

北京房山采石场渣土基质对高羊茅生长的影响

郭晶晶¹, 郭小平¹, 赵廷宁¹, 张成梁², 王国¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院

水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 轻工业环境保护研究所, 北京 100089)

摘 要: 针对工程渣土产生量与日俱增, 随意堆放, 破坏植被, 加剧水土流失等现状, 利用工程渣土进行人工土壤的重建, 实现工程渣土的减量化、资源化利用。以渣土粒径(A)、羊粪用量(B)、秸秆用量(C)、木炭粉用量(D)作为试验因子, 采用 4 因素 3 水平进行正交试验, 研究不同配比的渣土基材对高羊茅出苗率、生长高度及生物量的影响。结果表明, 4 因素对高羊茅出苗率、生长高度及生物量的影响程度大小顺序为: 羊粪用量(B) > 秸秆用量(C) > 渣土粒径(A) < 木炭粉用量(D)。适宜高羊茅生长的较优基质配方为 $A_1B_2C_2D_2$, 即渣土粒径为 0~10 mm, 羊粪用量为 9 g, 秸秆用量为 220 g, 木炭粉用量为 6 g。试验表明, 渣土粒径范围的增大, 抑制了高羊茅出苗及生长; 当秸秆用量处于中等水平(220 g)或羊粪用量处理于中等水平(9.0)时, 对出苗率、生长高度及生物量的影响最佳; 木炭粉用量对于出苗率、生长高度及生物量的影响不显著。

关键词: 采石场渣土; 高羊茅; 正交试验; 生长指标

中图分类号: S688.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0161-06

Effect of Quarry Waste Matrix on Growth of *Festuca arundinacea* in Beijing Fangshan

GUO Jing-jing¹, GUO Xiao-ping¹, ZHAO Ting-ning¹, ZHANG Cheng-liang², WANG guo¹

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating,

College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083,

China; 2. Environmental Protection Research Institute of Light Industry, Beijing 100089, China)

Abstract: Aimed at the present situation of the increase of the amount of the construction waste, optional stack, destroying vegetation, aggravating soil and water loss, engineering waste for the reconstruction of the artificial soil was used to realize the project of waste reduction and recycling use. In an orthogonally designed experiment of four factors, each at three levels, the effect of clinker particle diameter (factor A), dosage of ovine dung (factor B), the dosage of straw (factor C), dosage of charcoal powder (factor D) was analyzed on the follow indices (variables): rate of emergence, growth height, and biomass. The results showed that the order of importance of four factors on those indices (rate of emergence, growth height, and biomass) was: dosage of ovine dung (B), the dosage of straw(C), clinker particle diameter (A) and dosage of charcoal powder (D). The optimum disposition was the combination $A_1B_2C_2D_2$, (clinker particle diameter in 0~10 mm, dosage of ovine dung at 9 g, the dosage of straw at 220 g, dosage of charcoal powder at 6 g). The dosage which was at medium level (220 g) or the ovine dung was at medium level(9.0 g) showed a significant effect on the rate of germination and growth height. Test showed that the increase of the clinker size inhibited the emergence and growth; and the dosage of straw and ovine dung which was at medium level showed a significant effect on the rate of germination, growth height and biomasses. The dosage of charcoal powder had little influence on the rate of germination, growth height and biomass.

Key words: quarry waste; *Festuca arundinacea*; orthogonal experiment; growth index

收稿日期: 2012-10-08

修回日期: 2012-11-11

资助项目: 国家林业公益性行业科研专项项目“建设工程损毁林地植被修复关键技术研究及示范”(200904030); 北京市科学技术研究院科技创新工程项目“矿山生态修复工程技术研究及试验平台建设”

作者简介: 郭晶晶(1988—), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治方面的研究。E-mail: chengximiao@163.com

通信作者: 郭小平(1962—), 男, 河南项城人, 博士, 教授, 主要研究方向为水土保持、工程绿化。E-mail: guoxp@bjfu.edu.cn

随着国民经济的快速发展,基础设施建设蓬勃发展,工程渣土产生量与日俱增,工程渣土不仅破坏了植被,加剧了区域水土流失的发生,成了新增水土流失的重要来源^[1-2],而且其消纳问题也一直困扰着城市的发展、社会的进步。长期以来,我国工程渣土最主要的处置方式是选择低洼地、荒地进行填埋。在填埋过程中,绝大部分工程渣土采用露天堆放,不仅占用了大量的土地,加剧了我国人多地少的矛盾^[3],而且污染大气、水体、影响城市景观。可见,工程渣土不仅造成了公害,更是资源的巨大浪费。因此,如何尽快解决工程渣土资源化利用已成为当前面临的一个迫切问题。工程渣土弃土土质疏松,土壤条件差,不具备植被生长所必须的土壤环境,要将其用于绿化基材方面,就必须改良其土壤理化性状,进行人工土壤的重建^[4]。而大量的研究表明,秸秆还田可以改善土壤理化性质和 N、P、K 等营养元素的含量,还可以增加作物产量、提高作物品质^[5];施用有机肥不仅能培肥地力,而且对作物的出苗和产量均有明显的作用^[6];施用木炭粉,不仅能提高土壤温度,还能促进种子发芽,提高发芽率。工程渣土用于绿化用土,可以减少堆放量、缓解土地压力,消除堆放的安全隐患,减少水土流失。本研究通过盆栽试验对工程渣土进行人工改良,选择工程渣土、羊粪、秸秆、木炭粉 4 种材料,研究 9 种配比的工程渣土基材对高羊茅生长指标(出苗率、生长高度及生物量)的影响,筛选出最有利于高羊茅生长的渣土基材,为促进工程渣土资源化利用、缓解绿化用土压力提供科研依据。

1 试验区概况

试验区位于北京市昌平区马池口镇亭子庄村的轻工业环境保护研究所生态修复科研基地(北纬 40°10′,东经 116°08′,海拔 43 m)。该区地处温带季风区,属暖温带大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季凉爽,冬季寒冷干燥,四季分明。年平均降水量 550.3 mm,年平均日照时数 2 684 h,年平均气温 11.8℃,土壤类型以褐土为主。

2 试验材料和方法

2.1 试验草种

试验草种为适应性强、抗逆性强的爱瑞 3 号(Arid 3)高羊茅。草种选择过程:随机选取 300 粒种子,每 100 粒作为一个重复,随机选择一个重复作为一个花盆所需的草种^[7],即每个花盆播种草种 100 粒,重复 3 盆。

2.2 试验材料

工程渣土选用北京房山采石场的渣土,试验渣土经过筛分后,选用 0~10,0~15,0~20 mm 这 3 种粒径的渣土;羊粪产自北京昌平,用量为 1 800~7 500 kg/hm²,粉碎成 5 mm 左右;秸秆为玉米秸秆,产自北京昌平,2011 年取其茎秆部分,粉碎成 5 mm 左右,用量为 4~15 kg/m²;秸秆与羊粪按照试验设计进行配比后,用秸秆腐熟剂腐熟完全;木炭粉用量为 200~400 g/m²^[8]。羊粪、秸秆和木炭粉的用量按 1 m²、厚度 10 cm 施用。渣土、羊粪、秸秆、木炭粉的化学性质见表 1。

表 1 试验材料化学性质

名称	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%
渣土	0.92	0.32	0.89	10.8
羊粪	25.06	0.82	0.58	0.47
秸秆	—	1.44	0.15	1.70
木炭粉	—	—	0.56	11.47

2.3 正交试验方案

本试验选择工程渣土、羊粪、秸秆、木炭粉 4 种材料,采用 4 因素 3 水平进行正交试验。选用 L₉(3⁴) 正交表,设置 9 个不同的基质配方,每种基质配方设置 3 个重复。基质中每种粒径的渣土均为 1 kg,实验花盆直径 16 cm、高 12 cm。在各个花盆中装入 8 cm 按配比混和好的基质,依次在每盆中均匀撒播高羊茅种子,然后用相对应的基质覆盖,覆盖厚度 2 cm 左右,共 27 盆。所有花盆均浇水至饱和,在自然光下培养,试验的外界条件保持在同一水平。正交试验因素与水平表及正交试验分组表见表 2。

表 2 正交试验分组

试验号	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D
	渣土粒径/mm	羊粪/g	秸秆/g	木炭粉/g
1	0~10	4.5	110	0
2	0~10	9.0	220	6
3	0~10	13.5	330	12
4	0~15	4.5	220	12
5	0~15	9.0	330	0
6	0~15	13.5	110	6
7	0~20	4.5	330	6
8	0~20	9.0	110	12
9	0~20	13.5	220	0

2.4 试验测定内容及方法

出苗率:试验历时 16 d,每隔 1 d 定时观察并记录温度、出苗数。温度为 20~30℃,平均气温为 25℃(保证试验过程中温度没有太大的波动)。待出苗稳定后,对不同配比下高羊茅出苗量进行统计。温度采用温湿度计读数得到,出苗数的观测采用计数法。

生长高度:草种出苗稳定后,采用米尺量测法,测量其生长高度,每盆选取有代表性的5株取平均值^[9]。

地上生物量:待植物生长60 d后,采用收获法^[10]测量地上生物量。在每个花盆内,从齐地剪割^[11]后装入纸袋,带回室内在80℃恒温下经12 h烘至恒重,然后在电子天平(精度为0.01)上称取干重^[12]。

表3 不同处理出苗率正交试验结果

因素	A	B	C	D	出苗率/%			总和/%
试验号	1	1	1	1	69	71	73	213
	2	1	2	2	84	82	83	249
	3	1	3	3	78	74	79	231
	4	2	1	2	76	71	75	222
	5	2	2	3	72	73	74	219
	6	2	3	1	59	63	61	183
	7	3	1	3	77	73	72	222
	8	3	2	1	64	66	65	195
	9	3	3	2	76	71	72	219
总和	K ₁	693	657	591	651			
	K ₂	624	663	690	654			
	K ₃	636	633	672	648			
均值	k ₁	115.5	109.5	98.5	108.5			
	k ₂	104.0	110.5	115.0	109.0			
	k ₃	106.0	105.5	112.0	108.0			
极差	R	11.5	5.0	16.5	1.0			
最优组合		A ₁	B ₂	C ₂	D ₂			

从表3可以看出,4因素对出苗率影响的重要程度是:秸秆用量(C)>渣土粒径(A)>羊粪用量(B)>木炭粉用量(D);最优的处理组合为A₁B₂C₂D₂,即渣土粒径为0~10 mm,羊粪用量为9 g,秸秆用量为220 g,木炭粉用量为6 g。试验表明,秸秆用量和渣土粒径对出苗率的影响最为显著,羊粪用量对出苗率的影响一般,木炭粉的作用相对不明显。这是因为秸秆还田前期重在改善土壤的团粒结构和理化性状。秸秆在入土之后,在分解过程中进行矿质化,释放养分,同时进行腐殖质化,使一些有机质化合物形成更复杂的腐殖质,从而改善了土壤的结构及其保水、吸水、粘结、透气、保温等性状,提高了土壤自身调节水、肥、温、气的的能力,增加了土壤孔隙度,降低了土壤容重^[13-14],使土质疏松,通透性提高,利于高羊茅出苗。渣土粒径对出苗率的影响也较为显著,这是因为粒径越小其保水保肥性能越好,细粒土覆盖时种芽易萌发,利于种子发芽。

3.2 不同处理对高羊茅生长高度的影响

从表4可以看出,4因素对生长高度影响的重要

3 结果与分析

3.1 不同处理对高羊茅出苗率的影响

工程渣土、羊粪、秸秆、木炭粉对高羊茅出苗率的影响见表3。表中K_i表示第i水平下出苗率之和;k_i表示第i水平下平均出苗率;R为极差,是平均效果中最大值和最小值的差,R越大,试验效果越显著。

程度是:羊粪用量(B)=秸秆用量(C)>渣土粒径(A)>木炭粉用量(D);最优的处理组合为A₁B₂C₂D₂,即渣土粒径为0~10 mm,羊粪用量为9 g,秸秆用量为220 g,木炭粉用量为6 g。试验表明,羊粪用量和秸秆用量对生长高度的影响最为显著。羊粪是家畜粪肥中养分最浓,氮、磷、钾含量最高的优质有机肥^[15],在育苗过程中,加入适当量的羊粪是保证育苗既快又壮的好方法^[16]。经过腐熟的羊粪在高羊茅出苗期间作用不显著,但在高羊茅生长过程中羊粪逐渐发挥了作用^[17]。秸秆还田能优化作物生长环境(土壤气候、土壤水热状况,植物养分循环),而作物生长环境的优劣直接影响作物生长,所以在试验过程中施用秸秆有利于高羊茅的生长。

3.3 不同处理对高羊茅地上生物量的影响

从表5可以看出,4因素对生物量影响的重要程度是:秸秆用量(C)>渣土粒径(A)>羊粪用量(B)>木炭粉用量(D);最优的处理组合为A₂B₁C₁D₂,即渣土粒径为0~15 mm,羊粪用量为4.5 g,秸秆用量为110 g,木炭粉用量为6 g。

表4 不同处理生长高度正交试验结果

因素	A	B	C	D	生长高度/mm			总和/mm
试验号	1	1	1	1	58	61	61	180
	2	1	2	2	72	70	68	210
	3	1	3	3	59	58	57	174
	4	2	1	2	56	61	57	174
	5	2	2	3	62	57	58	177
	6	2	3	1	59	60	55	174
	7	3	1	3	57	56	58	171
	8	3	2	1	64	62	63	189
	9	3	3	2	60	65	64	189
总和	K ₁	564	525	543	546			
	K ₂	525	576	573	555			
	K ₃	549	537	522	537			
均值	k ₁	94.0	87.5	90.5	91.0			
	k ₂	87.5	96.0	95.5	92.5			
	k ₃	91.5	89.5	87.0	89.5			
极差	R	6.5	8.5	8.5	3.0			
最优组合		A ₁	B ₂	C ₂	D ₂			

表5 不同处理生物量正交试验结果

因素	A	B	C	D	生物量/g
试验号	1	1	1	1	1.68
	2	1	2	2	1.82
	3	1	3	3	0.77
	4	2	1	2	1.87
	5	2	2	3	1.06
	6	2	3	1	1.54
	7	3	1	3	0.85
	8	3	2	1	1.39
	9	3	3	2	0.64
总和	K ₁	4.27	4.40	4.61	3.38
	K ₂	4.47	4.27	4.33	4.21
	K ₃	2.88	2.95	2.68	4.03
均值	k ₁	1.42	1.47	1.54	1.13
	k ₂	1.49	1.42	1.44	1.40
	k ₃	0.96	0.98	0.89	1.34
极差	R	0.53	0.48	0.64	0.28
最优组合		A ₂	B ₁	C ₁	D ₂

试验表明,秸秆用量和渣土粒径对生物量的影响最为显著,羊粪用量对生物量的影响一般,木炭粉的作用相对不明显。因为秸秆腐熟还田能明显增加土壤有机质和氮磷钾含量,提高土壤养分总储量^[9]。在高羊茅的生长过程中,腐熟后秸秆的养分效应(提高土壤氮磷钾素养分含量及其利用率)、改土效应(增加土壤有机质含量,降低土壤容重,增加土壤孔隙度)、优化作物生长环境的效应(土壤气候,土壤水热状况)

都得到了充分的利用,秸秆还田非常有效地促进了高羊茅增产^[18]。渣土粒径适中対生物量的影响最佳。渣土粒径越小,越不利于增加土壤孔隙度;反之渣土粒径越大,越不利于保水保肥。

3.4 最优基质配方筛选

3.4.1 排队评分法 排队评分法是综合考虑各项指标优劣,排序给出评分值,并把它作为单指标进行数据分析。这种方法可先把每项指标的优秀值定为满分,视不同基质配方各指标值与其对应的优秀值的差异按比例打分,然而对不同基质配方的各项指标的分数相加即得综合评分^[19]。试验中出苗率、生长高度、生物量均为正指标,每项满分10分,最低为1分,按照此标准对各配比试样进行排队打分。从表6可以看出,各试验组中得分最高的是2号,即为A₂B₂C₂D₂:渣土粒径为0~15 mm,羊粪用量为9 g,秸秆用量为220 g,木炭粉用量为6 g。从极差分析表7可以看出,各因素的主次顺序为:羊粪用量(B)>秸秆用量(C)>渣土粒径(A)>木炭粉用量(D),较优配方为A₁B₂C₂D₂,即渣土粒径为0~10 mm,羊粪用量为9 g,秸秆用量为220 g,木炭粉用量为6 g。

3.4.2 综合平衡法 综合平衡法是对所测得的各项指标,先逐一分别按单指标计算分析,找出其因素水平的最优组合,然后根据各项指标重要性及各项指标中所得出的因素主次、水平优劣等进行综合平衡,最后确定整体最优因素水平组合^[19]。从极差分析表8可以看出,较优配方为A₁B₂C₂D₂,即渣土粒径为0~

10 mm,羊粪用量为 9 g,秸秆用量为 220 g,木炭粉用量为 6 g。

表 6 试验指标排队评分法结果

试验号	试验指标评分			
	出苗率	生长高度	生物量	综合评分
1	5.09	3.08	8.93	17.10
2	10.00	10.00	10.00	30.00
3	7.55	1.69	1.99	11.23
4	6.32	1.69	10.38	18.39
5	5.91	2.38	4.20	12.50
6	1.00	1.69	7.86	10.56
7	6.32	1.00	2.60	9.92
8	2.64	5.15	6.72	14.51
9	5.91	5.15	1.00	12.06

3.4.3 两种方法结果汇总 将上述两种方法的分析结果进行汇总可以看出,适宜高羊茅生长的较优基质配方为 A₁B₂C₂D₂,即渣土粒径为 0~10 mm,羊粪用量为 9 g,秸秆用量为 220 g,木炭粉用量为 6 g。

表 7 排队评分法极差分析结果

试验号	因素				试验指标 (综合评分)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	17.10
2	1	2	2	2	30.00
3	1	3	3	3	11.23
4	2	1	2	3	18.39
5	2	2	3	1	12.50
6	2	3	1	2	10.56
7	3	1	3	2	9.92
8	3	2	1	3	14.51
9	3	3	2	1	12.06
K ₁	58.33	45.41	42.17	41.66	
K ₂	41.45	57.01	60.45	50.48	
K ₃	36.49	33.85	33.65	44.13	
k ₁	9.72	7.57	7.03	6.94	
k ₂	6.91	9.50	10.08	8.41	
k ₃	6.08	5.64	5.61	7.36	
极差 R	2.81	3.86	3.05	1.06	
最优组合	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	

表 8 综合平衡法极差分析结果

试验指标		因素				试验指标 之和	因素主次	较优方案
		A	B	C	D			
出苗率	k ₁	115.5	109.5	98.5	108.5	1953	CABD	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂
	k ₂	104	110.5	115	109			
	k ₃	106	105.5	112	108			
	R	11.5	5	16.5	1			
生长高度	k ₁	94.0	87.5	90.5	91.0	1638	BCAD	A ₁ B ₂ C ₂ D ₂
	k ₂	87.5	96.0	95.5	92.5			
	k ₃	91.5	89.5	87.0	89.5			
	R	6.5	8.5	8.5	3.0			
生物量	k ₁	1.42	1.47	1.54	1.13	11.62	CABD	A ₂ B ₁ C ₁ D ₂
	k ₂	1.49	1.42	1.44	1.40			
	k ₃	0.96	0.98	0.89	1.34			
	R	0.53	0.48	0.64	0.28			

4 结论与建议

本研究以渣土粒径(A)、羊粪用量(B)、秸秆用量(C)、木炭粉用量(D)作为试验因子,采用 4 因素 3 水平进行正交试验,分析不同配比的渣土基材对高羊茅出苗率、生长高度及生物量的影响。

4.1 结论

(1) 应用排队评分法和综合平衡法两种方法分析了较优配方,一致得出适宜高羊茅生长的较优基质配方为 A₁B₂C₂D₂,即渣土粒径为 0~10 mm,羊粪用量为 9 g,秸秆用量为 220 g,木炭粉用量为 6 g。

(2) 不同因素对出苗率、生长高度及生物量这 3 种指标影响的重要程度为:羊粪用量(B)>秸秆用量

(C)>渣土粒径(A)>木炭粉用量(D)。通过以上分析可以得出因素 B(羊粪)是该试验的主要因素,说明在渣土改良过程中,羊粪对高羊茅生长的影响最为显著。

(3) 综合分析排队评分法和综合平衡法,2 种分析方法得出的较优配方保持一致,由此说明只要评价试验指标的原则不变,用任何一种分析方法都是可行的,较优方案的选择(特别是主要因素的水平选择)不会因为分析方法的不同而改变。

4.2 建议

(1) 本试验利用工程渣土进行人工土壤的重建,应用于绿化基材,有效地解决了工程渣土消纳问题。建议将产生的工程渣土就地利用,逐渐将其应用于绿

地植被恢复、废弃矿山修复、开发建设项目绿化现场等。

(2) 本试验只对高羊茅生长指标(出苗率、生长高度、生物量)进行了测定,配比的渣土基材的土壤理化性质仍有待于进一步的试验研究,如基质的容重、孔隙度、团粒度、养分状况等。

参考文献:

- [1] 周连兄,赵方莹,侯魏,等.公路弃渣处理及渣场生态建设技术探讨[J].中国水土保持,2010(1):57-58.
- [2] 柳小强.工程弃土土壤侵蚀人工模拟降雨试验研究[J].亚热带水土保持,2009,21(2):1-5.
- [3] 杨子江.建筑垃圾对城市环境的影响及解决途径[J].城市问题,2003(4):60-63.
- [4] 钱华,柏明娥,刘本同,等.岩质边坡绿化过程中人工土壤的重建[J].中国水土保持科学,2006,4(S1):83-86.
- [5] 甄丽莎,谷洁,高华,等.土壤水解类酶活性在玉米秸秆与肥料配合施用下的变化[J].水土保持研究,2009,16(2):257-261.
- [6] 唐小明.有机肥的保水培肥效果及对冬小麦产量的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):130-132.
- [7] 张木兰.几种牧草种子发芽方法的试验研究[J].内蒙古草业,2005,17(3):25-27.
- [8] 钱慧娟.日本的木炭生产和利用[J].国外林业,1992(2):46-49.
- [9] 王素英,樊成远.保水复合肥对草木樨发芽率及促进生长试验研究[J].内蒙古林业科技,2002(S1):4-7.
- [10] 赵串串,杨晓阳,张凤臣,等.气候变化对三江源区沙化土地植被生物量的影响[J].水土保持研究,2008,15(3):175-177.
- [11] 何京丽,珊丹,梁占岐,等.气候变化对内蒙古草甸草原植物群落特征的影响[J].水土保持研究,2009,16(5):131-134.
- [12] 张娜,梁一民.黄土丘陵区天然草地地下/地上生物量的研究[J].草业学报,2002,11(2):72-78.
- [13] 李方,张晓南.秸秆等纤维作物的综合利用进展[J].四川环境,1998,17(4):4-6.
- [14] 王静,屈克伟.秸秆还田对土壤养分和作物产量的影响[J].现代农业科技,2008,10(20):179-181.
- [15] 陈伯华,王会金.羊粪的开发与利用[J].山西农业,2001(7):21-22.
- [16] 周毅飞.不同育苗土配比对黄瓜幼苗生长的影响[J].上海蔬菜,2012(4):73-73.
- [17] 莫本田,罗天琼,韩永芬.施肥量和施肥方式对人工混播草地产草量的影响[J].草业科学,2000,17(4):13-16.
- [18] 曾木祥,王蓉芳,彭世琪,等.我国主要农区秸秆还田试验总结[J].土壤通报,2002,33(5):336-339.
- [19] 苑玉凤.正交试验结果的分析[J].统计与决策,2006(5):138.
- [3] 刘振学,任广鑫.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.
- [4] 郭其强.黄龙山不同白桦林群落结构特征研究[J].西北植物学报,2007,27(1):132-138.
- [5] 张宏星.图里河气候变化特征分析[J].内蒙古气象,2008(2):18-19.
- [6] 李长江,李雪梅.内蒙古伊图里河林业局森林资源变化浅析[J].内蒙古林业调查设计,2012,35(2):39-44.
- [7] 夏富才.长白山白桦林空间结构研究[J].西北植物学报,2011,31(2):407-412.
- [8] 刘振学,任广鑫,王得祥,等.通天河国家森林公园锐齿栎群落物种组成及群落结构研究[J].水土保持研究,2011,18(2):86-89.
- [9] 牛莉芹,程占红.五台山森林群落中物种多样性对旅游干扰的生态响应[J].水土保持研究,2012,19(4):106-111.
- [10] 张明如.内蒙古寒温带针叶林区植物多样性的评估[J].内蒙古林学院学报:自然科学版,1999,21(2):1-7.
- [11] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜.渭干河—库车河三角洲绿洲盐生植被物种多样性研究[J].水土保持研究,2010,17(6):86-89.
- [12] 杨慧.北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局[J].植物生态学报,2007,31(2):272-282.
- [13] 岳永杰.北京雾灵山植物群落结构及物种多样性特征[J].北京林业大学学报,2008,30(2):165-170.

(上接第160页)