不同植被类型矿区复垦土壤水分变化特征

孙 建,刘 苗,李立军,刘景辉
(内蒙古农业大学,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要:采用烘干法测定黑岱沟露天矿复垦区不同植被5个层次土壤含水量,计算土壤水分总储量。运用SAS9.0进行ANOVA和Cluster分析。结果表明:在2006年,各种混交种植土壤含水量都较高,15 a的沙棘+杨柳,10 a山杏+沙棘,2 a紫穗槐+丁香+油松,分别比裸耕地提高了48.7%、45.6%和32.3%。单植相对混交种植土壤储水量有所降低,2 a红花槐,2 a欧李和5 a苜蓿的土壤储水量分别比裸耕地降低2.6%、2.8%和9.9%。运用最短距离法对土壤储水量进行聚类分析,结论为复合模式种植沙棘、苜蓿和山杏适宜于矿区复垦。

关键词:植被类型;矿区;复垦;土壤含水量
中图分类号:S341;S157.42 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2010)02-0201-07

植被恢复作为矿区生态重建必要手段之一,已成为国内外矿区复垦研究的重要内容。其目的是筛选适宜本区域生长的植物,进行大面积种植,通过植物根系及其强大的微生物工厂和季节性枯落物,增加土壤的蓄水量、改善土壤呼吸状况、提高土壤肥力,减轻水土流失、土地沙化、贫瘠化和盐碱化等矿区日益严重的生态环境问题。目前国内外的研究重点是生态恢复和重建,包括植被恢复技术[1]、土壤理化及生物学性质[2]、重金属污染[3]及宏观上的规划和评价[4]等多个方面。

土壤水分参与水分大循环,是影响陆地水文变化重要因素,受气候(降水量、蒸发量、气温等)、植物(冠层截留、植物蒸腾等)和土壤本质(质地、孔隙度、粒径等)等多种因素的综合影响,其剖面动态变化影响水分的运动状况和植物对土壤水分的利用,其季节动态变化影响土壤—植物两者对水分供需关系。国内矿区复垦土壤水分的研究报道很少,仅见成果有:王辉[5]研究了不同回填矿区复垦地水分空间变异,刘彩云[6]研究了采煤塌陷对土壤水分损失影响及其机理,付微[7]对神府东胜煤矿复垦土壤入渗率做了研究。黑岱沟矿区复垦的研究报道较多集中在宏观上的恢复理论[8~10],其他方面如马建军[11]对矿区复垦土地野生植物入侵规律做了研究,张树礼[12]对排土场果园景观生态建设做了研究,对于不同植被类型对土壤含水量时空变化影响研究却鲜有报道。

内蒙古准格尔旗黑岱沟露天矿区,长期采煤使得废弃土石占用了大量可利用土地,严重破坏了原有生态系统的平衡,植被受损,动物迁移,可耕土地面积下降,农作物减产,因此土地复垦成为恢复生态和经济效益的必要手段之一。针对本地域特殊的地理气候条件,试验采取复合种植模式,选择耐寒、耐旱、耐瘠薄的植物进行种植。根据露天矿复垦区不同植被类型土壤含水量的测定数据,分析其时空动态变化规律,以便掌握各种人工植被类型复垦土壤水分特点,为矿区土地植被恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区内蒙古准格尔旗黑岱沟露天煤矿地处晋、陕、蒙接壤黄土高原地区,地表沟壑纵横,水土流失严重,生态环境恶劣。

气候属于中温带半干旱大陆性气候。寒暑变化剧烈,昼夜温差较大,年平均气温为5.3℃~7.6℃,极端最高温度39.4℃,极端最低温度-34℃,日最大温差20℃。年总降水量为251.1~520.2mm,平均为386.5 mm。年蒸发量为1 617.7~2 080.4 mm,平均为1 907.3 mm(见图1)。全年主导风向为西北风,年均风速3.6 m/s,最大风速22 m/s。总的气候特点是:日照充足,有效积温高,水热同期,有利于植物生长;但是夏秋季降水多以暴雨形式出现,使水土流失加重,春季干旱少雨,多大风。

土壤主要是黄绵土和风沙土,土壤肥力低,土层深厚,结构不良,透水性、透气性差。

收稿日期:2009-10-15
基金项目:神华集团黑岱沟露天矿区植被恢复与生态重建
作者简介:孙 建(1980—),男,内蒙古锡林郭勒盟人,在读硕士,从事生态环境研究。E-mail:sunyall@sohu.com。
通讯作者:李立军,内蒙古赤峰人,博士,硕导,主要从事生态环境研究。

万方数据

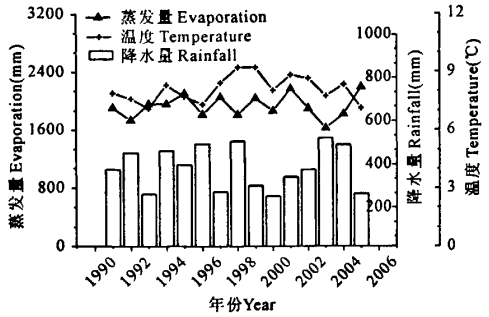


图1 1991~2005年黑岱沟降水量及蒸发量年际动态变化

Fig.1 Change of evaporation, temperature and rain fall in the mining area in 1991~2005

植被属暖温型草原带植物,稀疏低矮,植物种类较为贫乏,主要为铁杆蒿(*Artemisiagmelinii*),茭蒿(*Artemisiagiraldii*),长芒草(*Stipabungeana*)和白羊草(*Bothriochloaischaemum*)等草本植物群落。

1.2 研究方法

由于基建工程的大面积开挖,露天矿土地受到严重破坏,矿区又处在生态非常脆弱的黄土丘陵区,为使生态环境不遭受严重的破坏,在生产的同时,1992年开始进行土地复垦,露天矿复垦区包括东排土场、北排土场、捣蒜沟。根据复垦生态系统的基底稳定性[13],分为复垦初期(2 a),中期(5 a),及基本稳定期(10 a、15 a)。样地及人工植被情况见表1。

表1 复垦地种植情况

Table 1 Description of vegetations

地点 Site	高度(m) Altitude	复垦年限(a) Annual	植被类型 Type of vegetations	特性 Characteristic
东排土场 East refuse dump	1279	2	红花槐 *Robinia hispida* L.	耐盐碱 Saline tolerance
	1280	2	欧李 *Prunus humilis Bunge*	抗旱 Drought resistance
	1281	2	欧李+油松 *Prunus humilis Bunge* + *Pinus tabulaeformis Carr.*	耐瘠薄 Barren tolerance
	1282	2	紫穗槐[1]+丁香[2]+油松 *Amorpha fruticosa* L. + *Syringa oblata* + *Pinus tabulaeformis* Carr.	抗寒[1] Cold resistance 抗旱[2] Drought resistance
北排土场 North refuse dump	1240	5	耕地 Arable land	—
	1248	5	苜蓿 *Medicago sativa* Linn.	抗旱 Drought resistance
	1243	5	山杏 *Prunus ansu* Kom.	耐瘠薄 Barren tolerance
	1245	5	玉米 *Zea mays* L.	喜光 Heliophile
	1217	10	苜蓿 *Medicago sativa* Linn.	—
	1213	10	沙棘 *Hippophae rhamnoides* Linn.	抗旱 Drought resistance
	1215	10	山杏+沙棘 *Prunus ansu* Kom. + *Hippophae rhamnoides* Linn.	—
	1218	10	禾本科草地 Graminacea lawn	耐瘠薄 Barren tolerance
捣蒜沟 Daosuan ditch	1171	15	沙棘+杨柳 *Hippophae rhamnoides* Linn. + Poplar and willow	喜光 Heliophile
	1184	15	天然草地 Natural pasture	耐瘠薄 Barren tolerance
	1191	15	油松 *Pinus tabulaeformis* Carr.	—
	1193	15	油松+沙棘 *Pinus tabulaeformis* Carr. + *Hippophae rhamnoides* Linn.	—

注:重复出现的植物不再做情况介绍,1代表紫穗槐,2代表丁香。

Note: No presentation will be made for the repetition of the plants, and 1 represents Amorpha fruticosa and 2 represents clove.

2006年对不同复垦年限各植被类型土壤含水量进行了测定,采用铝盒烘干法,分0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~50 cm、50~70cm共5个层次,每个处理2次重复。

试验结果均以每次测得的3次数据平均值与标准差来表示。实验数据分析采用SAS9.0软件包。

本文所用气象数据(1991~2005年)由内蒙古气象局提供。土壤储水量采用以下计算公式[14]:

$$W_i = w_i \cdot r_i \cdot h_i, \qquad W = \sum W_i$$

式中,W为土壤水分总储量(mm);W_i为每层土壤水分储量(mm);w_i为土壤重量含水量(%);r_i为每层土壤的容重(g/cm^3);h_i为分层厚度。计算0~70 cm土层土壤储水量,不同层度采取同一容重,分层厚度为10、10、10、20、20 cm。

2 结果与分析

2.1 1991~2005年黑岱沟降水量及蒸发量年际动态变化

根据1991~2005年内蒙古气象局气象观测记

万方数据

录数据表所绘制出的年际降雨量和蒸发量动态变化(图 1)可以看出,最大蒸发量出现在 2005 年,为 2 080.4 mm。最小蒸发量出现在 2003 年,为 1 617.7 mm。年总降水量极值分别为 520.2 mm 和 251.1 mm,出现在 2003 年和 2000 年。

2.2　2006 年黑岱沟降水量及气温年度动态变化

根据 2006 年年内蒙古气象局气象观测记录数据表所绘制出的年度降雨量和平均气温动态变化(图 2)可以看出,该区当年平均气温为 10.3℃,最大气温差为 32.9℃。2006 年为干旱年份,降水量较低,温度相对其他年份较平和,春寒、春旱严重,对种子发育、发芽不利,而 7 月份和 8 月份降水较多,温度较高,水热状况良好,有利于植物的生长和发育。

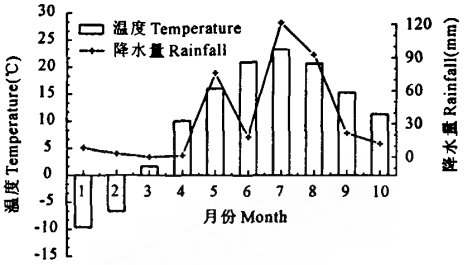


图 2　2006 年黑岱沟降水量及气温年度动态变化

Fig.2　Change of temperature and rainfall in the mining area in 2006

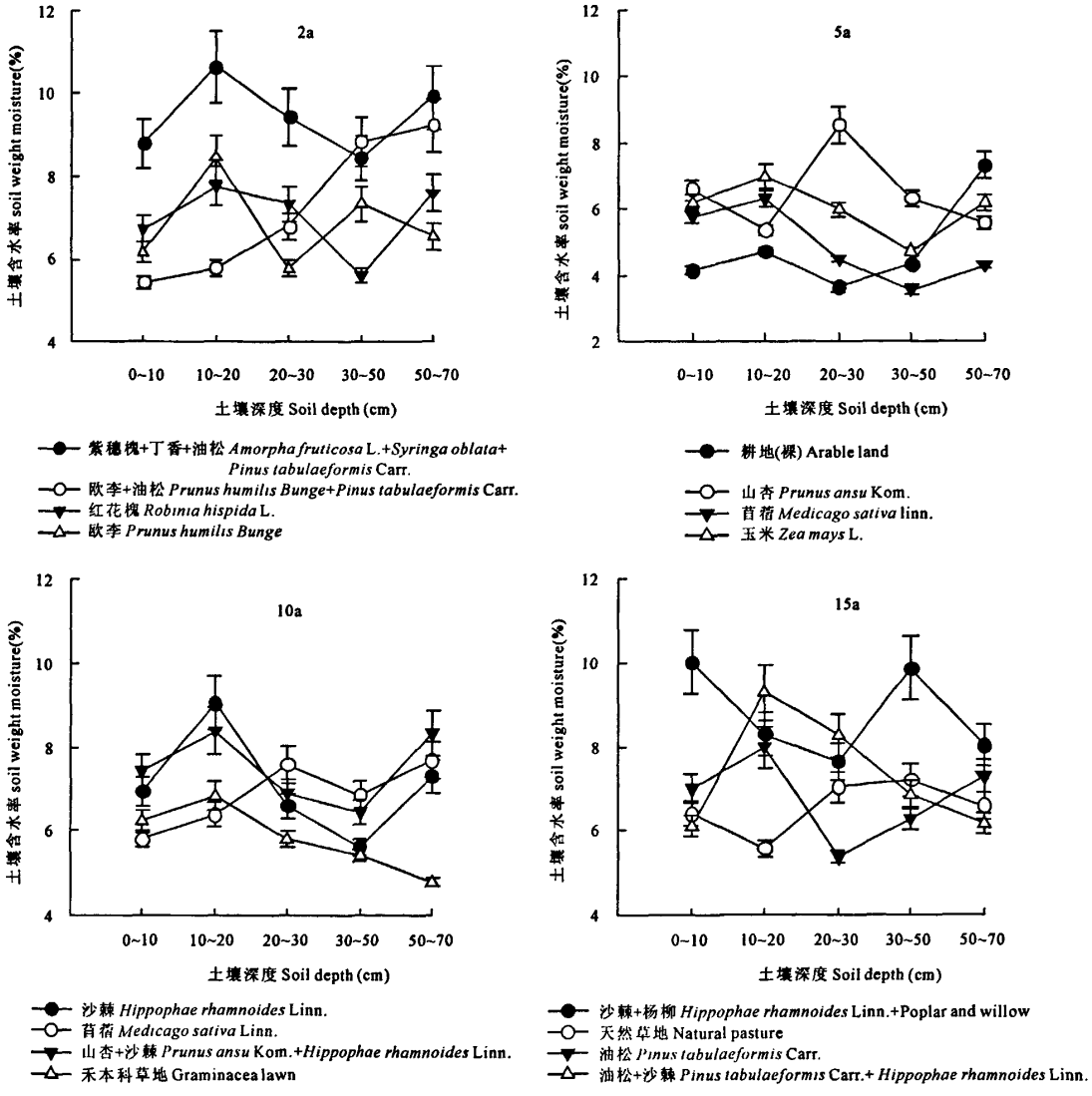


图 3　不同年限各人工植被土壤含水量剖面动态变化

Fig.3　Effects of different vegetations on soil weight moisture in various soil depth

万方数据

2.3 不同年限各人工植被对土壤含水量的影响

2.3.1 不同年限各人工植被土壤含水量剖面动态变化 选取降雨量和蒸发量比较适中的7月份进行测定和分析,图3为不同年限各种人工植被土壤含水量剖面动态变化趋势图。2 a人工种植不同植被类型,紫穗槐+丁香+油松混交种植、单植欧李和单植红花槐在0~20 cm土层土壤含水量逐渐增加,之后随着土层的加深情况有所不同。种植红花槐土壤含水量逐渐下降,在30~50 cm土层含水量达最低,在50~70 cm上扬并达到最高值;紫穗槐+丁香+油松混交种植以及单植欧李土壤含水量都呈减少-增加-减少趋势,最高值均出现在10~20 cm,最低值分别出现在30~50 cm和20~30 cm;欧李和油松混交种植土壤含水量在0~70 cm随着土层深度的增加而呈递增趋势,50~70 cm时达最大值。

5 a裸耕地、单植玉米和单植苜蓿3个处理的土壤含水量随土壤深度变化趋势基本一致,均为增加-减少-增加趋势,单植玉米和单植苜蓿土壤含水量最高值均出现在10~20 cm深度,最低值均出现在30~50 cm深度,而裸耕地土壤含水量最高值出现在50~70 cm深度,在20~30 cm土壤含水量最低。种植山杏的土壤剖面含水量呈"W"形状变化趋势。

10 a沙棘、山杏+沙棘及苜蓿整体变化趋势为增加-减少-增加,单植沙棘、山杏+沙棘混交的土壤含水量最高值均出现在10~20 cm土层,最低值均出现在30~50 cm土层;苜蓿在表土层最低,在50~70 cm土壤含水量达最高;而以禾本科为主的草地土壤含水量在0~20 cm之间逐渐上升,之后随土层深度的增加逐渐降低,至70 cm深度土壤含水量达到最低值。

15 a种植油松土壤含水量峰值出现在10~20 cm土层,最低值出现在20~30 cm土层;沙棘+杨柳土壤含水量最大值在0~10 cm,最小值出现在20~30 cm土层,天然草地土壤含水量最大值和最小值分别出现在30~50 cm和10~20 cm土层;油松+沙棘混交植被土壤含水量呈现单峰曲线,峰值出现在10~20 cm土层。

2.3.2 不同年限各人工植被土壤含水量时间动态变化 选择20~30 cm土壤深度,分析不同年限各种人工植被在2006年6月25日~10月27日期间土壤含水量随时间动态变化。由图4可知,所有种植年限不同植被土壤含水量总体变化与2006年测得的降水量变化趋势相似,土壤较高的含水量主要集中在9月份。2 a植被紫穗槐+丁香+油松为增加-减少-增加趋势,红花槐和欧李随时间推移均是减少-增加-减少,且3个处理的最高值均出现在9月1日;而种植欧李+油松的土壤含水量从6月22日开始一直增长,9月30日为转折点,此后开始减少,显著特点是土壤含水量的最高值出现时间相对其他3处理,不是9月1日,而是9月30日。

5 a耕地、单植玉米2个处理的土壤含水量变化趋势基本一致,均为增减少一增加一减少;苜蓿区土壤含水量在9月31日之前持续缓慢增加,之后缓慢减少;而山杏区土壤含水量变化趋势与苜蓿区相似。

10 a沙棘、山杏+沙棘、禾本科草地及苜蓿区土壤含水量随时间整体变化趋势为先上升后下降,4种植被的土壤含水量最大值均出现在9月1日。

15 a种植油松、混交植被油松+沙棘和沙棘+杨柳的土壤含水量变化趋势极其相似均为先上升后下降,峰值出现在9月1日;沙棘+杨柳混交种植土壤含水量变化幅度较小;天然草地土壤含水量变化趋势呈"M"形状,在9月31日达到最大值。

2.3.3 不同年限各人工植被土壤储水量比较 据所测数据计算出土壤储水量,绘制图5,可知15 a沙棘+杨柳、10 a山杏+沙棘与其他植被类型差异性显著($\alpha<0.05$),10 a的苜蓿和10 a沙棘之间差异不显著,但与其他处理均显著。混交种植的土壤含水量都较高,以15 a沙棘+杨柳为最高,其次是10 a山杏+沙棘,2 a紫穗槐+丁香+油松保水能力也较强;单植相对混交种植土壤储水量有所降低,但是10 a的苜蓿和沙棘的土壤含水量较高,各年限不同植被类型以5 a苜蓿的土壤含水量为最低。

3 讨 论

3.1 不同年限各人工植被土壤含水量剖面动态变化

黑岱沟属于黄土高原地区,降水是复垦土壤水分的唯一来源,其对土壤剖面含水量动态变化起着决定性作用,同时还受植被类型的影响,包括植物生长需水量、植物的蒸腾作用、覆盖度及根系。胡梦郡[15]在研究黄土高原农、林、草地水量平衡异同时也指出,在黄土高原区土壤蒸发和植物蒸腾是土壤水分的主要输出项。无论是2、5、10 a还是15 a,在0~20 cm土层主要受降水的影响,土壤含水量整体呈现增长趋势,只有5 a的山杏和苜蓿、15 a混交种植的沙棘+杨柳和天然草地土壤含水量呈降低趋势,是由于天然草地和苜蓿植被稀疏、山杏和杨柳的成活率不高,覆盖度比较低,造成表层土壤水分蒸发量增加,从而使得土壤含水量降低。在20~70 cm深度之间,植被的水分利用率成为主导因子,根系汲

万方数据

水动力以及对地上部输送能力的强弱又决定其水分利用率高低,此外 2006 年是干旱年份,尽管在 7、8 月份降水量达到本年度最大,但仅为 120 mm 左右,而温度仍保持在 20℃以上,所以蒸腾作用加强,及植物随生长年限的延续根系壮大、枝叶变密,混交种植的融合程度都对此层次土壤含水量产生影响,因此整体上按季节水分动态变化可以划分 3 个阶段,土壤水分亏缺期(6 月 22 日 – 7 月 25 日),土壤水分补偿期(7 月 25 日 – 9 月 30 日),土壤水分稳定期(9 月 30 日 –)。

3.2　不同年限各人工植被土壤含水量时间动态变化

降水的季节性变化也影响着土壤水分的变化。在 20 ~ 30 cm 土层深度,不同年限的各种植被类型土壤含水量时间的动态变化趋势,基本与 2006 年度降水量变化(图 2)相似,由于土壤水分滞后作用的影响,土壤水分含水量动态变化趋势要延后一段时间,如降水量集中的 7 ~ 8 月份,不同年限各种植被的土壤含水量最大值反而出现在 9 月份。在 9 月份,15 a 天然草地土壤含水量反而降得很低,是由于覆盖度低,蒸腾量大于降水量对其影响,耕地虽然没有覆盖,但由于降水打击和分散使土壤颗粒填塞土壤表面孔隙而形成结皮,Verrecchia[16]认为结皮中的泥和黏土颗粒在湿润状态下膨胀后可能抑制土壤的水分入渗。阻隔土壤毛细管,减少蒸腾,因此土壤含水量没有下降;在 6 ~ 7 月份之间,由于气温上升,土壤毛管水分运动和土壤蒸发增强,深层土壤水分向上迁移,使得 20 ~ 30 cm 层次的土壤含水量开始缓慢的爬升;在 10 月份,由于 9 月份降水量迅速降低,同时植物的生育周期还在进行,根系仍在吸收水分,从而导致土壤的含水量整体开始下降。

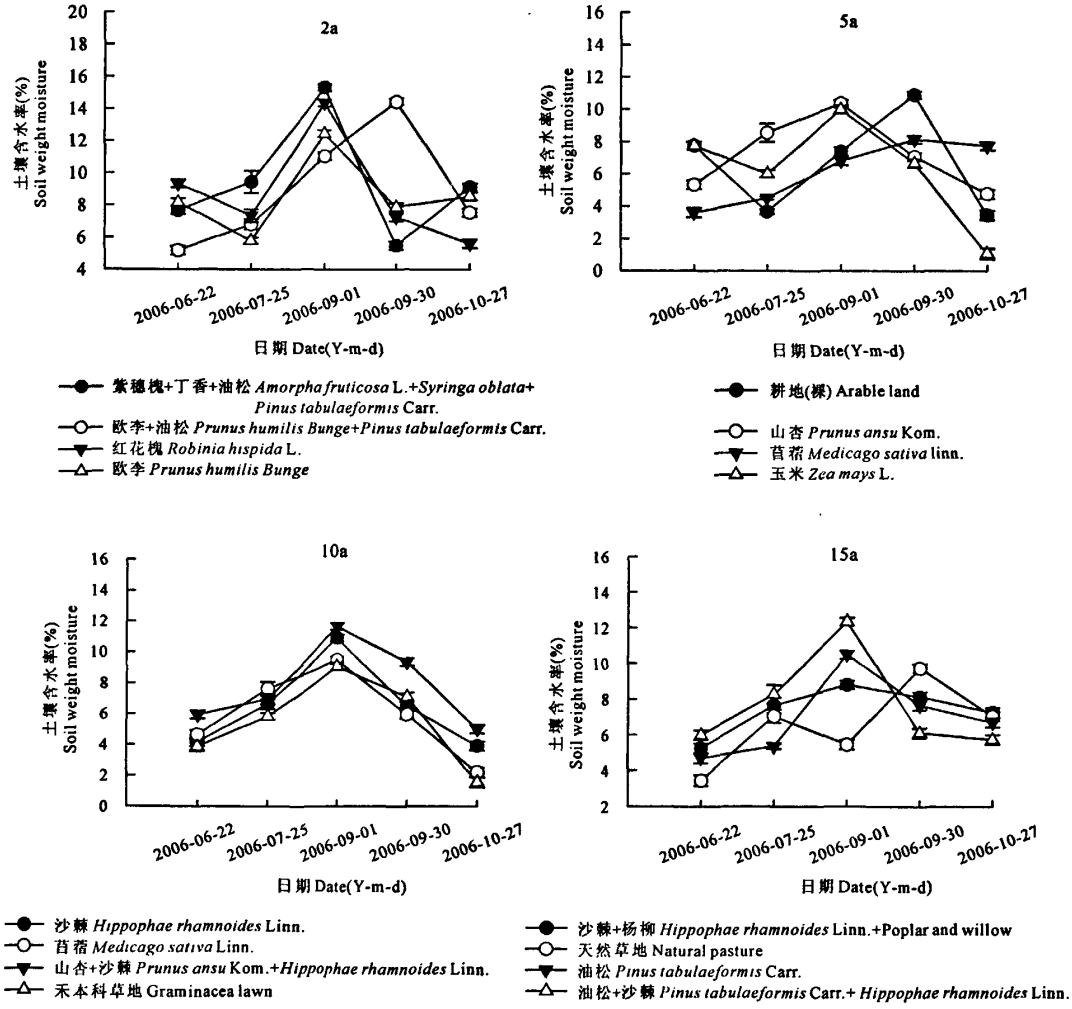
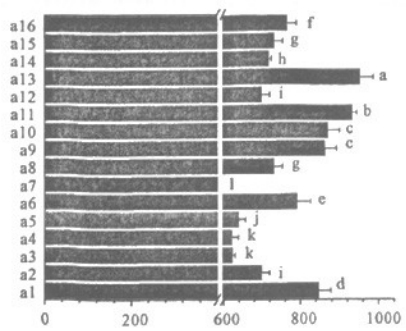


图 4　不同年限各人工植被土壤含水量时间动态变化

Fig.4　Effects f different vegetations on soil weight moisture in various seasons in soil depth 20 ~ 30 cm

万方数据



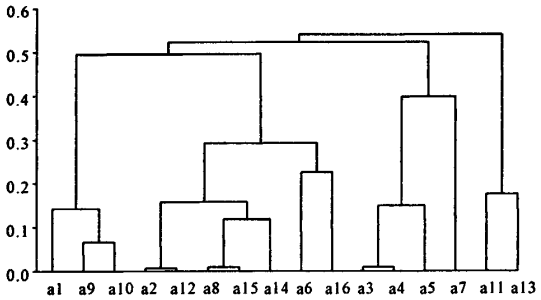
a1 – a16 分别代表:2 a 紫穗槐 + 丁香 + 油松,2 a 欧李 + 油松,2 a 红花槐,2 a 欧李,5 a 耕地(裸),5 a 山杏,5 a 苜蓿,5 a 玉米,10 a 沙棘,10 a 苜蓿,10 a 山杏 + 沙棘,10 a 禾本科草地,15 a 沙棘 + 杨柳,15 a 天然草地,15 a 油松,15 a 油松 + 沙棘,下同。

a1 – a16 represent: *Amorpha fruticosa* L. + *Syringa oblata* + *Pinus tabulaeformis* Carr.; *Prunus humilis Bunge* + *Pinus tabulaeformis* Carr.; *Robinia hispida* L.; *Prunus humilis Bunge*; Arable land; *Prunus ansu* Kom.; *Medicago sativa* Linn.; *Zea mays* L.; *Hippophae rhamnoides* Linn.; *Medicago sativa* Linn.; *Prunus ansu* Kom. + *Hippophae rhamnoides* Linn.; Graminacea lawn; *Hippophae rhamnoides* Linn. + Poplar and willow; Natural pasture; *Pinus tabulaeformis* Carr.; *Pinus tabulaeformis* Carr. + *Hippophae rhamnoides* Linn. They are the same in the following.

图5 不同年限不同植被类型对土壤储水量的影响($a<0.05$)

Fig.5 Effects of different-year vegetations on soil water storage ($a<0.05$)

3.3 不同年限各人工植被土壤储水量比较



运用最短距离法对不同年限各种植被类型土壤储水量进行聚类分析,根据树状分类图进行分类,第一类包括10 a山杏 + 沙棘和15 a沙棘 + 杨柳,第二类包括2 a红花槐、2 a欧李、5 a耕地(裸)和5 a苜蓿,其他为第三类,在第三类中2 a紫穗槐 + 丁香 + 油松、10 a沙棘和10 a苜蓿为一个小类别。结合聚类图对不同植被类型土壤储水量的显著性进行分析,认为在矿区复垦过程中,复合种植模式生态效益良好,各种植被类型中以沙棘、苜蓿和山杏的保水性能好。在今后的复垦中应该广泛种植并大力推广复合种植模式。

参考文献:

[1] 李玉臣,吉日格拉.矿区废弃地的生态恢复研究[J].生态学报,1995,15(3):339—343.

[2] 毕银丽,吴福勇,武玉坤.丛枝菌根在煤矿区生态重建中的应用[J].生态学报,2005,25(8):2068—2072.

[3] 董霁红,卞正富,王贺封,等.徐州矿区充填复垦场地作物重金属含量研究[J].水土保持学报,2007,21(5):180—182.

[4] 尹德涛,南忠仁,金成洙.矿区生态研究的现状及发展趋势[J].地理科学,2004,24(2):238—244.

[5] 王 辉,韩宝平,卞正富.充填复垦区土壤水分空间变异性研究[J].河南农业科学,2007,(7):67—70.

[6] 刘彩云,刘 军,王 健,等.采煤塌陷对土壤水分损失影响及其机理研究[J].内蒙古水利,2008,(1):68—70.

[7] 付 微,邵明安,黄明斌.神府东胜煤田复垦区土壤入渗特性的试验研究[J].水土保持学报,2008,22(3):14—17.

[8] 马建军,李青丰,张树礼.灰色关联分析在黑岱沟露天煤矿土壤质量评价中的应用[J].干旱区资源与环境,2007,21(7):125—129.

[9] 范军富,李忠伟.露天煤矿排土场土地复垦及其生态学原理[J].辽宁工程技术大学学报,2005,24(3):313—315.

[10] 张 力,格日乐,孙保平,等.黑岱沟露天矿水土流失防治对策[J].中国水土保持,2006,(1):45—46.

[11] 马建军,李青丰,张树礼.灰色关联分析在黑岱沟露天煤矿土壤质量评价中的应用[J].干旱区资源与环境,2007,21(7):125—129.

[12] 张树礼,曹江营,连 恺,等.黑岱沟露天煤矿排土场果园景观生态建设研究[J].内蒙古环境保护,2000,12(2):26—29.

[13] 崔 艳,白中科,李晋川,等.露天煤矿不同恢复阶段大型土壤动物群落结构[J].生态学杂志,2007,26(4):607—610.

[14] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.

[15] 胡梦郡,刘文兆,赵姚阳.黄土高原农、林、草地水量平衡异同比较分析[J].干旱地区农业研究,2003,21(4):113—116.

[16] Verrecchia E. Physical properties of the psammophile cryptogrammic crust and their consequences to the water regime of sandy soils, north-western Negev Desert, Israel[J]. J. Arid Environ, 1995, 29(3): 427—437.

万方数据

Effects of different vegetations on soil weight moisture of reclaimed land in mining areas

SUN Jian, LIU Miao, LI Li-jun, LIU Jing-hui

(*Inner Mongolia Agricultural University*, *Huhhot*, *Inner Mongolia* 010018, *China*)

Abstract: In Heidaigou Mining Area of Inner Mongolia, we adopted drying method to measure soil weight moisture of reclaimed land with different vegetations to calculate soil water storage. Based on the above data, we also used SAS9.0 for ANOVA and CLASSIFY analysis. The results showed that: the soil with mixed vegetations had higher soil weight moisture, 15 a *Hippophae hymnodies* + willow was the highest, and soil water storage capacity of vegetations was followed by 10 a *Siberian Apricot* + *Hippophae hymnodies* and 2 a *Amorpha fruticosa* L. + *Syringa oblata* + *Pinus tabulaeformis* Carr., which increased soil water storage by 48.7%, 45.6% and 32.3%, respectively compared with bare arable land. Single vegetation's soil water storage was cut down, such as 2 a *Robinia hispida* L., 2 a *Prunus humilis Bunge* and 5 a Alfalfa, which reduced soil moisture by 2.6%, 2.8% and 9.9% respectively compared with bare arable land. Through the shortest distance cluster analysis classification of soil water storage, we believe that the composite model should be taken in mining reclaimed land, and the main vegetations are *Hippophae hymnodies*, Alfalfa and *Siberian apricot*.

Keywords: vegetation; mining area; reclaimed land; soil weight moisture

(上接第 200 页)

Effect of sand layer on soil water and salt movement in saline land

ZHANG Li, DING Guo-dong, WANG Xiang-yu, ZHAO Ming-yan, GUO Yue, WEI Li-wei, LIANG Wen-jun

(*Beijing Forestry University*, *Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating*, *Ministry of Education*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The effect of sand layer on soil water and salt movement was analyzed based on a 6-month observation about soil conductivity and liquid water content in the experiment that laid sand in 80 ~ 100 cm soil profile. The result showed that sand layer in 80 ~ 100 cm could increase the soil liquid water content while rainfall is heavy enough; When in May to July that had great amount of evaporation and small amount of rainfall, with sand layer, the degree of soil salt accumulation could decrease by 50% ~ 70% compared with the control; Sand layer could prolong the process of infiltration under sand layer, then strengthened the eluviation effect of rainfall. Soil salt content decreased significantly in sand-layered soil when rainfall was near to evaporation, and it didn't increase or increase a litter in the control. When rainy season ended, soil desalinization ratio increased by 10% ~ 35% compared with the control, and the process of soil desalting could continue to October, which is very beneficial for the growing of plants.

Keywords: saline land; sand layer; water and salt movement

万方数据