

民勤霸王群落结构和物种多样性特征研究

李得禄^{1,2}, 王辉¹, 杨自辉², 李亚², 朱国庆², 胡小柯²

(1. 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070;

2. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站/甘肃省治沙研究所, 甘肃 武威 733000)

摘 要:研究民勤霸王群落物种多样性对霸王资源的合理保护与利用具有重要意义。在民勤不同霸王分布区, 采用样方调查法, 对霸王群落结构和物种多样性特征进行了分析。结果表明: (1) 民勤霸王草地群落结构简单, 物种相对单一, 所调查群落中共有植物种 39 种, 分属 13 科 32 属; 单科单属种较多, 占到了总科数的一半; (2) 在砂砾质地上, 霸王种群密度大, 物种相对丰富, 但是生长量较小, 而在固定半固定沙丘则相反。霸王群落所处生境影响了霸王的密度及生长; (3) 在砾质地上生长的霸王群落物种相对丰富, 多样性指数高, 群落稳定性好, 群落优势度较低, 而在固定半固定沙丘上生长的霸王群落组成物种单一, 结构简单, 多样性指数较低, 生态优势度较高, 群落稳定性较差。

关键词:民勤; 霸王; 群落结构; 物种多样性

中图分类号: Q143

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0196-05

Community Structure Characteristic and Species Diversity of *Zygophyllum xanthoxylum* in Minqin

LI De-lu^{1,2}, WANG Hui¹, YANG Zi-hui², LI Ya², ZHU Guo-qing², HU Xiao-ke²

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Minqin National Studies Station for Desert Steppe Ecosystem & Gansu Desert Control Research Institute, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: Studying the *Zygophyllum xanthoxylum* species diversity have great significance for reasonable protection and utilization of *Zygophyllum xanthoxylum* sources in Minqin. The community structure and diversity characteristics of *Zygophyllum xanthoxylum* community was researched by using quadrat investigation in different distribution areas in Minqin, the results show that: (1) *Zygophyllum xanthoxylum* community structure is simple and species is monotonous. There are 39 kinds of species belonging to 12 families and 31 genera. There are more single genus that contribute 50 percent of total genus; (2) Population density of *Zygophyllum xanthoxylum* is higher in sand gravel field, but growth is smaller. Fixed and semi-fixed sand is opposite. Growth and density of *Zygophyllum xanthoxylum* was influenced by habitat. (3) Species is rich relatively, species diversity index is higher, community stability is well, community dominance index is lower in sand gravel field, but community composition of fixed and semi-fixed sand is single, structure is simple, species diversity index is lower, ecological dominance is higher, and community stability is poorer.

Key words: Minqin; *Zygophyllum xanthoxylum*; community structure; species diversity

群落结构和物种多样性是一个群落功能复杂性的量度, 表征着生物群落和生态系统结构的复杂性, 体现了群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异, 是揭示植被组织水平的生态学基础^[1]。群落的结构组成及群落物种多样性也是群落生态学中重要的研究内容之一, 它能够反映群落的组

成、变化及其发展趋势。也可以反映不同自然条件与群落之间的相互关系^[2]。因此, 群落物种多样性研究能够揭示群落特征及发展趋势, 是开展群落保护与恢复的前提和基础。国内关于群落结构和物种多样性研究方面的报道不少, 主要集中在群落物种多样性保护意义、保护价值、群落物种多样性特征及保护措施

收稿日期: 2012-09-24

修回日期: 2012-12-13

资助项目: 甘肃省自然科学基金项目“民勤荒漠区霸王草地的演替与恢复研究”(096RJZH016); 沙生植物保护利用科技创新团队(1207TTCA002); 甘肃省科技基础条件平台“荒漠植物种子标本室与冷藏库建设”(1207TTCA327); 甘肃沙生植物工程技术研究中心

作者简介: 李得禄(1977—), 男, 甘肃民乐人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要从事荒漠植物及荒漠化防治研究。E-mail: lidlu2008@163.com

通信作者: 王辉(1959—), 女, 甘肃武威人, 教授, 博士, 主要从事水土保持与荒漠化防治。E-mail: wangh@gsau.edu.cn

等方面^[3-11]。但对同一物种在不同分布区群落物种多样性特征方面的研究较少,尤其是干旱荒漠区的植物群落。本文以民勤荒漠区霸王分布区域的霸王群落为研究对象,通过调查分析霸王群落组成及物种多样性特征,为霸王草地资源的保护与合理开发利用以及霸王群落植被恢复提供了科学依据。

1 研究区概况

研究区位于石羊河流域下游干旱荒漠区,属于典型的温带大陆性荒漠气候。冬季寒冷,夏季酷热,昼夜温差大,年均气温 7.6℃,极端低温-30.8℃,极端高温 40.0℃,无霜期 175 d;降雨量小,蒸发量大,气候干燥,年均降雨量 113.2 mm,年均蒸发量 2 604.3 mm,干燥度 5.1,最高达 18.7,相对湿度 47%;光热充足,年均日照时数 2 799.4 h,≥10℃的活动积温 3 036.4℃;冬季盛行西北风,全年风沙日可达 83 d,多集中在 2—5 月份,年均风速 2.5 m/s,最大风速为

23.0 m/s;土壤为灰棕荒漠土和风沙土,沙层厚,肥力差,有机质含量 0.197 5%,全磷 0.116%,全氮 0.0079%,含盐量 0.146%,pH 值 7.5~8,地下水位 23 m 左右^[12]。研究区植被稀疏、类型单一,天然植被主要以白刺群落、绵刺群落、霸王群落、膜果麻黄群落、红砂群落等为主。

2 研究方法

2.1 野外调查

于 2010 年 9 月在霸王当年生长量最大时在民勤霸王集中分布区和零星分布区分别设置样方进行调查。各区域样方设置方法:首先用钢尺随机设置 80 m 长的样线,然后在 0,20,40,60,80 m 处各设置一个 5 m×5 m 的样方,每个区域共设置 5 个样方。在样方内进行植物种类、数量、高度、冠幅、新梢生长量以及经度、纬度、生境等指标因子的调查。表 1 为不同分布区霸王群落样地基本概况。

表 1 不同分布区霸王群落样地概况

编号	群落类型	地点	经度	纬度	生境
1	霸王+沙蒿	五托井	103°50'49"	39°27'37"	砾质地
2	霸王+猫头刺	石榴井	102°36'55"	38°59'54"	沙砾质地
3	泡泡刺+红砂+霸王	红砂岗	102°36'55"	38°59'54"	砾质地
4	霸王+红砂	小井滩	103°18'23"	38°52'38"	固定半固定沙丘
5	白刺+多枝红柳+霸王	义粮滩	103°24'33"	38°40'59"	固定半固定沙丘

2.2 统计指标及计算公式

综合数量测度指标:以综合数值表示植物物种在群落中的相对重要值。计算公式为:

重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3。

选择物种丰富度、多样性指数、种间相遇率、群落均匀度、群落生态优势度 5 个指标对不同霸王群落中的灌木群落结构特征进行描述和评价。计算公式如下^[13-14]:

- (1) 物种丰富度,即群落中物种总数。
- (2) Shannon-Wiener 指数 $H' = - \sum P_i \ln P_i$,即物种多样性。
- (3) Simpson 指数 $D = 1 - \sum P_i^2$,即物种多样性。
- (4) Pielou 群落均匀度 $R = - \sum P_i \ln P_i / \ln S$ 。
- (5) $DI = \sum P_i^2$,即群落优势度。 $P_i = N_i / N$

式中:S——样方物种数;N——样地内植物个体总数; N_i ——第*i*种的个体数。

采用方差/均值比率法判断优势种群的分布格局。其原理是一个 Poisson 分布的总体有方差 *V* 与平均值 *m* 相等的性质。当 $V/m = 1$ 时,种群表现为 Poisson 型(随机型)分布,如果 $V/m > 1$ 时则为集群

分布,如果 $V/m < 1$ 时则为均匀分布^[15-16]。计算公式:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^A [(n_i - m)^2 / (A - 1)]}{A} \quad m = [\sum_{i=1}^A (n_i)] / A$$

式中: n_i ——第*i*个样地的个体数;A——样方数。

2.3 统计方法

试验数据采用 Excel 和 SPSS 数据处理软件进行统计分析,用 Excel 进行绘图。计算结果均为 5 个样方数据的平均值。

3 结果与分析

3.1 物种组成

通过调查和统计,发现民勤霸王草地群落结构简单,物种相对单一,所调查群落中共有植物种 39 种,分属 13 科 32 属,其中菊科种类最多(7 属 9 种),其次为藜科(7 属 8 种),蒺藜科(3 属 6 种),豆科(3 属 3 种),禾本科(3 属 3 种),百合科(2 属 2 种),柽柳科(1 属 2 种)、蓼科、蔷薇科、旋花科、茄科、蓝血科、十字花科均为 1 属 1 种,单科单属种占到了一半,表明物种类型单一,科属组成分散。从生活型上看,灌木种类最多,为 18 种,多年生草本次之,为 12 种,一年生草本最

少,为 9 种,分别占总种数的 43.6%,30.9%,25.6%。

霸王不同分布区的灌木、草本种类及数量特征(表 2)表明,小井滩一年生植物数量较多,而其他 4 个群落以灌木和多年生草本为主,所占比例较大,均在 60%以上,因此群落的结构、系统功能、稳定性主要由灌木层和多年生草本层决定。在干旱荒漠区一年生草本随降水表现出较大的变化,在群落中属于不稳定层,小井滩一年生植物中五星蒿数量较大,从数量上

来说在群落中所占比例较大,但它并不能决定群落的稳定性。生境条件决定了霸王群落物种组成及数量特征,半固定沙丘上生长的霸王群落物种较少,表明流沙环境对植物生长影响较大,但其为一年生植物生长提供了条件,数量相对较多,主要原因是在流沙上水分利用率高;在砾质地上适宜生长的植物种类较多,但是由于土壤颗粒大,水分容易散失,不利于一年生植物生长,因而数量较少。

表 2 不同分布区霸王群落物种组成及数量特征

生活型	物种	1	2	3	4	5
灌木	霸王 <i>Zygophyllum xanthoxylon</i>	3.0	6.8	2.4	2.6	1.5
	猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i>	3.2	40.3			
	甘蒙锦鸡儿 <i>Caragana opulens</i>	0.1	21.7			
	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	1.8	0.1	0.6	1.1	2.7
	红砂 <i>Nitraria sphaerocarpa</i>	0.1		11.0		
	戈壁天门冬 <i>Asparagus gobicus</i>		0.2			
	刺旋花 <i>Convolvulus tragacanthoides</i>		0.1			
	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>				3.2	1.2
	绵刺 <i>Potaninia mongolica</i>			5.4		
	黑果枸杞 <i>Lycium ruthenicum</i>			1.4		
	无叶假木贼 <i>Anabasis aphylla</i>			0.4		
	泡泡刺 <i>Nitraria sphaerocarpa</i>	0.7	0.6	13.2		
	珍珠猪毛菜 <i>Salsola passerina</i>			5.2		
	沙蒿 <i>Artemisia arenaria</i>	22.8				
	合头草 <i>Sympegma regelii</i>		0.2			
	燥原芥 <i>Ptilotricum canescens</i>			10.0		
	中亚紫菀木 <i>Asterothamnus centrali-asiaticus</i>			4.0		
	沙拐枣 <i>Calligonum mongolicum</i>				1.86	
	小计	31.7(38.0%)	70.1(28.4%)	53.7(33.2%)	8.8(5.1%)	5.4(54.7%)
多年生草本	骆驼蒿 <i>Peganum nigellastrum</i>	0.7	31.8			
	黄芪 <i>Astragalus steinbergianus</i>	2.8	9.5	0.2		
	沙葱 <i>Allium mongolicum</i>	9.1	3.4			
	戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i>	1.2	92.7	1.2		
	骆驼蹄瓣 <i>Zygophyllum fabago</i>		6.3	71.6		
	骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>		0.4	0.2		3.6
	刺儿菜 <i>Cirsium esculentum</i>	1.6				
	黄花补血草 <i>Limonium aureum</i>				5.1	
	隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	2.7		3.0		
	拐轴鸦葱 <i>Scorzonera divaricata</i>			0.4	1.1	
	刺头菊 <i>Cousinia affinis</i>		0.1			
	花花柴 <i>Karelinia caspia</i>				1.1	
	小计	18.1(21.8%)	144.4(58.4%)	76.6(47.4%)	7.32(4.27%)	3.6(36.4%)
一年生草本	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	10.9	32.5	17.1		
	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>		0.1		0.8	
	碟果虫实 <i>Corispermum patelli forme</i>	12.1			0.5	
	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	9.5				
	砂蓝刺头 <i>Echinops gmelinii</i>	0.3				0.2
	薊萝蒿 <i>Artemisia anethoides</i>	0.1		14.2		
	五星蒿 <i>Bassia dasyphylla</i>	0.4			150.8	0.7
	沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i>				2.6	
	白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>				0.8	
	小计	33.4(40.0%)	32.6(13.2%)	31.3(19.3%)	155.5(90.6%)	0.9(9.0%)
	合计	83.3(100%)	247.1(100%)	161.6(100%)	171.6(100%)	9.8(100%)

重要值是用来表示群落个体在群落中的地位和作用的综合数量指标,其含义简单、明确。表 3 为民勤不同霸王分布区灌木层重要值,从霸王不同群落物种组成来看,霸王在不同群落中优势地位明显,对群落的结构、生态系统功能及稳定性具有重要作用。在五托井群落中,霸王和沙蒿重要值接近,成为群落共优势种,一年生植物碟果虫重要值也较高,达到了 40.61;石榴井多年生草本戈壁针茅重要值最高,在群落中也扮演着重要角色,霸王和猫头刺重要值分别为 43.35 和 42.10,与戈壁针茅共同成为群落优势种;红砂岗骆驼蹄瓣重要值最大,泡泡刺次之,两种植物成为群落共建优势种,红砂和霸王重要值在 30 以上,为群落亚优势种;小井滩霸王群落尽管物种较少,但是霸王重要值最高,为群落优势种,一年生草本碟果虫由于数量较大,在群落中占有重要地位;义粮滩白刺重要值最高,为优势种,多枝怪柳、霸王重要值次之,为群落亚优势种。对比分析不同霸王群落可知,灌木在霸王群落中占有重要地位,对群落的稳定性起关键作用,多年生草本和一年生草本在群落中也具有重要地位,但是一年生草本植物随年度降水变化数量不稳定,对群落稳定性的影响变化较大。

3.2 霸王群落中霸王的数量特征

不同分布区域霸王密度及生长量指标也不相同(表 4)。从群落密度来看,石榴井密度最大,为145.85 株/亩,五托井为 80.04 株/亩,其余 3 个点均为零星分布点,密度在 1 050 株/hm² 以下。从生长量指标来看,小井滩霸王无论是单数高度,冠幅、还是新梢生长量均为最大,其次为义粮滩,其余 3 个点均较小。从分盖度和占总盖度比例来看,小井滩霸王分盖度及占总盖度比例均为最大,义粮滩最小,其他3个点分盖度

差异较小。霸王所处的生长环境决定了霸王的密度、生长状况,分布于小井滩和义粮滩的霸王群落生长在固定半固定沙丘上,水分利用率高,霸王长势旺盛,生长量也大,但是群落建群种为白刺,霸王数量稀少,分盖度较低,而其他 3 个分布点霸王均生长在砾质戈壁上,数量较多,但是由于物种较多,对水分竞争激烈,加上砾质地不利于水分保存,导致霸王长势相对较差。

表 3 不同霸王群落优势种重要值

样地号	种名	相对频 度/%	相对盖 度/%	相对多 度/%	重要值
1	霸 王	10.32	42.67	0.67	53.67
	沙 蒿	6.48	18.59	24.17	49.24
	白 刺	7.43	28.60	0.95	36.99
	碟果虫实	8.89	0.02	31.70	40.61
2	霸 王	12.42	28.49	2.43	43.35
	猫头刺	12.42	12.57	17.10	42.10
	骆驼蒿	9.00	4.56	12.11	25.67
	戈壁针茅	12.42	25.32	28.15	65.89
3	霸 王	6.25	23.85	1.31	31.40
	泡泡刺	10.42	38.45	9.38	58.24
	红 砂	10.42	16.17	11.22	37.81
	骆驼蹄瓣	10.42	2.74	41.62	54.78
4	霸 王	17.24	52.8	2.08	72.12
	红 砂	6.90	7.44	2.33	16.66
	黄花补血草	10.34	3.28	5.06	18.68
	碟果虫实	17.24	17.26	83.34	117.84
5	霸 王	4.23	22.12	1.11	26.35
	白 刺	12.50	42.50	12.50	62.12
	多枝怪柳	24.10	12.56	1.12	35.29
	五星蒿	12.50	8.96	3.12	24.58

表 4 不同分布区霸王数量特征

地点	密度/(株·hm ⁻²)	高度/cm	冠幅/cm ²	新梢长度/cm	分盖度/%	占总盖度比例/%
五托井	1200	41.70	5293.94	9.65	6.28	42.67
石榴井	2188	35.75	3093.77	6.91	6.41	28.49
红砂岗	960	19.44	3097.88	11.15	4.34	23.85
小井滩	1040	111.96	27201.79	19.78	22.75	52.80
义粮滩	100	72.00	10205.00	16.02	1.02	4.59

3.3 霸王群落生物多样性特征

不同霸王群落生物多样性特征见图 1。从物种丰富度来看,五托井物种最丰富,为 19 种,红砂岗次之,为 17 种,石榴井第三,为 17 种,红砂岗和义粮滩较少,分别为 12 种和 6 种,表明土壤质地对群落丰富度产生了较大的影响,砾质地上的物种相对较为丰富。红砂岗和石榴井霸王群落物种丰富度、多样性指数高,群落相对稳定,优势种不明显,而小井滩和义粮

滩多样性指数较低,霸王群落优势度较高,群落稳定性较差。群落优势度与多样性指数则相反,种间相遇率和群落均匀度规律相似。群落结构越简单,物种越少,则多样性指数低,种间相遇率低,而生态优势度高,表明群落物种分布不均匀,群落物种组成越单一,群落结构向单一的优势种群或建群种群发展,同时也将对群落的稳定性产生一定的影响。

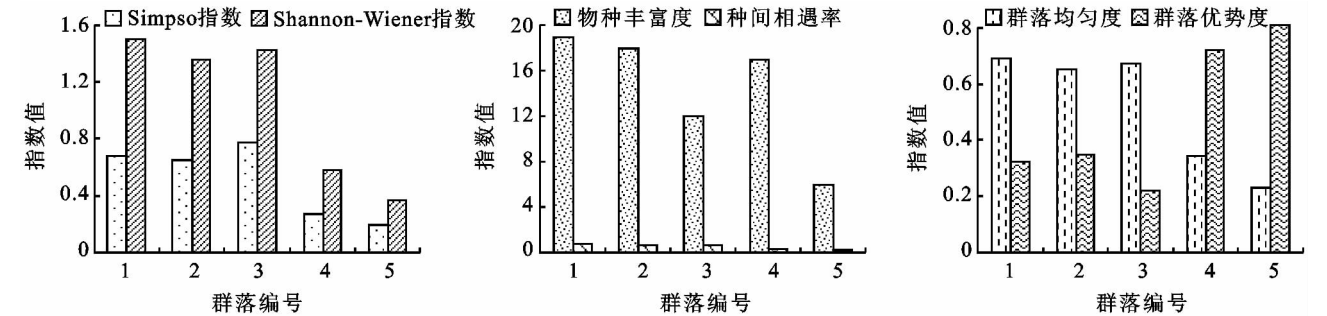


图 1 不同分布区霸王群落物种多样性特征

3.4 霸王种群分布格局

五托井和石榴井霸王种群呈均匀分布,红砂岗、小井滩、义粮滩霸王种群呈集群分布。五托井和石榴井是霸王集中分布区域,也是群落优势种,霸王种群呈均匀分布,而其余 3 个群落霸王为伴生种,呈零散分布,决定了霸王种群的分布格局呈集群分布(表 5)。

表 5 不同霸王群落分布格局

地点	五托井	石榴井	红砂岗	小井滩	义粮滩
均数	1.7	8.7	6.3	4.8	8.3
方差	3.8	9.2	2.4	2.6	3.2
V/m	0.5	0.9	2.6	1.9	2.6
分布格局	均匀分布	均匀分布	集群分布	集群分布	集群分布

4 讨论与结论

民勤霸王草地群落结构简单,物种相对单一,所调查群落中共有植物种 39 种,分属 13 科 32 属,菊科最多,为 7 属 9 种、藜科次之,为 7 属 8 种。单科单属种较多,占到了总科数的一半。表明民勤霸王群落物种类型单一,科属组成分散。在干旱荒漠区植物群落中,结构简单,物种单一,没有乔木层和高大灌木层,以矮小的灌木层或多年生草本为优势种,群落优势种和建群种占主导地位,且年度差异较小,因此灌木层和多年生草本层为群落稳定层片;而一年生草本层种类和数量随年份降水有较大的变化,为群落不稳定层片。

民勤霸王主要分布在两种立地条件中,即流动半流动沙丘风沙土和砂砾质地,在流动半流动沙丘上,霸王分布零散,为群落亚优势种或伴生种;在砾质地上霸王密度相对大,是群落优势种。在流动半流动沙丘上,土壤水分利用率高,有利于霸王生长,因此霸王生长高度、新梢生长量、冠幅都较大;而在砾质地上霸王分布密集,生长、冠幅等生长指标明显小于流动半流动沙丘。其主要原因是在流动沙丘中霸王的水分利用率高,而且植物种类少,密度小,对水分养分竞争不激烈,有利于霸王生长;在砾质地上植物种类多,密度大,对水分竞争激烈,不利于霸王生长。

研究区样地中霸王种群的多样性指数也较高,且多样性指数与物种丰富度指数呈相同的规律,而生态优势度则相反,物种多样性指数越高,优势种越不明显。在砾质地上生长的霸王群落物种相对丰富,多样性指数高,群落稳定性好,群落优势度较低;而在固定半固定沙丘上生长的霸王群落组成物种单一,结构简单,多样性指数较低,生态优势度较高,群落稳定性较差。在调查的 3 个砾质土壤样地中,物种丰富度达到了 17 种以上,而流动半流动沙丘在 12 种以下。在干旱荒漠区,降水对一年生植物数量影响较大,一年生植物数量对不同生活型植物所占比例及群落物种多样性影响较大。李昌龙等^[17]研究了民勤连古城自然保护区优势种群结构,认为草本层在物种数量和植物数量方面占有绝对优势,迫使灌木植物数量在群落中所占比例下降,这与本研究结果相似。其次霸王群落物种丰富度与多样性指数与霸王生长条件有密切关系,结构复杂的群落较其他群落的多样性指数高^[18]。

参考文献:

[1] 谢晋阳,陈灵芝.暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征[J].生态学报,1994,14(4):334-337.

[2] 董希斌,姜帆.帽儿山不同森林类型生物多样性恢复效果分析[J].林业科学,2008,44(12):77-82.

[3] 黄忠良,孔国辉,何道泉.鼎湖山植物群落多样性的研究[J].生态学报,2000,20(2):193-198.

[4] 张丽霞,张峰,上官铁梁.芦芽山植物群落的多样性研究[J].生物多样性,2000,8(4):361-369.

[5] 刘振学,任广鑫,康冰,等.辛家山不同坡向次生林群落物种多样性研究[J].水土保持研究,2011,18(4):197-202.

[6] 何云核,叶海宾.安徽休宁县森林植物群落物种多样性分析[J].西北林学院学报,2001,16(1):9-11.

[7] 陈廷贵,张金屯.山西关帝山神尾沟植物群落物种多样性与环境关系的研究[J].应用与环境生物学报,2000,6(5):406-411.

[8] 冶民生,吴斌,关文彬,等.岷江上游植物群落稳定性研究[J].水土保持研究,2009,16(1):259-263.

(2) 在 0—60 cm 土层范围内,土壤非毛管孔隙度蒙古栎纯林最大,白桦纯林最小;毛管孔隙度白桦纯林最大,蒙古栎纯林最小;土壤总孔隙度白桦纯林最大,油松蒙古栎混交林最小。

(3) 土壤最大持水量白桦纯林最大,蒙古栎纯林最小;土壤毛管持水量白桦纯林最大,油松纯林最小;土壤田间持水量白桦纯林最大,蒙古栎纯林最小;土壤有效持水量油松纯林最大,落叶松纯林最小。

(4) 6 种森林类型土壤的稳渗速率的大小顺序为:油松纯林>桦木纯林>落叶松桦木混交林>油松蒙古栎混交林>蒙古栎纯林>落叶松纯林。

参考文献:

[1] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等.宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较[J].水土保持学报,2007,21(1):95-98.

[2] 赵世伟,周印东,吴金水.子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J].水土保持学报,2002,16(4):119-122.

[3] 张光灿,夏江宝,王贵霞,等.鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J].水土保持学报,2005,19(6):44-48.

[4] 李德生,张萍,张水龙,等.黄前库区经济林土壤水文效益研究[J].水土保持研究,2004,11(1):141-143.

[5] 郑郁善,郭海涛,徐凤兰,等.福建含笑杉木混交林水源涵养功能差异研究[J].福建林学院学报,1997,17(2):126-130.

[6] 王光玉.杉木混交林水源涵养和土壤性质研究[J].林业科学,2003,39(S1):15-20.

[7] 邓艳,蒋忠诚,李先琨,等.广西弄岗不同演替阶段植被群落的小气候特征[J].热带地理,2004,24(4):364-367.

[8] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地不同海拔蒙古栎林枯落物和土壤水文效应[J].水土保持学报,2011,25(4):221-226.

[9] 李军,田超,杨新兵.河北省木兰林管局典型森林类型枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2011,18(4):192-196.

[10] 李淑春,张伟,姚卫星,等.冀北山地不同林分类型林冠层降水分配研究[J].水土保持研究,2011,18(5):124-127.

[11] 潘明亮,访军,谭伟,等.贵州西部四种典型林地土壤水文特性研究[J].水土保持研究,2011,18(5):139-143.

[12] 黄进,杨会,张金池.桐庐生态公益林主要林分类型的土壤水文效应[J].生态环境学报,2009,18(3):1094-1099.

[13] 刘敏,王玉杰,赵洋毅,等.重庆缙云山水源涵养林地土壤水文效应[J].中国水土保持,2010(5):41-44.

(上接第 200 页)

[9] 李毅,屈建军,董治宝,等.中国荒漠区的生物多样性[J].水土保持研究,2008,15(4):79-81.

[10] 唐志尧,方精云.植物物种多样性的垂直分布格局[J].生物多样性,2004,12(1):20-28.

[11] 李镇清.中国东北样带(NECT)植物群落复杂性与多样性研究[J].植物学报,2000,42(9):971-978.

[12] 郭树江,徐先英,杨自辉,等.干旱荒漠区沙冬青茎干液流变化特征及其与气象因子的关系[J].西北植物学报,2011,31(5):1003-1010.

[13] 宁德年,马廷选,王天河,等.腾格里沙漠南缘荒漠霸王群落演替特征[J].草业科学,2012,29(7):1148-1152.

[14] 赵艳云,田家怡,孙景宽,等.滨州北部贝沙堤生物多样

性现状及影响因素的研究[J].水土保持研究,2010,17(2):136-140.

[15] 尉秋实,王继和,李昌龙,等.不同生境条件下沙冬青种群分布格局与特征的初步研究[J].植物生态学报,2005,29(4):591-598.

[16] 郑元润.不同方法在沙地云杉种群分布格局分析中的适用性研究[J].植物生态学报,1997,21(5):480-484.

[17] 李昌龙,王继和,孙坤,等.民勤连古城自然保护区群落结构和物种多样性特征分析[J].西北植物学报,2006,26(11):2338-2344.

[18] 谭勇,潘伯荣,段士民,等.中国沙拐枣属天然群落特征及其物种多样性研究[J].西北植物学报,2008,28(5):1049-1055.