

干旱荒漠区封育沙地植被群落特征变化研究

王燕, 王辉, 李永兵, 王婷婷

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以天然植被围栏封育和人工种植 + 围栏封育措施下沙地植物群落为对象, 以无封护的流动沙地做对照, 研究了不同恢复措施对沙地群落物种组成及结构变化的影响。结果表明, (1) 封育 15 a 后, 人工种植 + 围栏封育区侵入物种的丰富度随演替的进展已达 12 种, 其中猪毛菜 7.562 株/m², 碟果虫实 3.233 株/m², 雾冰藜 3.017 株/m², 沙米 1.615 株/m², 狗尾草 1.112 株/m²。种类组成及生活型结构在向天然植被围栏封育区植物群落靠近, 但两者间仍表现出较大差异。(2) 在类型组成上, 两种封育措施区差异主要表现在优势科及各科种类数量上。(3) 在综合多样性特征上, 两种措施区草被层的 Shannon 指数和丰富度指数存在显著差异, 而其余各指数两者差异均不显著, 但天然植被围栏封育区灌木层的生态优势度指数较高。(4) 群落的相似性指数表明, 两种封育措施间的植物群落差距较大, 且 2 种封育措施下的植物群落与植被呈零星状分布的无封护措施的流动沙地相比, 生态差距均十分显著, 这表明封育可明显促进沙地植被的多样性恢复, 其中人工种植对沙地植物群落物种多样性恢复的作用是相对缓慢而渐进的。

关键词: 干旱荒漠区; 封育沙地; 恢复机制; 群落特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0040-05

中图分类号: S714.7

Characteristics of Vegetation Community of Fencing Sandy Land in Arid Desert Area

WANG Yan, WANG Hui, LI Yong-bin, WANG Ting-ting

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Structure characteristics of plant community with two restoration measures, namely natural vegetation enclosure and artificial cultivation + enclosure, were investigated in southern margin of Tengger Desert. Moving sandy land without enclosure was taken as the control. Results showed that the invade species richness of artificial cultivation + enclosure increased to 12 species after 15 year enclosure, in which density of *Artemisia scoparia* was 7.6 plants/m²; *Corispermum patelliforme*, 3.2 plants/m²; *Bassia dasphylla* 3.0 plants/m²; *Agriphyllum squarrosum*, 1.6 plants/m²; and *Setaria viridis*, 1.1 plants/m². The species composition and life forms were closed to natural vegetation enclosure, but the differences still existed. In families and genera compositions, the differences of the two measures were dominant family and the species numbers of each family. In species diversity, Shannon index and richness index of natural vegetation enclosure was significantly different compared with artificial cultivation + enclosure, except the other indexes. In shrub layer, ecological dominance index of natural vegetation enclosure was higher than artificial cultivation + enclosure. The similarity index indicates that ecological distance between artificial cultivation + enclosure and natural vegetation enclosure was still far and ecological distances between the two restoration measures and moving sandyland + non-enclosure of vegetation sprinkling distribution were significantly far. In conclusion, enclosure can significantly promote the diversity restoration of sandy land vegetation and the effects of cultivation on restoration of species diversity on sandy land is relatively slow and gradual.

Keywords: arid desert area; fencing sandy land; restoration mechanism; community characteristic

封沙育林草作为沙化区一种主要的生态系统恢复和重建的措施已为许多国家所广泛采用^[1-2]。有研究表明, 干旱区沙化草地生态系统的波动是由降水、干旱等因素造成的, 只要降水充足, 植被恢复很快。

收稿日期: 2008-11-28

修回日期: 2009-04-01

资助项目: 中国/全球环境基金项目“干埋生态系统土地退化防治伙伴关系(GEF/OP12)”中土地退化防治综合生态系统管理项目“干旱区绿洲综合生态系统管理耦合技术研究”

作者简介: 王燕(1983—), 女(汉族), 甘肃省环县人, 在读硕士研究生, 从事荒漠化防治方面的研究工作。E-mail: wang00yan@yahoo.com.cn。

通信作者: 王辉(1959—), 女(汉族), 甘肃省武威市人, 博士, 教授, 主要研究方向为林业生态工程、荒漠化防治。E-mail: wangh@gsau.edu.cn。

因此认为,干旱区沙化草地可在丰水年际进行放牧利用,从而减少对草地资源的浪费^[3-5]。目前国内已开展了有关封育措施对沙化草地植被恢复影响方面的研究,提出封育措施可以显著提高沙化草场(地)的生产力^[6]。然而有关不同恢复机制对沙地植被的影响主要集中于不同封育时间(完全、季节封育)、封育最佳年限及不同措施(灌溉、施肥)等方面的研究^[6-9]。本文选择了腾格里沙漠东南边缘的天然植被围栏封育和人工种植+围栏封育2种封育沙地类型进行比较研究,以揭示不同封育恢复措施下的群落特征间的差异,从而为制定科学合理的沙化草地管理体系提供理论参考。

1 研究区概况

研究区位于腾格里沙漠南缘,地属甘肃省景泰县,地理位置在 $103^{\circ}33' - 104^{\circ}43'$,北纬 $36^{\circ}43' - 37^{\circ}38'$ 之间,地处季风区与非季风区过渡地带,属温带干旱荒漠气候区。主要气候特征为:光热资源丰富,日照充足,降水稀少,蒸发强烈,风沙活动频繁;年平均气温 8.2°C ,极端最高气温 36.6°C ,极端最低气温 -27.3°C ,日照时数 $2\,725.7\text{ h}$,无霜期 192 d ,年均降水量 184.8 mm ,且主要集中在7—9月,年蒸发量 $3\,038.5\text{ mm}$,为降水的16倍多,年均风速 3.5 m/s ,最大风速 21.7 m/s ,年8级以上大风 27.9 d ,年沙尘暴 21.9 d ,地下水位 80 m 。土壤类型主要为洪积灰棕荒漠土和灰钙土^[10]。

在县区北部分布有相对连片的流动沙地,地表沙丘密集,土壤疏松。主要植物种有沙蒿(*Artemisia arenaria* DC.)、沙冰草(*Agropyron desertorum* (Fisch.) Schult.)等,呈零星状分布,植被盖度 $< 5\%$ 。为促进沙区植被恢复,防治风沙危害,自20世纪90年代起,该县开始对北部沙地实施封育措施。主要采用天然植被围栏封育法、人工种植+围栏封育法。其中天然植被围栏封育法是在流动沙丘区采用铁丝网围栏,完全排除家畜的采食以及人为干扰,以促进沙区自然植被的恢复;人工种植+围栏封育法则是在流动沙丘区先铺设 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的麦草方格沙障,待沙面初步稳定后,再定植旱生灌木柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)、沙蒿、花棒(*Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey.)等,并进行围栏封育,以保护和促进人工灌木林的存活和生长繁育。

2 研究方法

2.1 样地设置及调查测定方法

在天然植被围栏封育区(tw)和人工种植+围栏封

育区(rw),选择群落生长较为稳定的代表性地段,分别设置 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ 大小的3块重复样地,在每块样地中,随机布设4个 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 的灌木样方和4个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的草本样方。调查记录样地内的植物种类及群落特征,样方内各物种的个体数量、高度、盖度、基径和冠幅等。并以自然状态下的流动沙地作为对照。

2.2 分析指标及计算方法

采用群落的物种组成及其优势度、物种生活型变化、物种重要值、物种多样性、群落相似性的对比,分析研究封育措施对干旱荒漠区沙地群落特征的影响。

物种重要值计算方法^[11]:灌木植物重要值=(相对高度+相对盖度+相对密度)/3。

草本植物重要值=(相对高度+相对盖度+相对多度+相对频度)/4。

群落物种多样性的测定选用 Simpson 多样性指数、Shannon 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Patrick 丰富度指数和 Simpson 优势度指数为参数指标,以物种重要值为运算单位进行计算^[11]。

群落相似性测度选用 Jaccard 样方相似性指数、Sorenson 样方相似性指数和 Morisita—Horn 样方相似性指数进行计算^[12]。

2种封育类型区群落特征指数间的差异采用 ANOVA 方差分析检验法,数据分析采用 SPSS13.0 来完成。

3 结果分析

3.1 不同恢复机制下沙地植被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^[13]。沙区植被演替阶段往往和土地沙漠化程度互为关联^[14],不同生境条件和恢复措施下的沙地植被,其动态变化既遵循植被演替的一般规律,又有其特殊规律^[15]。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^[16]。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^[17]。人工种植+围栏封育区沙地在建植灌木后,经过15a的植被演替,沙丘已基本固定,人工植物群落环境也已形成,群落积累枯枝落叶和拦截大气降尘作用逐渐增强,土壤的养分条件得到了相对改善,给其它物种的迅速侵入创造了条件。从样地普查情况来看,人工群落种类丰富度达到18种,其中

多年生草本 6 种。从优势度来看,群落内仍以沙蒿、柠条和花棒等人工建植的灌木种为优势群落,草被层侵入的物种以猪毛菜 (*Salsola collina* Pall., 7.562 株/ m^2)、碟果虫实 (*Corispermum patelliforme* Iljin., 3.233 株/ m^2)、雾滨藜 [*Bassia dasycphylla* (Fisch. et C. A. Mey.) O. Kuntze, 3.017 株/ m^2] 等一年生草本为主,伴生沙米 [*Agriphyllum squarrosus* (L.) Moq., 1.615 株/ m^2]、狗尾草 [*Setaria viridis* (L.) Beauv., 1.112 株/ m^2] 等。而在天然植被围栏封育区,经过 15 a 的植被演替后,其物种丰富度达 24 种,其中多年生草本为 11 种,占草本种类数的 61.11%。主要优势种有:沙蒿、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)、猪毛菜、雾滨藜、长芒草 (*Stipa bungeana* Trin.) 等。这表明,实施封育措施可明显促进沙地植被的多样性恢复,同时不同恢复措施下的群落物种组成又有相当大的差距。

相同的是,随植被发育程度的提高,土壤旱化趋势加剧,因此导致 2 种恢复措施下沙地植被的优势种群均作用明显,少数植物种贡献了大部分的群落生态功能。

3.2 不同恢复机制下群落物种生活型的变化

在沙地植被演替进程中,群落植物的生活型组成是群落对外界环境适应性的综合反映^[18]。在人工种植+围栏封育区沙地,随着沙丘的固定和土壤表层养分的逐渐积累,一年生植物、地面芽植物和地上芽植物已开始迅速侵入,种类已增加到 12 种。说明群落在向复杂和稳定的方向发展。从表 2 可以看出,2 种封育类型区植物群落在生活型结构上仍存在很大差异。人工种植+围栏封育区沙地侵入并成功定居的

物种主要发生在草本层,而灌木层自然侵入的物种只有一种小半灌木,优势度仅占整个灌木层优势度的 1.29%;在草被层,虽然多年生草本在种类数量上已与一年生植物持平,但从优势度来看,群落中一年生植物仍居主导地位,其种类数为 5 种,占草本总种类数的 45.5%,而优势度占整个草被层总优势度的 60.53%。而在天然植被围栏封育区,草被层一年生植物种类数仅占 38.89%,优势度只占 34.84%;在灌木层中,小半灌木与半灌木植物种类数共占 66.67%,优势度占 72.94%。这说明,天然植被围栏封育区植物群落的稳定性好于人工种植+围栏封育区的植物群落。

表 1 不同恢复机制下的植物群落优势物种
优势度(均值±标准差)

物种	天然植被围栏封育区	人工植被+围栏封育区
沙蒿	0.546 5 ±0.069 2	0.400 6 ±0.039 5
猪毛蒿	0.226 7 ±0.070 1	
猪毛菜	0.105 9 ±0.018 5	0.259 1 ±0.042 5
雾滨藜	0.100 6 ±0.013 0	0.101 4 ±0.051 0
白刺	0.220 9 ±0.071 6	0.131 6 ±0.025 4
长芒草	0.201 3 ±0.103 2	
碟果虫实		0.140 3 ±0.047 0
赖草		0.192 6 ±0.078 4
柠条		0.212 9 ±0.036 3
花棒		0.142 0 ±0.037 8
沙拐枣		0.071 0 ±0.048 8
沙木蓼		0.029 0 ±0.060 7

注: 表示人工栽植物种。

表 2 不同恢复机制下的群落类型种类组成的生活型结构差异对比

恢复措施	一年生草本		多年生草本		小半灌木		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
天然植被围栏封育区	5	60.53	6	39.47	1	1.29	1	40.06	5	58.65
人工植被+围栏封育区	7	34.84	11	65.16	1	8.76	3	66.71	2	24.53

3.3 不同恢复机制下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,而且在对环境的适应性和生态属性上差异明显。由表 3 可以看出,在人工种植+围栏封育区,随着沙丘的固定和群落的不断发育,群落内植物种组成数量逐渐增加,群落以豆科、菊科和藜科植物占优势,但其种类数量与其它科植物相差不大。而在天然植被围栏封育区,植物群落在种类数量上以菊科占显著优势,植物科属种类较人工群落丰富,但各科植物种

类数相差很大。由于不同科植物种增加的速率不同,使得两种封育措施区群落植物种结构也有所不同。总的特点是:人工种植+围栏封育区藜科、豆科植物种类数与 tw 区相差不大,基本维持在 4~5 种;禾本科植物已侵入和发育,但种类数低于 tw 区;而菊科和其它科植物在两种群落中差异较大。

3.4 不同恢复机制下物种多样性的变化

沙地植被演替是内因与外因长期共同作用的结果^[19],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^[20]。用重要值计算的多样性指数表明(表 5),人工种植+围栏封育区的植物群落经过了 15 a 的发育,草被层种的多样性指数和均匀度指数在增长,Simpson 多样性指数和均匀度指数与 tw 区差异均不显著($P > 0.05$),仅有 Shannon—Wiener 多样性指数和丰富度指数与 tw 区差异显著。由此说明人工种植+围栏封育区群落在发育过程中,群落结构逐渐复杂,系统抵御外界不良干扰的能力和稳定性在

逐渐增强;但同时可以看出,与 tw 区植物群落相比,人工种植+围栏封育区植物群落的多样性指数和均匀度仍明显较低,而 Simpson 优势度指数则较高,这说明人工种植+围栏封育区植物群落的稳定性远不及 tw 区。同时,从表 4 还可看出,天然植被围栏封育区植物群落的灌木层生态优势度指数较 rw 区群落高。这是由于随围封年限的延长,植物群落内优势种不断扩展,占据了大量的资源空间,使得一些特化种生存空间变小直至消失,从而使群落的生态优势度指数明显提高。

表 3 不同恢复机制下的群落类型种类组成的分科结构差异对比

恢复措施	总科数	总属数	藜科			菊科			禾本科			豆科			蒺藜科			其它科		
			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/%	属数	种数	优势度/%	属数	种数	优势度/%
rw	6	18	4	4	57.63	4	4	50.89	2	2	22.16	5	5	46.16	1	1	13.16	2	2	10
tw	8	20	3	3	21.18	5	8	98.04	4	4	29.04	3	4	13.97	1	1	22.09	4	4	15.68

注:rw 指人工植被+围栏封育区;tw 指天然植被围栏封育区。下同。

表 4 灌木层物种多样性指数统计分析(均值±标准差)

恢复措施	Simpson 指数	Shannon 指数	Pielou 均匀度指数	Simpson 优势度指数	Patrick 丰富度指数
rw	0.728 ±0.028a	1.469 ±0.117 72a	0.863 9 ±0.021 5a	0.272 2 ±0.028 1a	5.67 ±0.882a
tw	0.645 ±0.030a	1.181 ±0.117 68a	0.855 5 ±0.076 9a	0.355 1 ±0.029 9 a	4.33 ±0.667a

表 5 草被层物种多样性指数统计分析(均值±标准差)

恢复措施	Simpson 指数	Shannon 指数	Pielou 均匀度指数	Simpson 优势度指数	Patrick 丰富度指数
rw	0.685 ±0.040a	1.258 ±0.138b	0.897 ±0.027a	0.315 ±0.040a	4.00 ±0.577b
tw	0.728 ±0.015a	1.698 ±0.053a	0.952 ±0.019a	0.211 ±0.015a	6.67 ±0.333a

3.5 不同恢复机制下群落相似性系数分析

不同恢复措施下沙地样方相似性指数计算结果表明(表 6),天然植被围栏封育区和人工种植+围栏封育区内的样方相似性指数均大于区间的相似性指数。对人工种植+围栏封育区内的 3 种样方相似性指数进行差异检验,结果表明 3 种区内样方相似性指数间差异均不显著($P > 0.05$),范围在 0.666 7~0.796 6。各样方间属中等相似。这说明人工种植+围栏封育区随着植被发育程度的提高和沙结皮的形成,由缀块状分布的人工灌木植被所造成的土壤资源分布的空间异质性程度在逐渐减弱,人工群落渐趋于以草本植物和半灌木为优势的,与邻近自然植被的外貌特征类似的植被类型演变和恢复。但从 3 个区间相似性指数均不超过 0.5 来看,人工种植+围栏封育区距天然植被围栏封育区群落的生态距离仍较远,说明人为促进下的荒漠化逆过程将是漫长而渐进的。

表 6 不同恢复机制样方相似性指数变化分析(均值±标准差)

相似性指数	恢复措施	rw		tw	
		均值	标准差	均值	标准差
Sorenson	rw	0.796 6	±0.044 6	0.476 4	±0.038 3
	tw	0.476 4	±0.038 3	0.682 7	±0.035 1
Jaccard	rw	0.666 7	±0.063 0	0.319 4	±0.033 4
	tw	0.319 4	±0.033 4	0.520 5	±0.041 3
Morisita—Horn	rw	0.722 6	±0.087 0	0.238 1	±0.016 7
	tw	0.238 1	±0.016 7	0.875 3	±0.033 0

4 结论

(1) 实施封育措施可明显促进沙地植被的多样性恢复。主要表现在:两种封育措施下的植物群落与植被呈零星状分布的无封护措施的流动沙地相比,生态差距均十分显著。在不同的封育措施下,植物群落

的物种丰富度增加,群落结构的复杂化和生态系统稳定性的增强。

(2) 不同封育恢复措施对群落的物种组成及结构的变化有较大影响:人工种植+围栏封育区沙地在人工建植灌木后,经过 15 a 的植被演替,群落物种组成和结构在向复杂和稳定的方向发展,但与天然植被围栏封育区植物群落相比仍有相当大的差距。相同的是,由于植被发育程度的提高,土壤旱化趋势加剧,两种封育恢复措施区优势种群均作用明显,少数植物种贡献了大部分的群落生态功能。

在群落生活型结构上,人工种植+围栏封育区群落生活型结构逐趋复杂,但从侵入的物种来看,仍以一年生草本占主导地位;而天然植被围栏封育区植物群落则主要由多年生草本和半灌木、小半灌木组成。这说明,两种恢复措施区植物群落生活型结构差异显著,人工种植+围栏封育区在抵御外界不良环境扰动和维持种群稳定性方面与天然植被围栏封育区植物群落还有较大差距。

在科属组成上,人工种植+围栏封育区藜科、豆科植物种类数与天然植被围栏封育区植物群落相差不大,基本维持在 4~5 种;禾本科植物已侵入和发育,但种类数低于天然植被围栏封育区;而菊科和其它科植物在 2 种植物群落中差异较大。

(3) 在流动沙地上进行人为促进下的植被重建过程是物种多样性指数和均匀度指数不断增长而优势度指数逐渐降低的过程,也是与自然植物群落相似度不断增长的过程,即稳定性不断增长的过程。但从研究结果来看,目前的人工种植+围栏封育区与天然植被围栏封育区群落间的生态距离仍较远,其群落的演替仍处于初级阶段。说明人工种植对沙地植物群落物种多样性恢复的作用是相对缓慢而渐进的。从灌木层生态优势度和多样性指数来看,沙地植被围栏封育区的围封年限不应过长,适度的利用不仅可减少牧草资源的浪费,同时还可降低群落的生态优势度指数,使沙地的物种多样性和生产力得到增加。

[参 考 文 献]

- [1] Meissner R A, Facelli J M. Effects of sheep exclusion on the soil seed bank and annual vegetation in chenopods shrublands of south Australia[J]. *J. Arid Environ.*, 1999, 42:117-128.
- [2] Turner R M. Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran desert site[J]. *Ecology*, 1990, 7: 464-477.
- [3] Westoby M, Walker B, Noy-Meir I. Opportunistic management for rangeland not at equilibrium[J]. *Journal of Range Management*, 1989, 42:265-273.
- [4] Oba G, Stenseth N C, Lusigi W. New perspectives on sustainable grazing management in arid zones of sub-Saharan Africa[J]. *Bioscience*, 2000, 50(1): 35-51.
- [5] 达林太,阿拉腾巴格那. 草原荒漠化的反思[J]. *贵州财经学院学报*, 2005, (3): 46-50.
- [6] 杨晓晖,张克斌,侯瑞萍,等. 半干旱沙地封育草场的植被变化及其与土壤因子间的关系[J]. *生态学报*, 2005, 25(12): 3212-3219.
- [7] 杨慧清,李晓明,尕切江,等. 封育和灌溉措施对退化碱茅人工草地生长发育及其生物量季节动态的影响[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2001, 31(2): 18-19.
- [8] 李瑞,张克斌,王百田,等. 农牧交错带不同封育时间对植物特征值及多样性的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(7): 106-111.
- [9] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究[J]. *草业科学*, 2005, 22(1): 59-63.
- [10] 刘荟,满多清. 景泰北部沙区综合治理与开发利用试验示范[J]. *甘肃林业科技*, 2003, 28(4): 14-15.
- [11] 张林静,岳明,张远东,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性特征[J]. *地理科学*, 2003, 23(3): 329-334.
- [12] 马克平,刘讷然,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法:多样性的测度方法[J]. *生物多样性*, 1995, 3(1): 38-43.
- [13] 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(S): 7-14.
- [14] 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.
- [15] 李胜功,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(S2): 25-32.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 郭柯,郑度,李渤生. 喀喇昆仑山—昆仑山地区植物的生活型组成[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(1): 51-59.
- [19] 蔡道雄,卢立华,贾宏炎,等. 封山育林对杉木人工林下植被物种多样性恢复的影响[J]. *林业科学研究*, 2007, 20(3): 319-327.
- [20] 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.