

民勤地区梭梭人工林密度与林下植物多样性的关系

占玉芳, 滕玉凤, 甄伟玲, 钱万建, 穆刚

(张掖市林业科学研究院, 甘肃 张掖 734000)

摘要: [目的] 开展梭梭人工林不同密度对林下植物多样性的影响研究, 为合理经营梭梭人工林, 充分发挥其生态功能提供技术支持。[方法] 以甘肃省民勤县 5 种不同密度(1 250, 1 111, 1 000, 1 333, 1 667 株/hm²)10~15 年生梭梭人工林林下植物的重要值、丰富度指数、多样性指数、均匀度指数为指标, 对林下植物多样性随林分密度的变化规律进行分析。[结果] ① 梭梭人工林林下共有植物 16 种, 隶属于 9 科 15 属, 其中灌木层 6 科 6 属 6 种, 草本层 4 科 7 属 10 种。② 灌木层优势种随着密度变化明显, 草本层优势物种受密度影响较小。③ 林下植被多样性对密度响应具有非同步性。随着密度的增加, 呈现先增大后减少的变化规律。④ 综合评分表明, 民勤县梭梭人工林密度为 1 250 株/hm² 时林下植被多样性水平较好, 比较适合林下植被生长。[结论] 林下植被多样性指数对密度响应具有非同步性, 比较适合林下植被生长的密度为 1 250 株/hm²。

关键词: 植物多样性; 梭梭人工林; 林分密度; 甘肃省民勤县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)06-0062-06

中图分类号: Q948.15

文献参数: 占玉芳, 滕玉凤, 甄伟玲, 等. 民勤地区梭梭人工林密度与林下植物多样性的关系[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 62-67. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.010; Zhan Yufang, Teng Yufeng, Zhen Weiling, et al. Relationship between plantation density and diversity of *Haloxylon ammodendron* forest in Minqin County, Gansu Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 62-67. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.010

Relationship Between Plantation Density and Diversity of *Haloxylon Amodendron* Forest in Minqin County, Gansu Province

ZHAN Yufang, TENG Yufeng, ZHEN Weiling, QIAN Wanjian, MU Gang

(Zhangye Academy of Forestry, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: [Objective] Studying the effect of plantation density on understory plant diversity of *Haloxylon persicum*, to give support for ecological function and technical management of *Haloxylon persicum*. [Methods] Five types (1 250, 1 111, 1 000, 1 333, 1 667 plants/hm²) of 10~15 years' stand density were selected, and indices of important values, species richness, species diversity index, evenness were calculated to study the relationship between stand density and plant diversity of *Haloxylon ammodendron* plantation in Minqin County, Gansu Province. [Results] ① There were 16 vascular plants in 15 families and 9 genera of the under-growths in *Haloxylon ammodendron* forest. Among them, there were 6 families, 6 genera and 6 species in shrub layer, and 4 families, 7 genera and 10 species in herb layer. ② The dominant species of shrub layer changed obviously with the variation of plantation density, while the dominant species of herb layer were hardly influenced by density. ③ Plant diversity of understory vegetation responded non-linearly to stand density. As stand density increased, plants diversity increased initially and decreased laterally. ④ Comprehensive evaluation showed, when density arrived at 1 250 plants/hm², the understory plant diversity reached the maximum. At that plantation density, the growth and development of understory vegetation

收稿日期: 2017-03-20

修回日期: 2017-05-05

资助项目: 国家自然科学基金项目“河西走廊人工沙漠植被土壤种子库的结构与萌发策略研究”(31560240)

第一作者: 占玉芳(1970—), 女(汉族), 甘肃省民勤县人, 学士, 副研究员, 主要从事林业生态工程、荒漠化综合治理和林果花良种引育研究。

E-mail: zyf700104@sina.com.

performed well. [Conclusion] The response of plant diversity of understory vegetation to stand density was non-linear. When the density arrived at 1 250 plants/hm², the density was more appropriate for the growth and development of understory vegetation.

Keywords: plants diversity; *Haloxylon ammodendron* plantation; stand density; Minqin County

近年来随着对生物多样性及保护的研究受到前所未有的高度关注的同时^[1-3],人工林林下植被多样性变化也日益受到重视,并成为林业、土壤和生态领域内关注的焦点问题^[4]。林下植被作为人工林生态系统中的重要组成部分,在维持森林物种多样性、生态系统稳定和立地生产力方面发挥着不可或缺的作用^[5-6],对维护整个系统的物种多样性也十分重要^[7]。McComb^[8]报道了林下植被在物种多样性方面起着十分重要的作用。Verma 对退化林和人工林的植物多样性指数进行了研究^[9],结果发现人工林林下的植被多样性指数高于退化林。庄雪影^[10]在对香港 3 种人工林林下植物多样性进行调查研究后认为,人工林在加速森林植被的恢复和促进退化地区生物多样性的恢复中具有重要作用。李新荣^[11]研究了中国干旱沙漠地区流沙治理的成功模式对植被多样性的影响,结果表明,该区人工植被经过 40 a 余的演变,植物物种组成趋于动态平衡,在时间尺度上,其多样性随群落演替的进行呈增加趋势。因此,遵循自然规律,注重物种多样性、多层次的配置,科学指导人工林的建设,从而促进森林的可持续发展。

梭梭(*Haloxylon ammodendron*),属藜科(*Chenopodiaceae*)梭梭属(*Haloxylon*)灌木,是温带荒漠分布最为广泛的一种荒漠植被。在遏制土地沙化,改良土壤,恢复植被,维持荒漠生态系统平衡和地区经济发展中发挥着不可替代的作用,被称为“沙漠植被之王”^[12-17]。梭梭是荒漠建群,生态适应幅度较宽,有关梭梭属植物和以梭梭属植物为优势的荒漠植被的研究倍受关注,在梭梭种子及生殖研究,梭梭生理生态学特征研究,梭梭的天然生长状态调查,梭梭的地理分布,梭梭退化及更新复壮技术研究,梭梭自然演替过程研究等方面取得极大的进展^[12-23]。但是对于密度对梭梭林下植被多样性的影响研究很少,不同密度梭梭人工林,林下微环境也不同,从而导致林下植被发生变化,而林下植被在促进人工林养分循环、提高系统稳定性及维护林地长期生产力中起着十分重要的作用^[24-25]。本研究以 5 种不同密度梭梭人工林为对象,开展了梭梭人工林不同密度对林下植物多样性的影响研究,从而探明梭梭人工林保持植物多样性、人工林生态稳定性及其健康状况的合理林分密度,为合理经营梭梭人工林,充分发挥其遏制土地沙

化,改良土壤,恢复植被的生态功能提供一定的技术支持,同时也为人工林向天然林群落发展创造条件。

1 研究区概况

研究区位于甘肃省民勤县,河西走廊东北部,石羊河流域下游,地理位置处于 102°02′—104°02′E, 38°05′—39°06′N,东、西、北三面被腾格里和巴丹吉林大沙漠包围,是一个半封闭的内陆荒漠区。东西长 206 km,南北宽 156 km,总面积 1.59×10⁴ km²。气候属典型的大陆性荒漠气候,其特点为:气候干燥,降水稀少,蒸发强烈,风大沙多。多年平均气温 7.6℃,年平均日较差为 15.2℃,≥10℃积温为 3 036.4℃,日照时数为 3 073.5 h,无霜期 176 d。多年平均降水量 115.41 mm,主要集中在每年的 7—9 月,占年均总降水量的 60%以上;多年平均蒸发量 2 664.0 mm,是降水量的 24 倍之多,多年平均风速 2.5 m/s,年≥8 级大风日数为 27.8 d。全年盛行西北风、西北偏西风,是全国浮尘、扬沙、沙尘暴发生最严重地区之一,也是我国沙尘暴的主要策源地之一^[26]。自然植被主要是荒漠被,组成种类少、层片结构简单、生产力低^[27]。民勤县梭梭人工林面积约为 9.00×10⁴ hm²,主要分布在民勤绿洲边缘的泉山林场、勤峰滩、东湖镇、三角城林场、大滩、西沙窝等地^[28]。

2 研究方法

2.1 样地设置及调查

选取不同林分密度的 10~15 a 生梭梭人工林,每种密度设置样地 1 个,每个样地面积为 50 m×50 m,采用典型取样的方法在每个样地内选取 3 个 4 m×4 m 的灌木样方和 3 个 1 m×1 m 的草本样方。分层进行植物种类的调查统计。内容包括:灌木层植物的种名、株数(丛数)、高度、冠幅和盖度;草本层统计植物种名、株数(丛数)、高度和盖度。同时记录样地的经度、纬度、海拔等生境因子(表 1)。

2.2 评价指标及计算方法

2.2.1 重要值计算 重要值(IV)=(相对多度+相对频度+相对优势度)/3 其中,相对多度为物种株数与所有物种总株数之比;相对频度为物种在样方中出现的次数与所有物种出现的总次数之比;相对优势度为物种的优势度与所有物种优势度总和之比。

表 1 梭梭人工林调查样地基本信息

样地编号	调查地点	株行距/ m	密度/ (株·hm ⁻²)	海拔/ m	平均株 高/cm	平均冠 幅/cm	盖度/ %	林龄/ a
I	民勤治沙综合试验站	2×4	1 250	1 374	167.0	140.9	60	10
II	红崖山水库保护站	3×3	1 111	1 397	164.9	169.4	50	15
III	勤锋滩沙生植物自然保护区管理站	2.5×4	1 000	1 350	160.5	159.7	65	10
IV	老虎口防沙治沙示范区	2.5×3	1 333	1 345	187.1	177.0	70	15
V	三角城机械林场	2×3	1 667	1 318	168.7	132.4	90	12

2.2.2 物种多样性测定方法

丰富度指数(R): $R=(S-1)\ln N$

多样性指数〔Shannon-Wiener 指数(H)〕:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

Simpson 多样性指数(D):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n N(N-1)}{\sum_{i=1}^S (n_i-1)n_i}$$

基于 Shannon 指数的 Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H/\ln S$$

Alatalo 指数(E_a):

$$E_a = [(\sum_{i=1}^S P_i^2)^{-1}] / [\exp(-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) - 1]$$

式中: S ——样方的植物种类总和; P_i ——第 i 种的个体数占总个数 N 的比例,即 $P_i = n_i/N$; n_i ——第 i 种的个体数; N ——所有种的总个体数。

2.3 数据分析

利用 Excel 2003 图表处理软件和 SPSS 13.0 统计分析软件对各指数进行方差分析、主成分分析,并与密度用 Pearson 检验法进行相关性分析,采用 LSD 法对差异进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 不同密度梭梭人工林林下植被物种组成及重要值

对不同密度梭梭人工林林下植物进行统计(表 2),结果出现植物 9 科 13 属 16 种。其中灌木层 6 科 6 属 6 种,草本层 4 科 7 属 10 种。常见的灌木有藜科沙拐枣属的沙拐枣(*Calligonum mongolicum*),蒺藜科白刺属的白刺(*Nitraria tangutorum*),菊科蒿属的沙蒿(*Artemisia desertorum*);草本层主要为藜科植物。

表 2 不同密度梭梭人工林林下植被种类组成及其重要值

层次	物种	重要值				
		I	II	III	IV	V
灌木层	梭梭	0.397 9	0.473 5	0.233 6	0.833 3	0.844 2
	骆驼刺	—	—	0.446 1	—	—
	沙拐枣	0.521 6	0.227 7	—	—	—
	白刺	0.080 4	—	0.112 2	0.166 7	—
	沙蒿	—	0.298 8	—	—	0.155 8
	红砂	—	—	0.042 2	—	—
草本层	五星蒿	0.441 8	—	0.844 5	0.632 4	0.628 4
	沙米	—	0.715 3	—	0.093 2	—
	刺沙蓬	—	0.158 6	—	—	0.169 0
	白茎盐生草	0.054 7	—	0.155 5	—	0.161 3
	长刺猪毛菜	—	0.126 1	—	0.232 5	—
	猪毛菜	0.155 2	—	—	—	—
	虫实	0.070 2	—	—	0.041 9	—
	盐生草	0.175 3	—	—	—	—
	狗尾草	—	—	—	—	0.041 3
	黄花矾松	0.102 7	—	—	—	—

注:各物种拉丁学名分别为:骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*),五星蒿(*Bassia dasyphylla*),沙米(*Agriophyllum squarrosum*),刺沙蓬(*Salsola Rathenica*),黄花矾松(*Limonium aureum*),长刺猪毛菜(*Salsola paulsenii*),猪毛菜(*Salsola collina*),虫实(*Corispermum hyssopi folium*),盐生草(*Halogeton glomeratus*),狗尾草(*Setaria viridis*),白茎盐生草(*Halogeton arachnoideus*)。

重要值是衡量物种在群落中的地位和作用的综合数量指标。计算分析不同密度梭梭人工林林下植物的物种组成及重要值,结果表明(表 2),随着林分密度的增大,灌木、草本层物种组成发生变化。草本层的物种数均高于灌木层,说明在民勤梭梭人工林中草本层相对于灌木层较发达。灌木层、草本层植物优势种重要值随密度变化不大。从各物种重要值的排序结果可以看出,灌木层主要组成物种为梭梭、沙拐枣、白刺,草本层主要组成物种为五星蒿,沙蓬、刺沙蓬、白茎盐生草等。

3.2 不同密度梭梭人工林植物多样性

林分密度对林下植物物种多样性特征影响(图 1—2,表 3)。由图 1—2,表 3 可知,当林分密度从 1 000株/hm² 增至 1 667 株/hm²,灌木层、草本层物种的丰富度指数 R , Shannon-Wiener 指数 H , PieLou 均匀度指数 J 及 Alatalo 指数 E_a 均呈先增大后减小趋势, Simpson 指数 D 与 Shannon-Wiener 指数呈相反的趋势。灌木层与草本层 R 值存在明显差异,草本层 R 值高于灌木层,由于灌木层对生长条件的要求高于草本,林下限制因素增加使灌木层丰富度降低。随着密度的增加,灌木层与草本层 R 值呈先增大后减小的趋势,灌木层 R 值与密度呈显著负相关,草本层 R 值与密度呈正相关,说明密度对林下冠木层植被种类影响较大;灌木层与草本层 H 指数、 R 指数随着密度的增加,变化显著,因为 H , R 值能反映丰富度的变化; D 指数变化幅度较小,而 D 值受林下植被组成结构的影响较大,当林下植被组成发生明显变化, D 值变化明显。灌木层与草本层的 J 指数和 E_a 指数随着密度的增加均呈现先增大后减小的变化趋势, E_a 指数、 J 指数变化幅度不大,密度与灌木层、草本层 E_a

指数呈正相关。不同密度梭梭人工林林下均匀度指数灌木层均高于草本层,表明灌木相对草本而言,数量较为稳定。

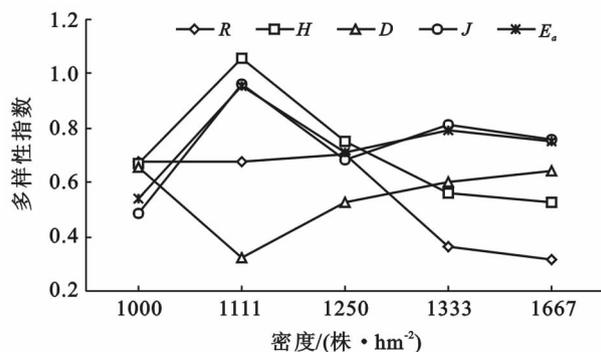


图 1 梭梭人工林不同密度下灌木层植物多样性指数值

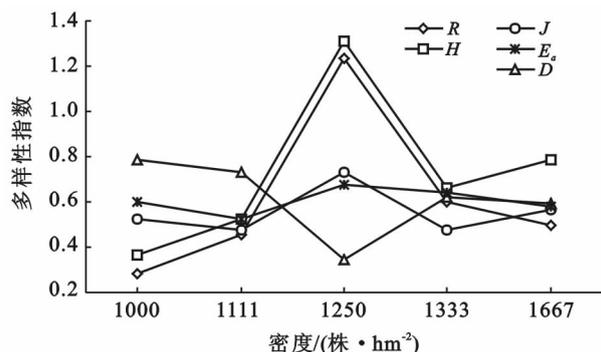


图 2 梭梭人工林不同密度下草本层植物多样性指数值

由 Pearson 相关性系数(表 3)可知,密度与灌木层的 R 指数、 H 指数呈显著负相关,密度与灌木层均匀度指数的相关系数比与草本层高,密度与草本层多样性指数相关性不显著,说明密度与灌木层植物分布状况关系密切。

表 3 梭梭人工林不同密度林下植物多样性分析

林下植被	多样性指数	林分密度					Pearson 相关系数
		I	II	III	IV	V	
灌木层	R	0.705 9 ^A	0.679 2 ^{bA}	0.673 5 ^{bA}	0.360 7 ^{cB}	0.318 9 ^{dC}	-0.826 *
	H	0.753 0 ^{bB}	1.060 1 ^A	0.668 9 ^{cC}	0.562 3 ^{dD}	0.523 6 ^{dD}	-0.591 *
	D	0.529 4 ^{bA}	0.321 6 ^{cB}	0.657 5 ^A	0.600 0 ^A	0.644 3 ^A	-0.344
	J	0.685 4 ^{dD}	0.965 0 ^A	0.482 5 ^{eE}	0.811 3 ^{bB}	0.755 4 ^{cC}	0.252
	E_a	0.707 8 ^{dC}	0.953 2 ^A	0.537 6 ^{eD}	0.794 9 ^{bB}	0.749 6 ^{cB}	0.186
草本层	R	1.236 7 ^A	0.456 4 ^{cC}	0.283 6 ^{dD}	0.597 1 ^{bB}	0.494 2 ^{cC}	0.142
	H	1.308 5 ^A	0.524 6 ^{dD}	0.362 2 ^{eE}	0.659 3 ^{cC}	0.788 3 ^{bB}	0.378
	D	0.341 5 ^{cC}	0.730 7 ^{bA}	0.786 1 ^A	0.622 3 ^{cB}	0.589 8 ^{dB}	-0.392
	J	0.730 3 ^A	0.477 5 ^{cD}	0.522 6 ^{bBC}	0.475 6 ^{cD}	0.568 7 ^{bB}	0.168
	E_a	0.678 6 ^A	0.525 2 ^{dD}	0.600 2 ^{bBC}	0.643 5 ^{bAB}	0.577 5 ^{cC}	0.066

注:同行数据后标不同小写字母者表示差异显著($p < 0.05$);大写字母表示差异极显著($p < 0.01$);*表示在 $p = 0.05$ 水平显著。

3.3 梭梭人工林密度与林下植物物种多样性综合评价

以 R, H, D, J, E_a 为评价指标进行主成分分析, 从而对 5 种密度林下物种多样性的差异进行综合分析比较。

由表 4 可知, 灌木层第一主成分的方差贡献率 67.142%, 草本层第 1 主成分的方差贡献率 86.697%, 几乎可以解释整个总方差, 信息量损失较小, 由第 1 主成分得分系数得出植物多样性综合判断值 (F) 的方程。

$$\begin{aligned} \text{灌木层: } F &= -0.225X_R' + 0.068X_H' - \\ & 0.198X_D' + 0.392X_J' + 0.379X_{E_a}' \\ \text{草本层: } F &= 0.224X_R' + 0.225X_H' - 0.227X_D' + \\ & 0.212X_J' + 0.182X_{E_a}' \end{aligned}$$

式中: X_i' —— 各指标的标准化数据。

利用多样性综合判断值方程计算不同密度下的林下植物多样性得分, 并进行排序 (表 4)。综合得分表明, 5 种密度林下植物多样性差异显著: $I > II > IV > V > III$ 。

表 4 梭梭人工林植物多样性主成分分析

主成分	因子					特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
	R	H	D	J	E_a			
灌木层	P_1	0.351	0.883	-0.989	0.838	0.880	3.357	67.142
	得分系数	-0.225	0.068	-0.198	0.392	0.379		
灌木层	P_2	0.932	0.456	-0.146	-0.544	-0.474	1.619	32.372
	得分系数	0.540	0.379	-0.236	-0.147	-0.104		
草本层	P_1	0.972	0.977	-0.983	0.919	0.790	4.335	86.697
	得分系数	0.224	0.225	-0.227	0.212	0.182		

林分密度	灌木层得分	排序	草本层得分	排序	综合得分	得分
I	0.367 6	3	1.682 3	1	1.314 6	1
II	1.300 0	1	-0.778 6	5	0.521 4	2
III	-1.419 6	5	-0.737 5	4	-2.157 1	5
IV	0.376 3	2	-0.105 8	3	0.270 5	3
V	0.111 0	4	-0.060 4	2	0.050 6	4

由图 3 可以看出, 灌木层得分、草本层得分、综合得分变化趋势相同, 随着密度的增大, 均表现为先增大后减小的变化规律, 当密度为 1 111 株/hm² 时, 灌木层得分达到最大, 当密度为 1 250 株/hm² 时, 草本层得分、综合得分均达到最大, 说明在 1 250 株/hm² 这个密度下, 林下植物物种多样性最高。

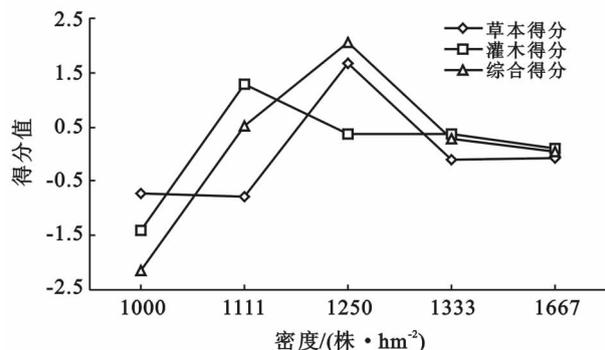


图 3 梭梭人工林不同密度林下植物多样性得分

4 讨论与结论

梭梭人工林林下共有植物 16 种, 隶属于 9 科 13 属, 其中灌木层 6 科 6 属 6 种, 草本层 4 科 7 属 10

种。灌木层优势种随着密度变化明显, 草本层优势物种受密度影响较小。

雷相等^[29] 研究认为, 林分密度是影响林分下层植物物种多样性的重要因子, 林分密度通过郁闭度、hm² 株数等因子对林下植物多样性造成影响; 胡相明等^[30] 研究指出, 随着林分郁闭度的增大, 下层植物多样性逐渐减小。本研究结果表明, 随着密度的增大, 林下植物多样性呈先增大后减小的变化规律, 林下植被多样性对密度响应具有非同步性。这与李国雷等^[31] 对华北落叶松人工林进行研究后认为林下植被多样性对密度响应具有非同步性的结论相符, 也与邹扬等^[24] 对青海云杉人工林密度与林下植物多样性的关系研究后认为, 青海云杉林下植被多样性对其密度响应具有非同步性的结论一致。本研究发现, 林下植被多样性随密度的变化趋势与林下植被均匀度随密度变化趋势相近, 说明密度对林下植被的分布状况影响显著, 因为均匀度独立于物种丰富度, 只与个体数目等指标在各个物种中分布的均匀程度有关, 密度能影响林分透光性、林相等, 当林分透光性较好, 林相整齐时, 林下植被分布较为均匀, 所以, 均匀度指数更能反映密度对林下植被多样性的影响。

草本植物是森林生态系统生物多样性的重要组成部分,草本植物的生长状况对森林生态系统健康具有指示作用,草本植物的物种组成和结构可以作为森林环境自然恢复状况及森林健康状况的重要指标。本研究表明,梭梭人工林林下草本层出现机率较多的植物为五星蒿、沙蓬等旱生植物,而且植物组成简单、盖度较小,生物多样性低,这主要是由于梭梭人工林树种组成单一,严重干旱缺水造成的。

多样性综合评分结果表明:当密度为 1 250 株/hm² 时,林下物种多样性得分最高,说明了该密度比较适合林下植被生长发育,保持林下植被多样性。

影响林下植物多样性及丰富度的因素除造林密度外,还有人干扰、主要植被对土壤改良的作用、树冠高度、树龄等,具体各因素对林下植被影响的程度有待于进一步分析研究。

[参 考 文 献]

- [1] 马克平. 试论生物多样性的概念[J]. 生物多样性, 1993, 1(1): 20-22.
- [2] 汪水华, 陈北光, 苏志尧. 物种多样性研究进展[J]. 生态科学, 2000, 19(3): 50-54.
- [3] 常学礼, 郭建国. 科尔沁沙漠化过程中的物种多样性[J]. 应用生态学报, 1997, 8(2): 151-156.
- [4] 褚建民, 卢琦, 崔向慧, 等. 人工林林下植被多样性研究进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20(3): 9-13.
- [5] 林开敏, 黄宝龙. 杉木人工林林下植物物种 β 多样性的研究[J]. 生物多样性, 2001, 9(2): 152-161.
- [6] 周福泽, 王延平, 张光灿. 五台山林区典型人工林群落物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(2): 321-327.
- [7] Hartley M J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 155(1/3): 81-95.
- [8] Mecopnb W C. Response of understory vegetation to improvement cutting and physiographic site in two mid-south forest stands[J]. Castanea, 1982, 47(1): 60-77.
- [9] Verma R K, Kapoor K S, Rawat R S, et al. Analysis of plant diversity in degraded and plantation forests in Kunihar Forest Division of Himachal Pradesh[J]. Indian Journal of Forestry, 2005, 28(1): 11-16.
- [10] 庄雪影, 邱美玲. 香港三种人工林下植物多样性的调查[J]. 热带亚热带植物学报, 1998, 6(3): 196-202.
- [11] 李新荣, 张景光, 刘立超, 等. 我国干旱沙漠人工地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J]. 生态学报, 2000, 24(3): 257-261.
- [12] 王猛, 汪季, 蒙仲举, 等. 巴丹吉林沙漠东缘天然梭梭种群空间分布异质性[J]. 生态学报, 2016, 36(13): 1-9.
- [13] 许皓, 李彦, 邹婷, 等. 梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 生理与个体用水策略对降水改变的响应[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5019-5028.
- [14] 田媛, 塔西甫拉提·特依拜, 李彦, 等. 梭梭幼苗的存活与地上地下生长的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(8): 2012-2019.
- [15] 陈虞超, 李苗, 吴明朝, 等. 梭梭属两种植物的根结构和成分[J]. 植物生理学报, 2013, 49(11): 1273-1276.
- [16] 宋于洋, 李荣, 罗惠文, 等. 古尔班通古特沙漠三种生境下梭梭种群的生殖分配特征[J]. 生态学杂志, 2012, 31(4): 837-843.
- [17] 宋于洋, 李明艳, 张文辉. 生境对古尔班通古特沙漠梭梭种群波动及光谱分析推绎的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(12): 8-14.
- [18] 宋于洋, 李园园, 张文辉. 梭梭种群不同发育阶段的空间格局与关联性分析[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4317-4327.
- [19] 吕朝燕, 张希明, 刘闻军, 等. 准葛尔盆地西北缘梭梭种群结构和空间格局特性[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 380-387.
- [20] 刘国军, 张希明, 李建贵, 等. 供水量及沙埋厚度对两种梭梭出苗的影响[J]. 中国沙漠, 2010, 30(5): 1085-11091.
- [21] 王继和, 张锦春, 袁宏波, 等. 库姆塔格沙漠梭梭群落特征研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 809-813.
- [22] 王春玲, 郭泉水, 谭德远, 等. 准葛尔盆地东南缘不同生境条件下梭梭结构特征研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1224-1229.
- [23] 常静, 潘存德, 师瑞锋. 梭梭—白梭梭群落优势种种群分布格局及其种间关系分析[J]. 新疆农业大学学报, 2006, 29(2): 26-29.
- [24] 邹扬, 贺康宁, 赵畅, 等. 高寒区青海云杉人工林密度与林下植物多样性关系[J]. 西北植物学报, 2013, 33(12): 2543-249.
- [25] 叶绍明, 温远光, 杨梅, 等. 连栽桉树人工林植物多样性与土壤理化性质的关联分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 246-251.
- [26] 马全林, 王继和, 刘虎俊, 等. 民勤绿洲边缘柽柳荒漠林的时空度变化及其驱动因素[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 802-808.
- [27] 丁峰, 纪永福, 陈芳, 等. 民勤梭梭林自然更新苗的空间分布特征[J]. 甘肃林业科技, 2011, 36(3): 7-11.
- [28] 陈芳, 纪永福, 张锦春, 等. 民勤梭梭人工林天然更新的生态条件[J]. 生态学杂志, 2010, 29(9): 1691-1695.
- [29] 雷相东, 唐守正, 李冬兰, 等. 影响天然林下层植物物种多样性的林分因子的研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 18-22.
- [30] 胡相明, 程积明, 万惠娥. 黄土丘陵区人工林下草本层植物的结构特征[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 41-45.
- [31] 李国雷, 刘勇, 吕瑞恒, 等. 华北落叶松人工林密度调控对林下植被发育的作用过程[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(1): 19-24.