地被毁坏,造成生态失衡,而且给当地农林业生产以及社会和生态环境等方面带来一系列严重的问题^[2]。植被重建是采矿区生态恢复工作的首要任务,因为所有自然生态系统的恢复和重建,均以植被的恢复和重建为前提^[3]。王益民^[4]通过土地清理和土壤转移覆盖、水体生物净化技术、人工栽植与自然形成相结合的植物群落等建设方法对采煤沉陷区进行改造,工程实践结果表明,采煤沉陷区可以改建成为城市人工湿地生态系统,并能产生良好的生态效益。谢元贵等^[5]为了揭示采煤塌陷对矿区土壤物理性质的影响机理,对煤矿矿区不同采煤塌陷年限土壤物理性质进行了对比,结果表明,随着采煤塌陷年限的延长,土壤质量含水量逐渐下降^[5]。Burton 等^[6]认为植被自然恢复过程会长达十几年或几个世纪,但通过人工模拟或采用自然过程可获解决。

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)是胡颓子科沙棘属植物,具有适应性强、分布广、且喜光、抗严寒风沙、耐干旱和高温、生长快、根系发达等特性,适合于沙地造林,4~5 a 即可形成良好的灌木草本群落。沙棘林可做防护林、薪炭林和经济林。樟子松(*Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv.)是松科松属植物,也是我国北方沙地主要造林树种之一,在我国的风蚀荒漠化防治中起着重要作用。山杏(*Prunus sibirica* L.)是蔷薇科李属植物,是一种抗逆性强、适应性广、具有生态和经济双重效益的先锋树种^[7]。

本研究通过对神府东胜煤田沉陷区的沙棘、樟子松、山杏3种人工植被的生长指标进行野外测定,分析各生长指标之间的相关性;同时对不同立地条件下土壤含水量进行取样测定,分析生长指标与林下土壤含水量的相关性,以期探索植被的长势与土壤含水量的关系。

1 研究区概况

选择神木县活鸡兔乡高家畔村为研究区,该区为神府—东胜煤田的一部分。神府—东胜煤田位于109°30′—110°30′E,38°50′—39°50′N,黄河中游一级支流窟野河流域中游乌兰木伦河转龙湾至神木之间^[8]。矿区南北长38~90 km,东西宽35~55 km,总面积3 481 km²^[9]。由于长期不合理的土地利用加之自然环境条件的影响,导致了强烈的现代荒漠化过程,使固定沙丘活化、流沙蔓延^[10-12]。矿区属典型的干旱半干旱大陆性季风气候,昼夜温差悬殊,风沙频

繁,干旱少雨,蒸发强烈。年平均降水量362 mm,年蒸发量为2 297.4~2 838.7 mm;年平均气温7.3℃,极端最高温度38.9℃,最低温度-30.7℃;大风为矿区常见自然灾害,年平均风速3.2 m/s,最大风速24 m/s,年大风日数13~15 d,最长达37 d,大于5 m/s的起沙风70 d。研究区属黄土高原中东部草原区暖温型草原—灌丛化草原区^[13]。矿区西北部的耕作土壤以风沙土、粗骨土为主,沼泽土、草甸土和潮土次之;矿区东南部的耕作土壤主要以黄绵土、绵沙土为主,红土和淤土次之。区内土壤均较贫瘠,极易沙化,水蚀、风蚀严重,土壤有机质含量低,缺氮少磷。沟谷两岸的山坡上基岩直接裸露,基本没有土壤发育,少有的土壤机械组成粗,物理性黏粒少,砂粒含量多,土壤疏松,抗蚀力差,易漏水漏肥,易遭受流水侵蚀和风蚀^[14]。

神府东胜煤田煤层上覆地层结构松散,同时胶结程度也不是很高,所形成的采空区范围很大,再加上该区地形支离破碎,暴雨时候较多。在这种条件下,大规模的煤层采掘,就会导致地面塌陷。近些年来,随着煤矿企业的开采力度加大,山体崩塌、地表塌陷、地裂缝等灾害日益增多。神木县的统计资料显示,全县煤炭开采形成的采空面积达99.12 km²,其中已塌陷面积达44 km²,部分地区地表下沉0.8~2 m,房屋损坏,道路变形。塌陷造成农田地表出现不同程度的裂缝,破坏了原有的土壤环境,进而影响到农田的理化性质,尤其是土壤水分,致使农作物不同程度的减产,甚至大部分农田无法耕种^[15]。

2 研究材料与方法

2.1 研究材料

以神府东胜煤田沉陷区的樟树、沙棘、山杏三种人工林植被为研究对象,栽植时的整地方式为穴状整地,树坑规格为60 cm×60 cm,回填表土,栽植后同时灌水,均进行常规田间管护。沉陷区原始地貌为硬梁地和覆沙硬梁地,梁地两侧为活鸡兔沟的两条三级支流,最高点海拔高度151 m,分别向四周倾斜,西倾坡度小于10°,东倾坡度约15°,北倾坡度约30°,南倾坡度约20°,坡顶地势相对平坦。坡东为覆盖有风成沙的硬梁地。因此,樟子松立地条件选择梁地阳坡、梁地阴坡、梁地坡顶、覆沙地,由于沙棘与山杏没有在覆沙地进行栽植,所以沙棘与山杏的立地条件选择梁地阳坡、梁地阴坡、梁地坡顶。

2.2 生长指标的测定

于2011年9月对神府东胜煤田沉陷区的樟子松、沙棘、山杏3个树种的生长状况进行野外调查,各

树种树龄均为 5 a,为了反映植物地上部分纵向、横向生长和生长势,对试验地 3 个树种的株高、冠幅、地径、新生枝条长度 4 个生长指标进行测定。调查方法采用每木检尺,用卷尺测量植物的株高、冠幅、新枝长,以精度为 0.001 cm 的游标卡尺贴地面测量植株的地径,其中冠幅以垂直法重复 2 次。

2.3 土壤含水量的测定

在试验地樟子松、山杏、沙棘 3 个树种林下的阳坡、阴坡、坡顶及覆沙地 4 个立地条件下分别挖取土壤剖面进行采样,分 0—10,10—20,20—40 cm 3 层,按照从下往上的顺序进行采样,然后用铁铲和环刀取土,将土样装入密封袋,带回实验室。采用烘箱烘干法,先称出铝盒重 G_1 ,将密封袋中的土壤样品装入铝盒中并做好标记,称得铝盒与土重 G_2 ,将装土铝盒放入烘箱在 105℃ 下烘 8 h 至恒重,冷却后称得铝盒与土重 G_3 。土壤含水量 W 的计算公式为: $W=(G_2-G_3)/(G_3-G_1) \times 100\%$ 。统计分析采用 Excel 2003 和 SAS 9.0 软件进行。

3 结果与分析

3.1 不同立地条件各树种生长状况比较

不同立地条件下樟子松的树高、地径、冠幅等生长指标变化趋势基本一致,均表现为:梁地阴坡>覆沙地>梁地坡顶>梁地阳坡(表 1)。梁地阴坡树高、地径、冠幅、新枝长分别是梁地阳坡的 1.2 倍、1.3 倍、1.3 倍、1.2 倍,分别是梁地坡顶的 1.1 倍、1.1 倍、1.2 倍、1.1 倍。梁地阴坡的最高树高可达 240 cm,是梁地阳坡的 2.2 倍,且梁地阴坡的最粗地径、最大冠幅、最长新枝长也分别达到了梁地阳坡的 3.2 倍、1.4 倍、2.3 倍,通过对各生长指标在不同立地条

件下的差异显著性分析,发现不同立地条件下树高差异显著($P<0.05$),地径达到显著水平($P<0.05$);方差分析表明,不同立地条件下冠幅与新枝长均达到了极显著水平($P<0.01$)。

在不同立地条件下,沙棘各生长指标表现出一致的规律,各生长指标变化趋势均为:梁地阴坡>梁地坡顶>梁地阳坡(表 1)。梁地阴坡的树高是梁地阳坡的 1.3 倍,比梁地阳坡提高了 25.6%,梁地阴坡的地径是梁地阳坡的 1.1 倍,梁地阴坡的冠幅是梁地阳坡的 1.2 倍,比梁地阳坡提高了 23.9%,梁地阴坡的新枝长是梁地阳坡的 1.2 倍,比梁地阳坡提高了 21.8%。最高树高、最粗地径、最大冠幅均出现在梁地阴坡,梁地阴坡的最高树高比梁地阳坡提高了 24.1%,最大冠幅比梁地阳坡提高了 22.1%。梁地阴坡的树高是梁地坡顶的 1.3 倍,地径是梁地坡顶的 1.1 倍,冠幅与新枝长分别是后者的 1.2 倍与 1.1 倍。方差分析表明,沙棘树高、地径、冠幅、新枝长在不同的立地条件下差异性极显著($P<0.01$)。沙棘阴坡生长好于阳坡。

山杏不同立地条件下各生长指标的变化规律一致(表 1),均表现为:梁地阴坡>梁地坡顶>梁地阳坡。梁地阴坡的树高是梁地阳坡的 2.0 倍,地径是梁地阳坡的 1.8 倍,冠幅是梁地阳坡的 2.0 倍,新枝长是梁地阳坡的 1.3 倍。最高树高、最粗地径、最大冠幅、最长新枝长均是在梁地阴坡,其中梁地阴坡最高树高是梁地阳坡的 5.3 倍,最粗地径是梁地阳坡的 1.1 倍,最大冠幅是梁地阳坡的 1.5 倍,最长新枝长是梁地阳坡的 1.2 倍。可见,梁地阴坡的生长状况最好,梁地阳坡的生长状况最差,经方差分析,不同立地条件山杏生长状况差异不明显。

表 1 不同立地条件下三种人工林的生长状况

植物种	立地条件	树高/ cm	最高树高/ cm	地径/ mm	最粗地径/ mm	冠幅/ cm	最大冠幅/ cm	新枝长/ cm	最长新 枝/cm
樟 子 松	梁地阴坡	85	240	20.73	87.93	55	90	8.9	37.0
	梁地阳坡	70	110	16.05	27.63	42	64	7.2	16.0
	梁地坡顶	78	111	18.30	83.81	45	77	7.9	21.7
	覆沙地	77	238	20.00	82.12	47	82	8.8	35.7
	平均值	77.5	174.8	18.7	70.4	47.3	78.3	8.2	27.6
沙 棘	梁地阴坡	98	170	15.71	37.81	83	182	14.5	25.3
	梁地阳坡	78	137	14.87	34.69	67	149	11.9	19.3
	梁地坡顶	88	168	14.07	37.58	69	180	13.1	25.3
	平均值	88	162.4	15.9	45.1	66.6	147.3	12.0	24.4
山 杏	梁地阴坡	86	618	12.44	24.65	54	125	16.6	39.0
	梁地阳坡	44	117	7.00	22.06	27	81	12.4	31.7
	梁地坡顶	84	140	11.71	22.88	47	110	16.1	33.3
	平均值	71.3	291.7	10.4	23.2	42.7	105.3	15.0	34.7

3.2 三种人工林树种生长指标相关性

3.2.1 樟子松各生长指标相关性 通过相关性分析(表 2),樟子松各生长指标之间都是正相关,其中地径与新枝长的相关性最好,相关系数最大,高达 0.990 9,

其次是树高与冠幅,而树高与地径、树高与新枝长、地径与冠幅、冠幅与新枝长的相关性相差不大,相关系数均为 0.8。樟子松最高树高、最粗地径、最大冠幅、最长新枝长之间的相关性也比较好。

表 2 樟子松各生长指标相关性

生长指标	树高	最高树高	地径	最粗地径	冠幅	最大冠幅	新枝长	最长新枝长
树高	1.0000							
最高树高	0.6672	1.0000						
地径	0.8945	0.8896	1.0000					
最粗地径	0.8605	0.5969	0.8901	1.0000				
冠幅	0.9426	0.7864	0.8712	0.6861	1.0000			
最大冠幅	0.9588	0.8266	0.9847	0.9006	0.9222	1.0000		
新枝长	0.8307	0.9358	0.9909	0.8414	0.8350	0.9541	1.0000	
最长新枝长	0.7874	0.9749	0.9682	0.7598	0.8373	0.9231	0.9906	1.0000

3.2.2 沙棘各生长指标相关性 通过表 3 可知,沙棘各生长指标的相关性均较好,沙棘树高与新枝长的相关性最好,相关系数为 0.999,其次为沙棘冠幅与新枝长,再次为沙棘树高与冠幅。总体来看,沙棘各生长指标为正相关关系。沙棘的最高树高、最粗地径、最大冠幅、最长新枝长之间的相关性非常好,相关系数均达到了 0.99。

3.2.3 山杏各生长指标相关性 从表 4 中可以看出,山杏的各生长指标相关性较强,均在 0.9 以上,其中树高与地径的相关性最高,相关系数为 0.997 8,地径与冠幅的相关系数最小为 0.930,山杏的最高树高、最粗地径、最大冠幅、最长新枝长之间的相关性较好,其中最粗地径与最长新枝长的相关性最好,相关系数可达 0.994 5,其次为最高树高与最长新枝长。

表 3 沙棘各生长指标相关性

生长指标	树高	最高树高	地径	最粗地径	冠幅	最大冠幅	新枝长	最长新枝长
树高	1.0000							
最高树高	0.8918	1.0000						
地径	0.5121	0.0681	1.0000					
最粗地径	0.8972	0.9999	0.0802	1.0000				
冠幅	0.9177	0.6386	0.8113	0.6478	1.0000			
最大冠幅	0.8918	0.9876	0.0681	0.9999	0.6386	1.0000		
新枝长	0.9990	0.8708	0.5497	0.8767	0.9344	0.8708	1.0000	
最长新枝长	0.8660	0.9985	0.0141	0.9978	0.5960	0.9985	0.8430	1.0000

表 4 山杏各生长指标相关性

生长指标	树高	最高树高	地径	最粗地径	冠幅	最大冠幅	新枝长	最长新枝长
树高	1.0000							
最高树高	0.5700	1.0000						
地径	0.9862	0.4262	1.0000					
最粗地径	0.7712	0.9626	0.6553	1.0000				
冠幅	0.9780	0.7289	0.9300	0.8871	1.0000			
最大冠幅	0.9554	0.7872	0.8934	0.9248	0.9960	1.0000		
新枝长	0.9978	0.6237	0.9730	0.8121	0.9898	0.9730	1.0000	
最长新枝长	0.7003	0.9857	0.5726	0.9945	0.8339	0.8799	0.7465	1.0000

总体来看,3 个树种各项生长指标中无论是树高、地径、冠幅,还是新枝长,阴坡均好于阳坡,其原因是坡向对于土壤含水量有较大影响,阴坡土壤蒸发量小,土壤含水量较高,阳坡蒸发强烈,小气候条件也比较差。因此,各树种在阴坡比较容易生长,各项生长指标也比阳坡好。

3.3 不同立地条件土壤含水量比较

由图 1 可见,不同立地条件下各树种土壤含水量变化趋势基本一致,均表现为随着土层深度的增加,土壤含水量呈增加趋势;同一土层深度土壤含水量均为梁地阴坡大于其它立地条件。表层 0—10 cm 处,除樟子松外,其他两种植被均是阴坡含水量大于坡顶与阳坡。在 10—20 cm 处,不同立地条件下樟子松林

下土壤含水量变化规律为:梁地阴坡>梁地坡顶>覆沙地>梁地阳坡,梁地阴坡的土壤含水量是梁地阳坡的 1.6 倍,是梁地坡顶的 1.3 倍,梁地阳坡与覆沙地的土壤含水量相差不大,山杏与沙棘土壤含水量变化

规律为:阴坡>坡顶>阳坡,山杏阴坡土壤含水量是阳坡的 1.37 倍,沙棘阴坡土壤含水量是阳坡的 1.50 倍。20—40 cm 与 10—20 cm 外 3 个树种的土壤含水量变化规律相同。

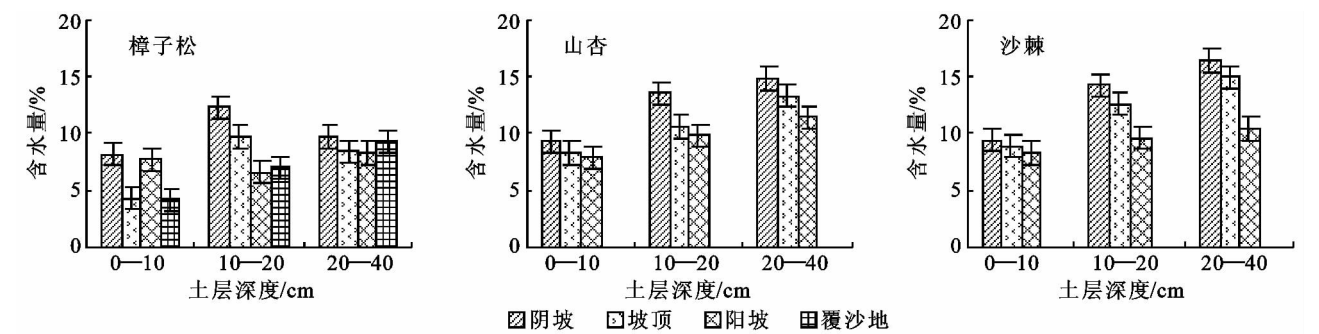


图 1 不同立地条件三种人工林下土壤含水量随土层深度的变化

3.4 三种人工林树种各生长指标与土壤含水量的相关性

3.4.1 三种人工林树高与土壤含水量的相关性 由图 2 可以看出,通过对樟子松、沙棘、山杏树高与土壤含水量的相关性分析,各树种树高与土壤含水量均有较好的相关性,其中沙棘树高与土壤含水量的相关性最好,相关系数为 0.957 6,其次是樟子松与山杏,相关系数均大于 0.8,总体而言,三种人工林的树高与

土壤水分有较大的相关性。
3.4.2 三种人工林地径与土壤含水量的相关性 由图 3 可以看出,通过对樟子松、沙棘、山杏地径与土壤含水量的相关性分析,各树种地径与土壤含水量均有较好的相关性,其中山杏地径与土壤含水量的相关性最好,相关系数为 0.885 3,其次是樟子松与沙棘,相关系数均大于 0.6,总体而言,三种人工林的地径生长与土壤水分有较大的相关性。

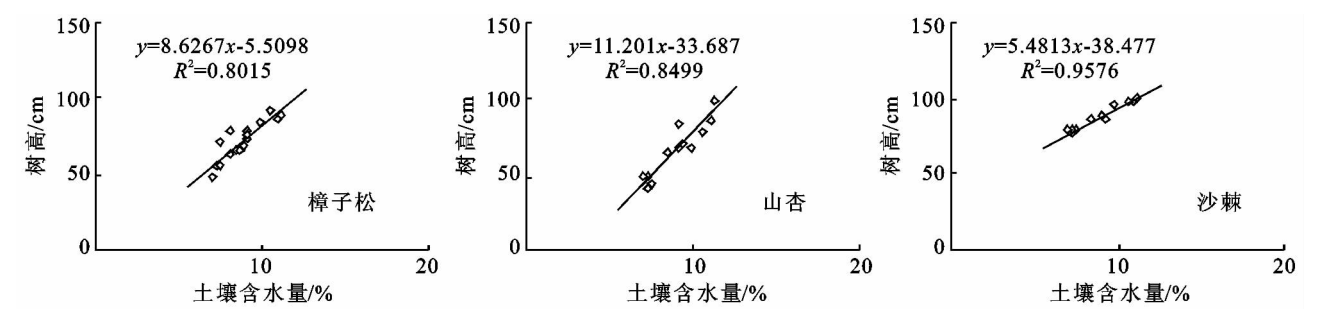


图 2 三种人工林树高与土壤含水量的相关性

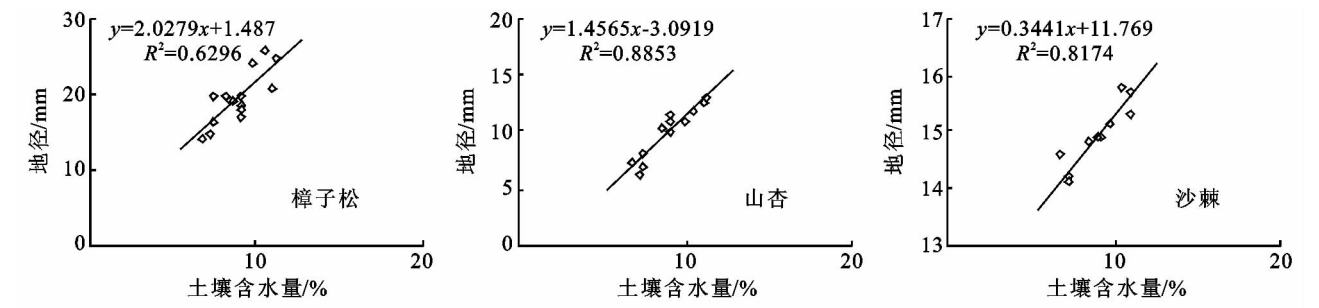


图 3 三种人工林地径与土壤含水量的相关性

3.4.3 三种人工林冠幅与土壤含水量的相关性 三种人工林冠幅与土壤含水量均有较好的相关性(图 4),其中樟子松与沙棘冠幅与土壤含水量的相关性最好,相关系数均在 0.8 以上,山杏与土壤含水量的相关性也较大,相关系数大于 0.7,总体而言,三种人工林的冠幅生长与土壤水分也有较大的相关性。

3.4.4 三种人工林新枝长与土壤含水量的相关性 由图 5 可见,三种人工林新生长与土壤含水量有着密切的关系,无论是樟子松、山杏还是沙棘,新枝生长与土壤含水量均呈非常好的线性相关关系,相关系数均在 0.6 以上,沙棘新枝生长与土壤含水量的相关性最好,相关系数大于 0.8。三种人工林树种新枝生长与土壤水分条件的关系非常密切。

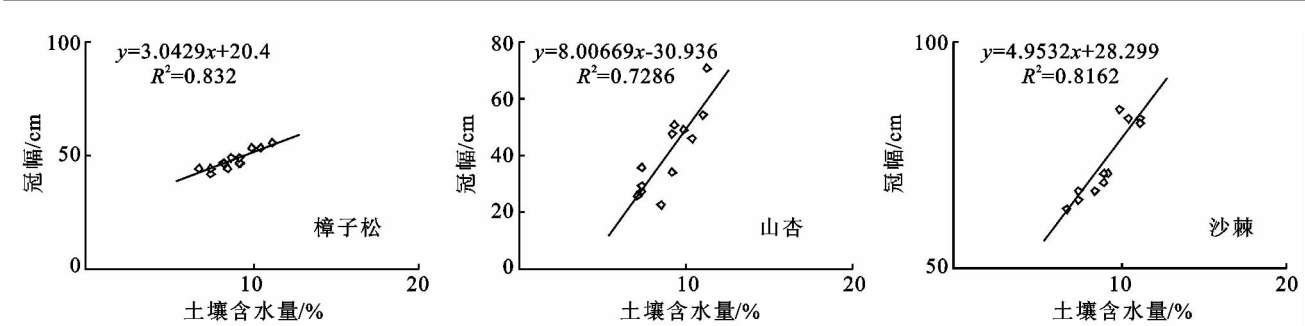


图 4 三种人工林冠幅与土壤含水量的相关性

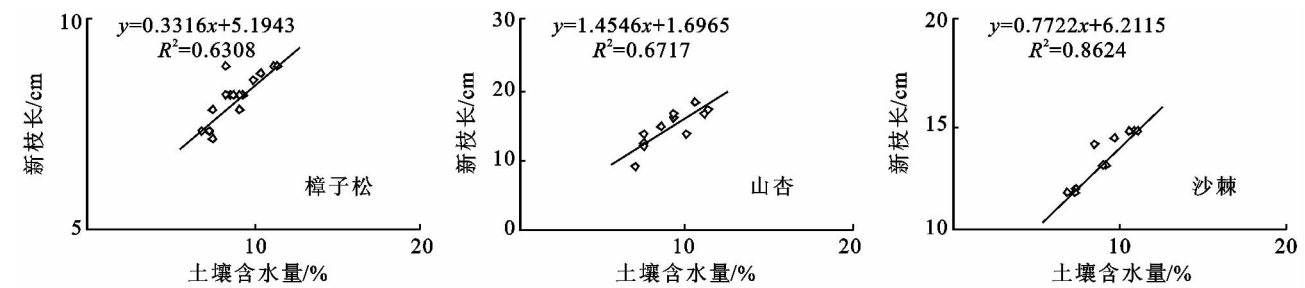


图 5 三种人工林新枝长与土壤含水量的相关性

4 结论

(1) 不同立地条件下,各树种的生长状况呈现出一定的规律性,樟子松的各项生长指标均表现为:梁地阴坡>覆沙地>梁地坡顶>梁地阳坡,方差分析表明,其差异显著($P<0.05$)。沙棘与山杏的生长状况表现为:梁地阴坡>梁地坡顶>梁地阳坡。经方差分析,沙棘生长状况差异性极显著($P<0.01$),山杏生长状况差异不明显。

(2) 不同立地条件下 3 个树种各项生长指标之间均有比较好的相关性,樟子松树高、地径、冠幅、新枝长四者之间的相关系数大于 0.8,沙棘相关系数大于 0.5,山杏相关系数大于 0.9。

(3) 樟子松,沙棘,山杏的生长势与土壤含水量均有比较好的相关性,相关系数均在 0.6 以上,说明土壤含水量与采煤沉陷区植被生长有着密切关系。

(4) 综合分析认为,采煤沉陷区植被恢复与不同立地条件土壤水分状况有密切关系,从土壤水分条件这一角度出发,建议矿区植被恢复立地条件选择时优先考虑阴坡;从人工林生长状况出发,建议阴坡人工林树种以沙棘与樟子松为主,建议阳坡人工林树种以山杏为主。

参考文献:

[1] 范英宏,陆兆华,程建龙,等.中国煤矿区主要生态环境问题及生态重建技术[J].生态学报,2003,10(10):2145-2146.

[2] 迟琳琳.神东采煤塌陷区造林技术研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.

[3] 宋书巧,周永章.矿业废弃地及其生态恢复与重建[J].矿产保护与利用,2001(5):43-49.

[4] 王益民.采煤沉陷区生态环境改造建设方法研究[J].中国矿业,2008,17(4):52-55.

[5] 谢元贵,车家骧,孙文博,等.煤矿矿区不同采煤塌陷年限土壤物理性质对比研究[J].水土保持研究,2012,19(4):26-29.

[6] Burton C M, Burton P J, Hebda R, et al. Determining the optimal sowing density for a mixture of native plants used to revegetate degraded ecosystems[J]. Restoration Ecology,2006,14(3):379-390.

[7] 吴钦孝,杨文治,黄土高原植被建设与可持续发展[M].北京:科学出版社,1998.

[8] 王答相.神府东胜矿区煤田开发新增水土流失试验研究[D].西安:西安理工大学,2004.

[9] 康世勇,郝峙.神府东胜煤田自然环境特点与矿区生态环境保护[J].煤矿环境保护,1999,13(4):15-16.

[10] 侯庆春,汪有科,杨光.神府—东胜煤田开发区建设对植被影响的调查[J].水土保持研究,1994,1(4):127-137.

[11] 张平仓,王文龙,唐克丽,等.神府—东胜矿区采煤塌陷区及其对环境影响初探[J].水土保持研究,1994,1(4):35-44.

[12] 甘兵勇.采煤塌陷对生态环境的影响及对策[J].能源环境保护,2003,17(3):46-47.

[13] 中国科学院黄土高原考察队.黄土高原地区植物资源及合理利用[M].北京:科学出版社,1991.

[14] 孙书团.神东公司采煤沉陷区文冠果育苗造林技术研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.

[15] 任余艳.神东矿区采煤塌陷对旱作农田生产力影响的试验研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.