

晋西黄土区土壤水分有效性研究

李笑吟^{1,2}, 毕华兴^{1,2}, 张建军^{1,2}, 李俊², 林靓靓²

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 在不同林地土壤水分特征曲线测定的基础上, 进行土壤水分有效性的分级。通过分析不同林分的持水、供水能力, 并结合生长季中土壤水分的测定, 确定了不同林地土壤水分有效性水平。研究结果表明: 不同立地条件下的各层土壤水分特征曲线几乎重合、形状基本相似, 无显著差异; 天然次生林地土壤持水能力最高, 其余依次为油松×刺槐、侧柏×刺槐、侧柏、油松、灌草地、刺槐; 土壤的供水能力侧柏×刺槐>次生林>刺槐>油松>侧柏>油松×刺槐>灌草地, 同一立地条件下底层土>表层土; 在 7~10 月期间, 样地各土层均处于有效水范围内, 0~80 cm 土层平均有效水储量为 24.27~70.47 mm。

关键词: 黄土区; 土壤水分特征曲线; 土壤水分有效性

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0205-04

Study on the Validity of Soil Moisture in Loess Area.

LI Xiao-yin^{1,2}, BI Hua-xing^{1,2}, ZHANG Jian-jun^{1,2}, LI Jun², LIN Jing-jing²

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083; 2. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the soil moisture's measurement in different forest soil, soil humidity characteristic curves were detected in research area (western Loess Plateau, China). With this curve, the soil moisture's validity groups were classified. After the analyzes of the ability of water holding, water supplying of different forest and combines the measurement of the soil moisture in growth season, the soil moisture's validity level in the different forest land are made out. The results shown that: (1) the soil humidity characteristic curves of each layer in the soil profile in different conditions(land use) are matched very well, and there is no significant difference; (2) the sequence (from strong to weak) of water holding ability in different forest soil is as follows: natural secondary forest, *Pinus tabulaeformis* Cam×*Robinia pseudoscacia* L., *Robinia pseudoscacia* L. × *Platycladus orientalis*, *Platycladus orientalis*, *Pinus tabulaeformis* Cam, grassland and shrub land, *Robinia pseudoscacia* L; (3) on the aspect of the water supplying ability in different forest soil, the sequence from strong to weak is as follows: *Robinia pseudoscacia* L. × *Platycladus orientalis*, the secondary forest, *Robinia pseudoscacia* L., *Pinus tabulaeformis* Cam, *Platycladus orientalis*, *Robinia pseudoscacia* L. × *Platycladus orientalis*, grassland and shrub land; (4) under the same land use conditions, the soil water supplying ability of different layers in the profile is different, the ability of surface soil is smaller than that in deeper soil; (5) during July to October, soil moisture in each layer in the profile is in the range of valid water, the average amount of valid water is between 24.27~70.47 mm in 0~80 cm soil profile.

Key words: loess area; PF curve of soil moisture; validity of soil moisture

土壤水分有效性的研究是土壤水分研究中的热点问题, 作为土壤水分中可直接被植物生长利用的部分, 有效水的含量及分布状况直接关系到造林物种的选择及造林成活率。有效水的正确估算是黄土区水资源状况估算的核心问题, 是黄土区自然资源可持续发展的前提。

目前国内外研究土壤水分有效性时, 多数学者根据田间水分常数的观念定性描述土壤水分的有效性, 土壤有效水的经典概念是从田间持水量到凋萎含水量之间的土壤水分含量。以土水势作为指标, 研究土壤有效水状况, 将土壤水的能态和形态相结合, 较田间水分常数更为合理的反映土壤水分有效性。将造林树木的永久凋萎点($< -20 \times 10^5$ Pa)作为有效水的下限。将土壤水分分为重力水($> -0.3 \times 10^5$

Pa)、速效水(-0.3×10^5 Pa~ -10×10^5 Pa)、迟效水(-10×10^5 Pa~ -20×10^5 Pa)和无效水($< -20 \times 10^5$ Pa)^[1,2]。有效水含量随降水而呈明显的季节变化特征, 阴坡全年土壤含水率高, 有效水充足, 半阳坡和阳坡土壤含水率低, 有效水较少^[3]。

本研究旨在基于不同林地土壤水分特征曲线的测定, 进行土壤水分有效性的分级, 分析不同林分的持水、供水能力, 并结合生长季中土壤水分的测定, 分析不同林地土壤水分有效性水平, 为黄土区植被建设提供基础依据。

1 试验区概况

研究区位于山西省吉县蔡家川流域(北纬 $36^{\circ}14' \sim 36^{\circ}$

* 收稿日期: 2005-11-05

基金项目: 国家“十五”攻关资助项目(2001BA510B0101); 973 项目(2002CB111503) 联合资助

作者简介: 李笑吟(1979-), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事林业生态方面的研究; 通讯作者: 毕华兴(1969-), 男, 博士, 北京林业大学水土保持学院副教授, 主要研究方向: 森林水文与地理信息系统。

18' 与东经 110°40' ~ 110°48' 之间)。流域主沟长 12.15 km, 面积 40.10 km²。该流域为黄土高原残塬沟壑区和梁状丘陵沟壑区的典型地区, 海拔 904~1 592 m, 年平均降雨量为 579.5 mm, 年平均水面蒸发量为 1 723.9 mm, 年均气温 10℃; 土壤为褐土, 黄土母质; 流域森林覆盖率为 39.8%。

2 研究方法

2.1 样地布置及样地调查

在研究区, 根据植被类型的不同, 选择具有典型样地 8 处。进行样地调查, 记录坡向、坡度、坡位、经纬度、海拔、植被类型, 并测量树高、胸径、株行距。

2.2 土壤物理性质测定

在不同植被类型的样地中, 挖 80 cm 的土壤剖面, 利用环刀, 在 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 分别取原状土, 密封后, 于实验室进行容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、饱和含水量等土壤物理性质的测定。

表 1 样地基本情况和土壤物理性质表

林分类型	林龄 /a	主要树种	平均树高/m	平均胸径/cm	坡位	坡向 /N°	坡度/°	海拔 /m	密度/(株·hm ⁻²)	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
次生林		山杏、油松、山杨			中下	10	23	1113		1.3	55.9	53.3	2.8
油松×刺槐	5×11	刺槐、油松	6.4×3.9	7.2×3.9	中上	105	25	1178	500×300	1.3	54.4	44.2	12.7
刺槐林	12	刺槐	6.35	7.45	中下	165	25	1177	264	1.3	52.4	48.9	3.5
侧柏×刺槐	13	刺槐、侧柏	6.4×3.5	11.0×3.6	中	123	30	1159	1200×600	1.3	58.6	56.6	2.1
侧柏林	13	侧柏	2.59	2.98	中	170	5	1184	1800	1.2	54.5	49.8	3.8
油松林	13	油松	4.28	6.9	中	320	13	1145	600	1.2	53.7	51.3	2.6
灌草地		黄刺梅、狼牙刺			下	170	15	1112		1.3	67.0	50.6	16.6

3.2 土壤水分特征曲线的拟合及持水能力分析

土壤水分特征曲线反映了土壤水和土壤固体之间的相互作用关系, 即土壤颗粒的表面吸附力和土壤孔隙的毛管力对土壤水的作用, 因此反映了土壤持水的基本特性。它能揭示土壤水的能量指标(基质吸力)与数量指标(土壤含水量)之间的内在关系, 通常以脱湿曲线表征。试验区样地土壤水分特征曲线见图 1。

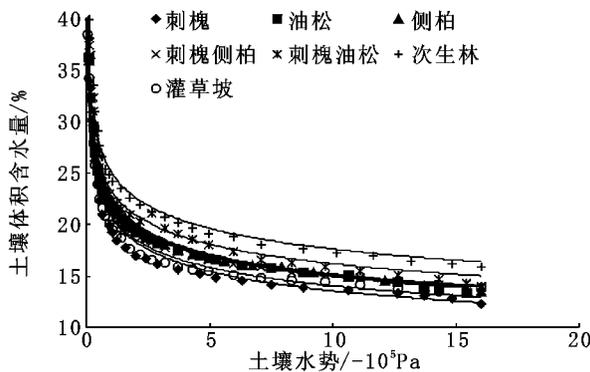


图 1 试验区样地土壤水分特征曲线

试验区土壤的质地为中壤、轻壤土, 反映在曲线上, 该试验地的土壤水分特征曲线要较黏质土的曲线陡直得多, 并且在低吸力段($< 1 \times 10^5$ Pa)的较窄范围内, 水分特征曲线陡直, 而在中高吸力段($> 1 \times 10^5$ Pa)较宽区间, 曲线却趋于平缓。在低吸力范围内, 土壤所能保持或释放出的水量取决于土壤结构较粗的孔隙分布, 主要是重力起作用。在中高吸力段主要决定于土壤质地, 主要是土壤颗粒的表面吸附起作用^[4]。对试验地土壤施加较小吸力时, 大孔隙中的水即被排出, 保持在中小孔隙中的水分只有在较大吸力范围内才能缓慢释出。而且从图 1 中还可看出实验区不同立地条件下的各层土壤水分特征曲线几乎重合, 形状基本相似, 无显著差异。在较小吸力的作用下, 刺槐纯林地迅速释水, 土壤含水

2.3 土壤水分有效性测定

在不同植被类型样地中, 挖 80 cm 土壤剖面, 利用 H-1400PF 特型土壤用离心机专用环刀, 在 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 分别取原状土, 密封后, 置于 H-1400PF 特型土壤用离心机进行土壤水分特征曲线的测定。

2.4 土壤水分测定

在样地中, 埋设土壤水分测管, 使用德国 IMKO 公司的 TRIME 型 TDR 土壤水分测定仪 T3 探头进行土壤水分定位监测。在 2004 年 7~10 月, 测定土壤水分。测深 80 cm, 每 20 cm 为一层, 每层取 3 次重复。

3 结果与分析

3.1 样地基本情况

在试验区, 选取油松、刺槐、侧柏及其混交林分、天然次生林、灌草坡等 7 个典型林地进行植被调查土壤物理性质测定。样地基本情况见表 1。

量降低幅度很大, 次生林释水程度最小。

Gardner 和 Visser 提出的经验方程 $Q = AS^{-B}$ 对实验地土壤水分特征曲线有良好的模拟性^[5], 相关系数较高。将测定结果按上式进行拟合, 结果见表 2。方程中的参数 A 决定了曲线的高低, 即持水能力大小, A 值越大, 持水能力越强; 参数 B 决定曲线的走向, 即土壤含水量随土壤水势降低而递减的快慢。参数 A 和 B 的大小, 主要受土壤质地(主要是小于 0.01 m 物理性黏粒量)、有机质和结构的影响。

由上表可见, 各林地不同土层之间拟合方程差异不大, A 值在 0~20 cm 土层较小, 在 20~80 cm, 随深度增加有减小趋势, 亦即 0~20 cm 土层持水能力较小, 20 cm 以下土层持水能力有随深度增加而减小的趋势。B 值在土层间的变化差异极小, 而且无明显规律, 体现出不同土层间土壤水分特征曲线走向的一致性。在各不同林地之间, 以天然次生林地土壤持水能力最高, 其余依次为刺槐×油松、刺槐×侧柏、侧柏、油松、灌草地、刺槐, 混交林地土壤持水量能力好于纯林, 纯林中以刺槐林地的土壤持水能力最差, 而灌草地持水能力也较差。

3.3 土壤的供水性能

土壤的供水性是指在一定条件土壤对植物生理需水的供给能力, 常以有效水和有效度衡量, 这种能力的强弱在很大程度上又取决于土壤的有效水储量。

土壤水分特征曲线的斜率称为比水容量(C_0), 表示单位吸力变化时单位质量土壤可释放或储存以供植物利用的水量, 比水容量随土壤吸力的增大而减小, 它能说明土壤水分的有效性和供水容量的大小, 是评价土壤耐旱性的重要指标^[6]。比水容量 C_0 是土壤含水量 θ 对基模势 Ψ 的导数, 由回归方程 $\theta = AS^{-B}$ 求导得出, $C_0 = d\theta/d\Psi = -d\theta/dS = A \cdot BS^{-(B+1)}$ 。式中, S 是土壤水吸力, $S = -\Psi$; AB 是土壤水吸力 S 为 1×10^5 Pa 时的比水容量, AB 值越大, 表明土壤的供水性或耐旱性越好^[7]; 而 $B+1$ 表明, 比水容量随水势的变化远比含水量的变化快。

表2 林地土壤水分特征曲线的拟合结果

土层/cm	植被	方程参数					植被	方程参数				
		A	B	A* B	B+ 1	R ²		A	B	A* B	B+ 1	R ²
0~ 20	侧柏	22.23	0.18	3.91	1.18	0.94	刺槐	19.65	0.19	3.78	1.19	0.95
20~ 40		22.22	0.17	3.79	1.17	0.95		21.23	0.18	3.89	1.18	0.93
40~ 60		21.54	0.17	3.67	1.17	0.95		21.23	0.18	3.91	1.18	0.90
60~ 80		23.65	0.16	3.77	1.16	0.92		21.23	0.19	3.97	1.19	0.90
平均		22.41	0.17	3.79	1.17	0.94		20.84	0.19	3.90	1.19	0.92
0~ 20	油松	21.61	0.18	3.88	1.18	0.97	次生林	24.78	0.16	3.95	1.16	0.97
20~ 40		22.89	0.17	3.80	1.17	0.94		25.36	0.15	3.88	1.15	0.92
40~ 60		23.09	0.16	3.79	1.16	0.94		25.18	0.15	3.87	1.15	0.93
60~ 80		21.69	0.18	3.95	1.18	0.94		25.32	0.16	3.94	1.16	0.91
平均		22.33	0.17	3.86	1.17	0.95		25.16	0.16	3.92	1.16	0.94
0~ 20	油松×刺槐	23.23	0.16	3.75	1.16	0.96	侧柏×刺槐	24.10	0.15	3.69	1.15	0.92
20~ 40		25.84	0.14	3.55	1.14	0.94		22.74	0.17	3.98	1.17	0.91
40~ 60		22.84	0.17	3.80	1.17	0.92		21.83	0.19	4.08	1.19	0.91
60~ 80		21.42	0.18	3.78	1.18	0.92		21.98	0.19	4.13	1.19	0.90
平均		23.35	0.16	3.73	1.16	0.94		22.67	0.18	3.98	1.18	0.91
0~ 20	灌草地	20.00	0.20	4.05	1.20	0.96						
20~ 40		20.93	0.16	3.26	1.16	0.95						
40~ 60		20.80	0.18	3.64	1.18	0.91						
60~ 80		21.54	0.15	3.28	1.15	0.91						
平均		20.85	0.17	3.58	1.17	0.94						

根据试验地土壤水分特征曲线的拟合结果(见表2),得知土壤AB的值顺序为侧柏×刺槐>次生林>刺槐>油松>侧柏>油松×刺槐>灌草地,同一立地条件下底层土>表层土。由此表明,混交林、次生林的供水性能相对较好,灌草地相对较低,而纯林介于二者之间,同一立地条件下底层土优于表层土。

3.4 土壤水分有效性分类

在对实验区土壤水分形态与能量状态的关系分析的基础上,从土壤水分物理的和生物的分类来看^[8],当基质引力为0时,土壤水分处于渗透重力水状态时,就其对植物的有效程度来说,它属于土壤水分的潜在的供水性能,虽极易被植物吸收,但其在土层中停留的时间十分短暂,因重力作用,

向深层淋失。在研究工作中,常将毛管孔隙最大持水量和稳定凋萎湿度之间保持的水分视为对植物可以利用的,称为有效水^[9]。根据实验地原状土测定的毛管孔隙最大持水量值确定有效水上限,而造林树种的永久凋萎点达到 -20×10^5 Pa以下,可将 -20×10^5 Pa作为有效水下限。在有效水范围内,随着土壤水势下降,含水量降低,植物根系吸收水分的难度增加,树木的暂时凋萎点在 -10×10^5 Pa左右,可将 -10×10^5 Pa作为易效水与难效水的分界线。当基质吸力大于 -20×10^5 Pa时,对植物来说,称为无效水。

根据上述分类系统,对实验区7个样地土壤水分有效性进行分类,结果见表3。

表3 林地土壤水分有效性分类

土层/cm	植被	毛管持水/%	有效水($\times 10^5$ Pa)			植被	毛管持水/%	有效水($\times 10^5$ Pa)		
			易效水 ($-0.3 \sim -10$)	难效水 ($-10 \sim -20$ Pa)	无效水 ($\leq -20 \times 10^5$ Pa)			易效水 ($-0.3 \sim -10$)	难效水 ($-10 \sim -20$ Pa)	无效水 ($\leq -20 \times 10^5$ Pa)
0~ 20	侧柏	50.0	50.0~ 14.8	14.8~ 13.1	≤ 13.1	刺槐	45.3	45.3~ 12.6	12.6~ 11.1	≤ 11.1
20~ 40		47.3	47.3~ 15.0	15.0~ 13.3	≤ 13.3		47.8	47.8~ 13.9	13.9~ 12.3	≤ 12.3
40~ 60		49.5	49.5~ 14.6	14.6~ 12.9	≤ 12.9		50.3	50.3~ 13.9	13.9~ 12.2	≤ 12.2
60~ 80		53.0	53.0~ 16.4	16.4~ 14.7	≤ 14.7		52.3	52.3~ 13.8	13.8~ 12.1	≤ 12.1
平均		49.9	49.9~ 15.2	15.2~ 13.5	≤ 13.5		48.9	48.9~ 13.6	13.6~ 11.9	≤ 11.9
0~ 20	油松	49.0	49.0~ 14.3	14.3~ 12.6	≤ 12.6	次生林	51.3	51.3~ 17.2	17.2~ 15.4	≤ 15.4
20~ 40		48.8	48.8~ 15.6	15.6~ 13.9	≤ 13.9		51.0	51.0~ 17.8	17.8~ 16.0	≤ 16.0
40~ 60		53.3	53.3~ 15.8	15.8~ 14.1	≤ 14.1		54.5	54.5~ 17.7	17.7~ 15.9	≤ 15.9
60~ 80		53.5	53.5~ 14.3	14.3~ 12.6	≤ 12.6		53.8	53.8~ 17.7	17.7~ 15.9	≤ 15.9
平均		51.1	51.1~ 15.0	15.0~ 13.3	≤ 13.3		52.6	52.6~ 17.6	17.6~ 15.8	≤ 15.8
0~ 20	油松×刺槐	47.5	47.5~ 16.0	16.0~ 14.3	≤ 14.3	侧柏×刺槐	51.4	51.4~ 16.9	16.9~ 15.2	≤ 15.2
20~ 40		47.8	47.8~ 18.8	18.8~ 17.1	≤ 17.1		53.9	53.9~ 15.2	15.2~ 13.5	≤ 13.5
40~ 60		51.5	51.5~ 15.6	15.6~ 13.9	≤ 13.9		60.9	60.9~ 14.2	14.2~ 12.5	≤ 12.5
60~ 80		47.5	47.5~ 14.3	14.3~ 12.6	≤ 12.6		57.9	57.9~ 14.3	14.3~ 12.5	≤ 12.5
平均		48.6	48.6~ 16.2	16.2~ 14.5	≤ 14.6		56.0	56.0~ 15.1	15.1~ 13.4	≤ 13.4
0~ 20	灌草地	51.3	51.3~ 12.6	12.6~ 10.9	≤ 10.9					
20~ 40		45.5	45.5~ 14.6	14.6~ 13.1	≤ 13.1					
40~ 60		44.8	44.8~ 13.9	13.9~ 12.3	≤ 12.3					
60~ 80		48.3	48.3~ 15.2	15.2~ 13.7	≤ 13.7					
平均		47.4	47.4~ 14.0	14.0~ 12.5	≤ 12.5					

3.5 不同林地土壤水分有效性分析

将7块样地2004年7月至10月期间土壤剖面水分

平均测值,与各测点0~80cm土层土壤水分有效性进行比较。见图2。

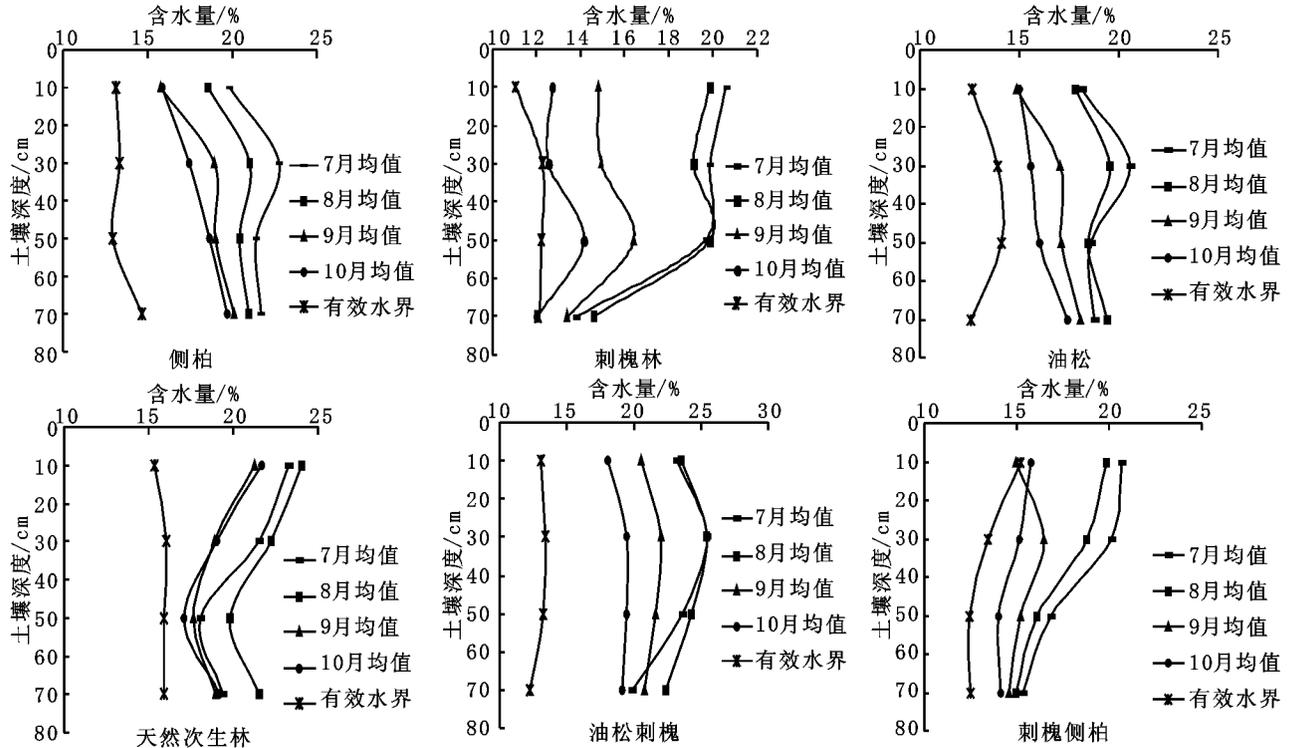


图 2 土壤剖面水分有效性比较

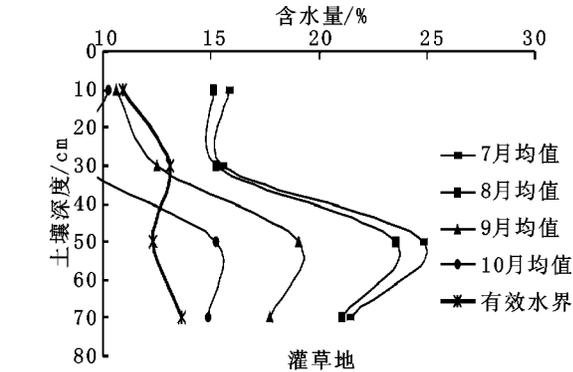


图 2 土壤剖面水分有效性比较

可以看出 7 个土壤水分测点中,除了 9,10 月份灌草坡、

荒草坡 0~ 40 cm, 10 月份油松 × 刺槐林地 20~ 40 cm 土层土壤水分含量处于无效水状态外,其余林分在 7~ 10 月期间各个土层均处于有效水范围内,而且绝大多数地点有效水含量都较高。可见,实验区在生长季中的土壤水分含量能够保证植物生长需要。

由表 4,实验区有效水储量在 24.27~ 70.47 mm 之间,以油松 × 刺槐储值最大,侧柏 × 刺槐林地最小。因受地形、植被等多种因子综合影响,各样点之间有效水储量差异较大。

4 结论

(1) 实验区不同立地条件下的各层土壤水分特征曲线几乎重合、形状基本相似,无显著差异。在较小吸力的作用下,刺槐纯林地迅速释水,土壤含水量降低幅度很大,次生林释水程度最小。

表 4 林地各月有效水储量

	植被	次生林	油松 × 刺槐	刺槐	侧柏 × 刺槐	侧柏	油松	灌草坡
		7 月	% 20.56 mm 164.51	23.05 184.38	18.51 148.05	18.23 145.83	21.43 171.43	19.03 152.23
0~ 80 cm 总储水量	8 月	% 21.9 mm 175.18	23.92 191.36	18.37 146.96	17.43 139.4	20.25 162.01	18.81 150.51	18.73 149.8
	9 月	% 19.17 mm 153.36	21.23 169.84	14.89 119.15	15.31 122.45	18.45 147.6	16.79 134.35	14.96 119.7
生长季	10 月	% 19.24 mm 153.9	19.04 152.3	12.86 102.9	14.78 118.2	17.91 143.3	16.03 128.2	12.38 99
	有效水界	% 20.22 mm 161.74	21.81 174.47	16.16 129.26	16.43 131.47	19.51 156.09	17.67 141.32	16.37 130.93
0~ 80 cm 有 效水储量	% 15.78 mm 126.24	13 104	11.91 95.28	13.4 107.2	13.51 108.08	13.3 106.4	12.47 99.76	
	7 月	% 4.78 mm 38.27	10.05 80.38	6.6 52.77	4.83 38.63	7.92 63.35	5.73 45.83	6.93 55.44
	8 月	% 6.12 mm 48.94	10.92 87.36	6.46 51.68	4.03 32.2	6.74 53.93	5.51 44.11	6.26 50.04
	9 月	% 3.39 mm 27.12	8.23 65.84	2.98 23.87	1.91 15.25	4.94 39.52	3.49 27.95	2.49 19.94
	10 月	% 3.46 mm 27.66	6.04 48.3	0.95 7.62	1.38 11	4.4 35.22	2.73 21.8	- 0.1 - 0.76
	生长季	% 4.44 mm 35.5	8.81 70.47	4.25 33.98	3.03 24.27	6 48.01	4.37 34.92	3.9 31.17

4 讨论

对于群落结构和物种多样性的影响因素, 许多的学者已从地理梯度, 海拔高度, 地形因子和群落演替阶段等因素开展了大量的研究^[9]。国外学者有关定量研究荒漠植物群落的组成、分布及其与环境因子之间关系的报道已屡见不鲜, 而国内也有许多学者应用数量分类和排序的方法研究了我国干旱区荒漠植物群落与环境的关系^[10-13]。

丰宁小坝子地区处于农牧交错区和生态脆弱区, 由于人类活动的干扰, 大量土地沙化退化, 为此开展的植被恢复与演替研究有重要意义。植被与其生存的立地环境(土壤水分、含盐量、酸碱度)之间是一种相互依赖和制约的关系^[14], 有研究指出, 越是相对贫瘠的土壤, 越是容易受到植被的影响^[15]。

参考文献:

- [1] 刘世梁, 马克明, 傅伯杰, 等. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 496-502.
- [2] Jackson, R B, M M Caldwell. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants[J]. Journal of Ecology, 1993, 81: 683-692.
- [3] 董鸣. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [4] 刘光菘. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [5] 刘明义, 宋志超. 沙地土壤风蚀动力因子分析[J]. 中国水土保持, 2000, (7): 28-30.
- [6] 刘创民, 李昌哲, 等. 多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用[J]. 生态学报, 1996, 16: 444-447.
- [7] 洪楠, 候军. SAS 软件应用指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [8] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学出版社, 1995.
- [9] 赵丽娅, 赵哈林. 我国沙漠化过程中的植被演替研究概述[J]. 中国沙漠, 2000, (20): 7-14.
- [10] 刘庆, 周立华. 青海湖北岸植物群落与环境因子关系的初步研究[J]. 植物学报, 1996, 38(11): 887-894.
- [11] 王孝安. 安西荒漠植被的多元分析[J]. 植物学报, 1997, 39(5): 461-466.
- [12] 潘代远, 孔令韶, 金启宏. 新疆呼图壁盐化草甸群落的 DCA, CCA 及 DCCA 分析[J]. 植物生态学报, 1995, 19(2): 115-127.
- [13] 陈仲新, 张新时. 毛乌素沙化草地景观生态分类与排序的研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(5): 423-437.
- [14] 陈鹏, 初雨, 顾雪峰. 绿洲-荒漠过渡带景观的植被与土壤特征要素的空间异质性分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 904-908.
- [15] Perez F L. The influence of organic matter addition by caulescent andean rosettes on surficial soil properties[J]. Geoderma, 1992, 54: 151-171.

(上接第 208 页)

(2) 经验方程 $\theta = A \cdot S^{-B}$ 对实验地土壤水分特征曲线有良好的模拟性, 相关系数较高。各林地不同土层之间拟合方程差异不大, A 值在 0~20 cm 土层较小, 且在 20~80 cm 内随深度增加有减小趋势, 亦即 0~20 cm 土层持水能力较小, 20 cm 以下土层持水能力有随深度增加而减小的趋势。

(3) 在各不同林地之间, 以天然次生林地土壤持水能力最高, 其余依次为油松×刺槐、侧柏×刺槐、侧柏、油松、灌草地、刺槐。混交林地土壤持水量能力好于纯林, 纯林中以刺槐林地的土壤持水能力最差, 而灌草地持水能力也较差。

(4) 土壤供水能力的顺序为侧柏×刺槐>次生林>刺槐>油松>侧柏>油松×刺槐>灌草地, 同一立地条件下底层土>表层土。混交林、次生林的供水性能相对较好, 灌草地

参考文献:

- [1] 王孟本, 柴宝峰, 李洪建, 等. 黄土区人工林的土壤持水力与有效性状况[J]. 林业科学, 1999, (2): 1-11.
- [2] 吴文强, 李吉跃, 张志明, 等. 北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 51-55.
- [3] 张小泉, 张清华. 太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(3): 193-200.
- [4] 杨文治. 林草植被建设的土壤养分和水分环境[A]. 黄土高原植被建设与可持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] 华孟, 王坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [6] 陈志雄, 汪仁真. 中国几种土壤的持水性质[J]. 土壤学报, 1979, 16(3): 277-281.
- [7] 沈思渊, 席承藩. 淮北主要土壤持水性能及其与颗粒组成的关系[J]. 土壤学报, 1990, 27(1): 34-42.
- [8] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [9] 吴文强, 李吉跃, 张志明, 等. 北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 51-55.

本研究表明, 坡位、坡向、土壤有机质、土壤含水量等因素对植被状况有较大影响, 典范相关分析进一步表明, 在地形因子中, 坡位和坡向影响植被的种类和盖度, 并对地表粗糙程度和土壤水分含量有影响。土壤因子中, 地表状况、土壤水分、土壤有机质、全氮等因素植被群落的物种多样性相关性密切。本文采用了多元统计的方法, 消除了不同因子之间的重叠信息, 并将指标分类统一化以研究各因素之间的关系。以上结论表明, 土壤、植被、地形因子三者互相作用, 地形因子影响着植被的结构特点, 而土壤因子对物种多样性也产生影响, 反过来群落结构也影响着土壤的理化因子。由于小坝子沙化区的生态恢复过程处在初期, 植被群落的物种状况和土壤条件略有改善, 但是复杂的土壤变化和植被的组成及环境因素密切相关, 恢复仍处于不稳定状态, 需要长期的监测研究。