

文章编号: 1001-1498(2008)02-0188-06

北京西部小型沙地不同演替阶段植物群落结构特征

杨志国^{1,2}, 赵秀海^{1*}, 周效明³, 侯丽英², 李玉杰³, 陈万明³

(1. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 2. 内蒙古自治区赤峰市林业研究所, 内蒙古 赤峰 024006;
3. 内蒙古自治区克什克腾旗林业局, 内蒙古 克什克腾旗 025350)

摘要:对北京西部黄羊滩流动沙地、半固定沙地和固定沙地 3 个演替阶段的植物群落进行取样分析, 结果表明, 物种丰富度随演替的进展呈增加的趋势, 每一阶段对应着不同的优势种群。藜科植物是流动沙地的先锋植物, 在植被演替早期具有不可替代的作用, 且在各阶段种类数量比较稳定; 菊科植物属于演替的过渡类群, 只是在半固定沙地阶段表现出较高的优势度; 禾本科和豆科植物呈不断增加的趋势, 成为固定沙地生态功能的主要维持者。随演替的进展, 初期占绝对优势的 1 年生植物逐渐被多年生植物替代, 沙地植被向杂草类草原方向发展, 生态系统趋于稳定。各阶段群落间的生态距离较远, 在人工植被建设时应根据沙地环境条件选择最佳植物种和配置。

关键词:小型沙地; 演替阶段; 植物群落; 结构特征; 北京西部

中图分类号: S718.54

文献标识码: A

Structure Characteristics of Plant Community in Small-sized Sand of Beijing Western at Different Successional Stages

YANG Zhi-guo^{1,2}, ZHAO Xiu-hai¹, ZHOU Xiao-ming³, HOU Li-ying², LI Yu-jie³, CHEN Wan-ming³

(1. Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Chifeng Forestry Institute, Inner Mongolia Autonomous Region, Chifeng 024006, Inner Mongolia, China; 3. Forestry Bureau of Kexigten Qi, Inner Mongolia Autonomous Region, Kexigten 025350, Inner Mongolia, China)

Abstract: Structure characteristics of plant community at 3 successional stages, namely shifting sandy land, semi-fixed sandy land and fixed sandy land were investigated in Huangyangtan of Beijing western. The results showed that species abundance increased with community succession, and there were different dominant populations at every stage. Chenopodiaceae plants were pioneer ones at shifting sand land, playing an irreplaceable role at early stage, and their species and number were relatively stable at each stage; Compositae belonged to transitional group in successional process, which exhibited a relatively high dominance only at semi-fixed sandy land; Gramineae and Legume plants presented a increasing trend, becoming main sustainer of ecological function at fixed sandy land. Along with succession, annual plants, being absolutely predominant at early stage, were replaced gradually by perennial species, sandy vegetation developing to weeds grassland, ecological system tending to be stable. Ecological distances among communities were far at different stages, so the best species and their allocations should be selected according to sandy environmental condition when artificial vegetation was constructed.

Key words: small-sized sand; succession stage; plant community; structure characteristics; Beijing western

北京近年频发的沙尘暴对其构建和谐社会和国 际声誉产生了负面影响^[1]。源于浑善达克沙地边缘

收稿日期: 2007-12-07

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD03A0804)资助

作者简介: 杨志国(1964—),男,内蒙古克什克腾旗人,副研究员,博士后, E-mail: yzg509@126.com

*通讯作者: E-mail: bfuz@163.com

的沙尘暴途经北京周边地区后得到明显加强,这与北京西部小型沙地等分散尘源有关^[2-4]。位于北京西北部的宣化县黄羊滩沙地,是内蒙古风沙入侵北京的入口之一,对北京沙尘天气亦有一定贡献^[5]。

恢复植被是防止沙尘暴源区沙尘释放与扩散的基本措施^[6]。在流动沙地植被恢复过程中,恢复方法和物种选择是植被恢复与重建的关键^[7]。已有的研究表明,我国北方地区大规模的土地沙漠化和植被退化主要是人类不合理的经济活动所致^[8]。在我国北方气候条件相对较好的地区(半干旱或半湿润地区),当排除或减轻人为干扰后,大部分退化、沙化植被都会趋于自然恢复,有时这一恢复进程会很快^[9]。北京西部小型沙地地处半干旱向半湿润地区的过渡地带,周围存在草地等天然种源,封育后充分利用植被的自然恢复机制,可快捷、高效地固定流沙,对建立京津地区的绿色生态屏障具有重要意义。

1 研究地概况

地处北京西北部的黄羊滩沙地,距北京直线距离只有 138 km,平均海拔 1 144 m,地处 115°23'4"~115°12'30" E,40°25'12"~40°32'6" N,总面积 9 733.2 hm²,该沙地位于半湿润区向半干旱区的过渡地带,是华北到蒙新区的过渡气候类型,年均温 7.6℃。年均降水量 361 mm,年平均风速 2~4 m·s⁻¹,8级以上大风天数 37~40 d,冬季受蒙古高压气流控制,多西北风,夏季受太平洋气流影响,多西南风。黄羊滩沙地曾是唐代沙陀国李晋王的牧马场,以疏林草原著称。直至百年前滩内仍然是固定沙地,牧草繁茂。近百年来由于过垦、樵采及过牧等人因素的影响,导致植被严重退化,至 1999 年已形成以流动沙地为主的景观格局,流动沙地占总面积的 37.5%。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

本研究采用空间替代时间的方法,调查该地区封育 1 a、6 a 和 26 a 后的 3 个典型群落的植被恢复状况,3 个群落彼此相邻、小地形和生境条件基本一致,封育前均为流动沙地,从植被盖度、风沙活动特点和景观类型上综合判断,分别处于流动沙地、半固定沙地和固定沙地阶段,其植被总盖度分别为 8.7%、24.3% 和 58.6%,原始档案表明其围封历史清楚,封育期间不受放牧和人为因素的影响。在全面踏查的基础上,在每个群落类型上布设互相平行

的 3 条样带,样带间距 100 m,样带长 300 m,样带上每隔 10 m 取样方 1 个,样方规格 1 m × 1 m,每个群落类型取样方 90 个,共取样 270 个。样方中调查各植物种的密度、高度和盖度。

2.2 分析方法

(1)重要值 (N) = (相对密度 + 相对高度 + 相对盖度) / 3

(2)植物多样性指数 (SW) = $3.3219 (\log N - (1/N) \sum n_i \log n_i)$; 式中 SW 是 Shannon-Wiener 多样性指数, N 为物种总个体数, n_i 为物种 i 的个体数。其中 n_i 用物种重要值代替^[10]。

(3)群落生态优势度 (SN) = $n_i (n_i - 1) / N (N - 1)$; 式中 SN 为群落生态优势度; n_i 和 N 的含义同上式。

(4)群落均匀度 (PW) = $(\log N - (1/N) \sum n_i \log n_i) / \{ \log N - (1/N) [(s-1) \log (s-1) + (1) \log (1)] \}$; 式中 s 为群落中的物种数, N 和 n_i 的含义同上,是 N 被 s 整除以后的余数 ($0 < n$), $= (N -) / s$ ^[10]。

(5)群落相似性系数 (C) = $Z_j / (a + b)$; 式中 Z_j 为两个群落的共有种在各群落中重要值总和, a 和 b 分别是两个群落中所有种重要值总和^[10]。

3 结果与分析

3.1 沙地植被恢复系列上群落物种组成及其优势度的变化

沙漠化过程中植被演替是植物群落组成、结构、功能变化与沙地生境水热条件、养分状况、紧实度等理化性质变化相互作用和相互反馈的结果^[11]。沙区植被演替阶段往往和土地沙漠化程度互为关联^[12],沙地植被的动态变化既遵循植被演替的一般规律,又有其特殊规律^[13]。

流动沙地既是沙漠化过程中植被退化的极点,同时也是沙漠化逆转过程中植被恢复的起点^[14]。限制流动沙地植被恢复的因素主要有两点:一是沙土基质的不稳定性干燥多风的耦合使得大部分植物繁殖体难以入侵定居;二是极低的土壤含水量难以维持植被的正常生长发育^[15]。尽管如此,某些植物还是能够依靠其特殊的适应机制于适当的时机(雨热同季的季节),在流动沙地上成功侵入并定居。沙米是黄羊滩流动沙地优势度最大的先锋植物,首先其小而扁平的种子更容易滞留于沙土中,胚根能以数倍于地上部分的生长速度固结于土壤中;其次沙米是一种寡养型植物,可在流动沙地上密集

生长。据测定,黄羊滩流动沙地沙米群落的生物量可达 $39.8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,同时沙米群落具有较高的空间变异程度,其变异系数达 1.235,说明群落空间分布的斑块化程度较高,可有效发挥群体抵御不良环境条件的作用,所以沙米以其特殊的生理生态特征成为流动沙地优势度最大的先锋植物。同理,星毛刺星藜等沙地先锋植物也能依靠其特殊的适应机制在流动沙地成功定居。

从表 1 可看出黄羊滩沙地植被恢复进程中物种丰富度和优势度的动态变化过程。封育第 1 年植物种只有 6 种,优势度排前 3 位的依次是沙米、星毛刺星藜和金狗尾草,优势度分别为 50.16、22.06、17.97,其优势度总和占群落总优势度的 90.19%。随着先锋植物在流动沙地盖度的增加,使沙地环境条件发生改变。一是风蚀减少,土壤基质的稳定性

增加;二是细土物质的沉降机会增多以及有机质的积累,沙土水分和养分状况改善,为更多植物种繁殖体的散布和定居提供了条件。至半固定沙地阶段植物种数量已迅速增加到 21 种,优势度排前 3 位的分别是差巴嘎蒿、东北木蓼和无翅猪毛菜,其优势度分别为 39.24、21.22 和 14.33,优势度总和占群落总优势度的 74.79%。但随植被发育程度的提高,土壤旱化趋势加剧,沙地环境的这种改变为物种更替提供了条件,从而使不同生态特性的植物种在相异的群落环境中演变成优势种,固定沙地阶段植物种增加至 32 种,优势度排前 3 位的植物种是中华隐子草、冰草和画眉草,分别为 21.26、14.23 和 12.40,其优势度总和占群落总优势度的 47.89%。在植被恢复的不同阶段,优势种群作用明显,少数植物种贡献了大部分的群落生态功能。

表 1 沙地植被发育过程物种组成及其优势度的变化

物种	恢复阶段		
	流动沙地 (1 a)	半固定沙地 (6 a)	固定沙地 (26 a)
沙米 <i>Agriophyllum squarrosum</i> (L.) Moq	50.16	0	0
星毛刺星藜 <i>Echinopsilor divaricatum</i> (Lam.) Moq	22.06	2.47	0
金狗尾草 <i>Setaria glauca</i> (L.) Beauv	17.97	3.43	4.47
地梢皮 <i>Cynanchum thesioides</i> (Freyn) K. Schum.	3.537	0.66	1.21
软毛虫实 <i>Corispemum pubentum</i> Iljin	3.40	0.72	3.48
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i> Turcz	2.88	39.24	0
砂引草 <i>Messerschmidia sibirica</i> L.		1.05	0
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i> (Lam.) Schindl		1.14	2.28
无翅猪毛菜 <i>Salsola komarovii</i> Iljin		14.33	6.84
狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.		2.72	2.73
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i> L.		1.62	0.24
东北木蓼 <i>Atriplex manshurica</i> Kitag		21.21	0
虎尾草 <i>Chloris virgata</i> Swartz		1.43	4.84
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.		1.03	1.23
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i> Willd		1.50	0.23
苦菜 <i>Ixeris chinensis</i> (Thunb.) Nakai		0.44	0
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i> (L.) Beauv.		0.37	12.40
地肤 <i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad		1.11	1.33
短梗胡枝子 <i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq		0.99	1.83
兴安天门冬 <i>Asparagus dauricus</i> Fisch. ex Link		0.45	0.87
赖草 <i>Leymus secalinus</i> (Georgi) Tzvel		3.04	2.89
黄蒿 <i>Artemisia annua</i> L.		1.04	1.01
紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i> Linn			1.62
茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i> Thunb			1.47
冰草 <i>Agropyron cristatum</i> (Linn.) Gaertn			14.23
二色棘豆 <i>Oxytropis bicolor</i> Bunge			0.69
芦苇 <i>Phragmites communis</i> Trin			0.62
扁扁豆 <i>Melissitus nuthenicus</i> (L.) C. W. Chang			0.39
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i> L.			3.90
华北驼绒藜 <i>Ceratoides arborescens</i> (Losinsk.) Tsien et C. C. M			1.94
白草 <i>Pennisetum centrasiatum</i> Tzvel			2.87
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i> Willd			0.67
砂蓝刺头 <i>Echinops gnolinii</i> Turcz			0.94
狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i> Bunge			0.30
展枝唐松草 <i>Thalictum squarrosum</i> Steph. ex Willd			0.42
砂韭 <i>Allium bidentatum</i> Fisch. ex Prokn			0.27
防风 <i>Saposhnikovia divaricata</i> (Turcz.) Schischk			0.15
中华隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i> (Maxim.) Keng			21.26

3.2 沙地植被恢复系列上物种生活型的变化

在沙地植被演替进程中不断发生的物种更替现象,导致不同演替阶段物种生活型结构也随之发生相应的改变(见表 2)。流动沙地阶段 1 年生草本种数占总种数的 83.33%,优势度占总优势度的 97.12%,表明 1 年生草本植物是流动沙地生态功能的主要维持者,同时也说明该阶段群落的简单性和生态系统的不稳定性。随着沙地的逐渐固定和植被演替的进行,至半固定沙地阶段,植被生活型结构逐渐趋于多样化,多年生草本和小半灌木的种类不断增加,1 年生草本占总种数的比例下降至 52.38%,优势度下降至 30.45%,虽然在种类数量上多年生植物仍少于 1 年生植物,但多年生植物单种最大优势度明显超过 1 年生植物,此时,多年生植物已成为群落

生态功能的主要维持者,在推动群落环境演变和植被演替中占据主导地位,因为多年生植物具有更强的抵御外界不良环境扰动和维持种群稳定性的能力,在沙地植被演替系列上,物种生活型组成的这种变化直接反映了植被恢复进程中沙地生态系统结构与功能的变化,即群落结构组成更趋于合理,生态功能逐渐增强。至固定沙地阶段,1 年生草本的种类数量虽呈增加趋势,由半固定沙地的 11 种增加到 13 种,但 1 年生草本的优势度总和已低于多年生草本,植物种数由半固定沙地的 21 种增加到 32 种,植物单种的优势度更加趋于平均化,说明沙地植被演替向杂草类草原方向发展,沙地生态系统更加趋于平衡和稳定。

表 2 沙地植被恢复系列上群落种类组成的生活型结构的变化

演替时间 /a	1 年生草本		2 年生草本		多年生草本		半灌木		灌木	
	种数	优势度 /%	种数	优势度 /%	种数	优势度 /%	种数	优势度 /%	种数	优势度 /%
1	5	97.12					1	2.88		
6	11	30.45	1	1.04	5	6.6	2	60.45	2	2.13
26	13	44.07	1	1.01	15	48.29			3	6.05

3.3 沙地植被恢复系列上物种科属组成的变化

不同科属组成的植物不仅体现在形态特征上的区别,而且对环境的适应性和生态属性上差异明显。由表 3 可以看出,在植被恢复序列中,植物种类不断增加,而这些植物种分属于不同的科属,植物种组成逐渐趋于多样化和复杂化。藜科(Chenopodiaceae)植物在沙地不同演替阶段的数量较为稳定,尤其是在流动沙地占有较高的优势度,说明藜科植物对流动沙地早期严酷的自然环境具有较强的适应能力,对沙地植被恢复和演替具有重要作用。菊科(Compositae)植物在演替早期种类数量较少,但至半固定沙地阶段已增加到 3 种,总优势度达到 40.29%,到

固定沙地阶段优势度又下降到 3.16%,说明菊科植物在沙地植被演替系列中属过渡植物类群。禾本科(Gramineae)植物在演替初期优势度并不明显,而且从流动沙地到半固定沙地其单种优势度略呈下降趋势,但到固定沙地阶段,禾本科植物占有最大的优势度,其优势度总和达到 64.80%,成为沙地植物群落的主体和生态功能的主导者。豆科(Leguminosae)植物在演替序列中从无到有,从少到多,优势度逐渐增加。禾本科和豆科植物的增加进一步说明到固定沙地阶段,沙地植被草原化趋势加强,生态系统更加稳定。

表 3 沙地植被恢复系列上群落种类组成的分科结构变化

演替时间 /a	总属数	总科数	藜科			菊科			禾本科			豆科		
			属数	种数	优势度 /%	属数	种数	优势度 /%	属数	种数	优势度 /%	属数	种数	优势度 /%
1	6	4	3	3	75.62	1	1	2.88	1	1	17.97	-	-	
6	17	9	4	4	18.63	2	3	40.29	4	5	11.64	1	2	2.13
26	27	11	3	3	10.59	2	3	3.16	9	10	64.80	4	5	7.11

3.4 沙地植被恢复系列上物种多样性的变化

沙地植被演替是内因与外因长期共同作用的结果^[16],全面衡量沙地物种多样性需从物种丰富度、均匀度和生态优势度 3 个方面进行比较,它们从不

同的角度反映了群落物种组成的结构水平,且三者具有一定的联系^[17]。从表 4 可以看出,物种多样性呈持续增加状态。

表 4 沙地植被恢复系列上群落的物种丰富度、生态优势度与均匀度的变化

项目	流动沙丘 (1 a)	半固定沙地 (6 a)	固定沙地 (26 a)
物种丰富度	6	21	32
物种香农指数	1.31	2.16	2.62
生态优势度	0.37	0.18	0.09
均匀度	0.44	0.63	0.79

流动沙地先锋植物沙米群落是沙地植被演替的起点,此时物种丰富度和多样性最低,到半固定沙地阶段时,密集型克隆植物差巴嘎蒿和东北木蓼具有较高的生态优势度,其对沙地严酷生态环境较强的适应能力和繁殖特性,使其与其他物种竞争中处于有利地位,它们的存在可能限制了部分植物的侵入和定居,但也促进了部分植物的侵入和定居,总体上说,物种多样性呈增加趋势。到固定沙地阶段,随着差巴嘎蒿和东北木蓼的衰退及沙地环境的进一步改变,适应新的环境条件的物种大量侵入,群落多样性进一步提高,达到植被恢复系列上的最高值。在我国北方沙漠化地区,由于人类干扰程度的不同,存在着多种多样的生境条件,从而形成不同类别、不同演替阶段的群落,栖息着不同的生物类群及其遗传多样性,可为沙地退化生态系统恢复和重建措施的物种选择提供基础。在黄洋滩沙地植被演替系列上,与物种多样性的变化相对应,群落生态优势度随植被进展演替的进行而逐渐下降。群落均匀度则与物种多样性的变化基本一致,从流动沙地到固定沙地一直呈上升的趋势。由此可知,在黄洋滩沙地 26 a 生态系统的自然恢复过程中,从流动沙地到半固定沙地,再到固定沙地,植被作为沙漠化逆转过程中最明显的景观标志,植物群落的物种多样性和均匀度均随演替的进展而升高,群落生态优势度则随演替进展而下降,充分说明随着演替的进展,沙地植物群落的组成和结构趋于均匀和稳定。

3.5 沙地植被恢复系列上群落相似性系数分析

黄洋滩流动沙地封育后,植被发育过程存在着流动沙地、半固定沙地和固定沙地 3 个明显的演替阶段,所对应的 3 个典型群落间的相似性系数均不超过 0.5000 (见表 5),且演替时间越长,群落间的相似性系数越低,群落间的生态距离越远,表明在植被演替过程中,存在着明显的物种更替现象,植物种组成、物种丰富度、生活型结构和优势科(属)在不断变化。

表 5 沙地植被恢复系列上群落的相似性系数

演替时间 /a	流动沙地	半固定沙地	固定沙地
1	1	0.4818	0.1703
6		1	0.4317
26			1

4 小结

(1) 流动沙地是黄羊滩地区植被退化的极点,沙米等沙地先锋植物依靠其特殊的适应机制在流动沙地侵入、定居,随着植被盖度的增加,土壤基质的稳定性和土壤肥力不断提高,物种丰富度从流动沙地到半固定沙地、再到固定沙地呈递增趋势。物种间的竞争随之加剧,其结果是不断出现物种更替现象,成为植被恢复过程的核心。在植被演替的不同阶段对应着由其生态特性决定的优势种群,流动沙地阶段是沙米、星毛刺星藜和金狗尾草,半固定沙地阶段是差巴嘎蒿、东北木蓼和无翅猪毛菜,固定沙地阶段是中华隐子草、冰草和画眉草。

(2) 在黄羊滩沙地植被恢复进程中,藜科植物作为流动沙地的先锋植物在演替的各个阶段数量比较稳定,优势度随演替的进展呈下降趋势。菊科植物属沙地植被演替的过渡类型,只是在半固定沙地阶段具有较高的优势度。禾本科和豆科植物种群数量和优势度在植被演替进程中均呈增加趋势。流动沙地阶段 1 年生草本占绝对优势,随着演替的进行,生活型组成趋于多样化,致使群落生态优势度逐渐减小,物种多样性和均匀度增加,群落的组成结构趋向均匀和稳定,沙地生态系统结构和功能逐渐增强。

(3) 在黄羊滩沙地植被演替进程中,各个阶段对应着与沙漠化程度密切相关的群落类型,各群落类型间生态距离较大。由此可知,在京津风沙源治理工程中应根据环境条件、植物种特性和二者之间的关系选择植物种和最佳配置,人为因素应建立在促进天然植被演替进程的基础之上,才能起到事半功倍的效果。

参考文献:

- [1] 吴波,李晓松,刘文,等.京津风沙源工程区沙漠化防治区划与治理对策研究[J].林业科学,2006,42(10):65-70
- [2] 史培军,严平,袁艺,等.中国北方风沙活动的驱动力分析[J].第四纪研究,2001,21(1):41-47
- [3] 李君,谭利华,邱维理,等.黄羊滩沙地的形成及其对北京沙尘暴天气的影响[J].北京师范大学学报(自然科学版),2002,38(2):289-274

- [4] 李令军. 北京沙尘天气污染利弊的个例分析 [J]. 地学前缘, 2002, 9 (2): 5
- [5] 肖嗣荣. 河北省沙尘暴时空分布特征及其防治对策研究 [J]. 地理学与国土研究, 2000 (3): 21 - 26
- [6] 王树力, 刘玉山. 赤峰市流动沙地植物沙障治理模式的研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (4): 144 - 147
- [7] 张瑞麟, 刘果厚, 崔秀萍. 浑善达克沙地黄柳活沙障防风固沙效益的研究 [J]. 中国沙漠, 2006, 26 (5): 717 - 721
- [8] 王继和, 马全林, 杨自辉, 等. 干旱区沙漠化土地逆转植被的时空格局及其机制研究 [J]. 中国沙漠, 2004, 24 (6): 729 - 733
- [9] 王 涛. 中国沙漠与沙漠化 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003
- [10] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: 多样性的测度方法 (下) [J]. 生物多样性, 1994, 2 (4): 231 - 239
- [11] 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 (增刊): 7 - 14
- [12] 赵哈林, 苏永中, 周瑞莲. 我国北方沙区退化植被的恢复机理 [J]. 中国沙漠, 2006, 26 (3): 323 - 328
- [13] 李胜利, 赵爱芬, 常学礼. 科尔沁沙地植被演替的几个问题 [J]. 中国沙漠, 1997, 17 (增刊 2): 25 - 32
- [14] 姚洪林, 阎德仁, 杨文斌, 等. 内蒙古沙漠化与植被演替规律的研究 [J]. 内蒙古林业科技, 2001 (4): 7 - 12
- [15] 吴 薇, 王熙章. 毛乌素沙地沙漠化的遥感监测 [J]. 中国沙漠, 1997, 17 (4): 415 - 420
- [16] 蔡道雄, 卢立华, 贾宏炎, 等. 封山育林对杉木人工林林下植物多样性恢复的影响 [J]. 林业科学研究, 2007, 20 (3): 319 - 327
- [17] 熊有强, 盛炜彤, 曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究 [J]. 林业科学研究, 1995, 8 (4): 408 - 412

www.cnki.net