

延安城郊刺槐林下物种多样性与生物量研究

熊 樱¹, 唐德瑞^{1*}, 王得祥¹, 崔宏安²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:以延安城郊刺槐林为研究对象,采用“空间序列代替时间序列”法,对其进行样地调查,比较分析林下植物多样性和生物量随林龄、林分密度和坡向变化而变化的规律。结果表明:1)刺槐林下共有植物 52 种,隶属于 26 科 44 属,分布较广的有菊科、豆科、蔷薇科、毛茛科和禾本科。2)阴坡刺槐林下各指标均优于阳坡,说明阳坡的自然条件较差,可选择更能适合其条件的抗旱树种在适宜的栽植密度下进行造林,如沙棘、山杏等,造林时注意构建合理的模式配置,促进林分的健康发育。3)刺槐林下物种多样性与生物量间有一定的相关关系,主要表现在 Margalef 指数与地上生物量相关性极显著($p=0.000\ 04$),与地下生物量相关性极显著($p=0.007\ 74$),与地上生物量/地下生物量相关性显著($p=0.024\ 76$);而 Shannon-Wiener 指数与地上生物量相关性极显著($p=0.003\ 80$),与地上生物量/地下生物量相关性显著($p=0.027\ 61$)。研究表明,综合物种多样性与生物量的指标来看,延安城郊刺槐林的栽植密度在 $950\ \text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右时利于其林下群落生长发育;而在刺槐进入中龄林后即可对其进行适当的抚育改造,包括间伐乔木,补植灌草等一系列措施,丰富林下层次结构,利于其可持续发育。

关键词:刺槐; 植物群落; 物种多样性; 生物量

中图分类号:S792.260.1

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2013)-05-0001-07

Understorey Species Diversity and Biomass of Artificial *Robinia pseudoacacia* Forests in Yan'an Suburb

XIONG Ying¹, TANG De-rui^{1*}, WANG De-xiang¹, CUI Hong-an²

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Methods of “substituting space series for time series” and “contrastive analysis” were adopted to investigate the understory species diversity and biomass of artificial *Robinia pseudoacacia* forests in Yan'an suburb. 1) Under the *R. pseudoacacia* forest, 52 plant species were found, belonging 26 families and 44 genres, in which the widely distributed species were in the families of Compositae, Leguminosae, Rosaceae, Ranunculaceae and Gramineae. 2) In the same period, the biodiversity indexes were obviously higher on shady slopes than those on sunny slopes, suggesting that the natural conditions of sunny slopes were worse, and it would more likely to plant some trees which could adapt the conditions, such as *Hippophae rhamnoides*, *Armeniaca sibirica* and so on in proper plant density. At the same time, reasonable mode configuration should be constructed to promote the healthy development of the forests. 3) Species diversity of forests was correlated to the biomass. There existed most significant correlation between Margalef index and the below-ground biomass ($p=0.000\ 04$), above-ground biomass ($p=0.007\ 74$), and the Margalef index also was significantly correlated to above-ground/below-ground biomass ratios ($p=0.024\ 76$).

收稿日期:2013-01-14 修回日期:2013-03-16

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项(201104045)。

作者简介:熊樱,女,硕士研究生,研究方向:森林培育。E-mail:nwsuafxiongying@163.com

* 通信作者:唐德瑞,男,教授,博士生导师,研究方向:森林培育及生态学。E-mail:tangderui@sina.com

Shannon-Wiener index was most significantly correlated to above-ground biomass ($p=0.003\ 80$) and significantly correlated to the above-ground /below-ground biomass ratios ($p=0.027\ 61$). In the views of species diversity and the biomass indexes, it was beneficial to the growth and development of the understorey plants when the plant density of *R. pseudoacacia* was about 950 plant per hm^2 . After the the forests were in their middle-age stage, proper management measures should be adopted, including thinning arbor, replanting shrub-grass, and so on to enrich the structure composition of the species under the forest, and for the sustainable development.

Key words: *Robinia pseudoacacia*; plant community; species diversity; biomass

植物群落是在一定生境条件下植物种群的总体^[1]。林下植被是人工林生态系统中重要的组成部分,具有促进系统养分循环、提高林地肥力、减少水土流失的作用^[2-3]。生物多样性是生物和它们组成的系统的总体多样与变异性的总和^[4-5];生物量是研究森林物质生产基础,能反映出群落结构与功能^[6-8]。因此,开展刺槐林下群落物种多样性和生物量随环境因子改变而变化的特征研究,对探究刺槐人工林生态系统稳定性有重要意义。

刺槐(*Robinia pseudoacacia*)原产北美洲阿巴拉契亚山脉,属速生树种。在我国引种栽培,以华北及黄河流域最为普遍,以华北地区海拔 400~1200 m 的地方生长最好。刺槐喜光,浅根性,根系发达,萌蘖力强,对土壤要求不严,适应性很强,作为黄土高原地区主要的人工造林树种,在延安地区也广泛栽植。近年来,许多学者对刺槐人工林的合理栽植密度,间伐改造强度及物种多样性和生物量进行了相关的研究^[9-15]。通过研究不同环境条件下的刺槐林下植物群落的物种多样性和生物量的动态变化,分析刺槐林下群落特征,从而为刺槐林分的健康经营和后期抚育措施提供理论依据,最终为实现延安城郊乃至半干旱地区植被的近自然化经营提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于延安市宝塔区城区及近郊,属于黄土高原丘陵沟壑区,地理位置为 $36^{\circ}11'—37^{\circ}09'N$ 、 $109^{\circ}21'—110^{\circ}03'E$,平均海拔 798.5 m,该区属温带大陆性季风气候,四季分明,雨热同期,年均降水 550 mm,年均无霜期 170 d,年平均气温 $7.7^{\circ}C—10.6^{\circ}C$ 。从植被类型的划分上看,该区植被属暖温带落叶阔叶林带,由于原始植被遭受较大破坏,属水土流失严重区,多年来栽植人工林以期重建和恢复健康的森林生态系统,主要有刺槐林,侧柏林,油松林等。土壤类型主要为黄绵土,其中粉粒占 64%~73%,黏粒占 17%~20%,土质疏松,抗蚀抗冲性差,水土流失严重^[11]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查 样地调查时间为 2012 年 7—8

月,通过查阅资料、踏查确定研究区刺槐林的林龄和分布,选取具有代表性的样地 22 块,在调查时用生长锥对林龄进一步核准,样地均没有人为经营措施,样地面积为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$,每个样地沿对角线设置 3 个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的灌木样方和 3 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的草本样方。调查内容包括:1)群落学特征:造林时间、造林密度、郁闭度、总盖度、地被物厚度。2)刺槐种群调查:对胸径 $>5\text{ cm}$ 的刺槐成年个体进行坐标定位(以样地一条边为 X 轴,垂直边为 Y 轴),测定树高、胸径、冠幅、冠高、枝下高、枯梢情况、病虫害情况。3)灌木草本样方调查:测定各物种数量、高度、盖度、基径、冠幅、频度。4)生物量调查:在每一标准地内沿对角线设置灌木和草本植物样方各 3 个,灌木样方 $4\text{ m}\times 4\text{ m}$,草本样方 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 。采用全挖法将灌草样本带回实验室测定。

1.2.2 物种多样性计算 根据样地调查所得到的不同物种相对盖度、相对多度和相对频度计算林下物种的重要值,再统计出同一种群中各物种的平均重要值。计算各物种的 α 多样性指数,包括 Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 指数。

$$\text{Margalef 丰富度指数}(D)=(S-1)/\ln N \quad (1)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数}(J)=(-\sum P_i \ln P_i)/\ln S \quad (2)$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数}(H)=-\sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$\text{Simpson 指数}(D)=1-\sum P_i^2 \quad (4)$$

式中, S:调查样方的物种数量, N:样方中全部物种数量, N_i :第 i 种的个体数, P_i :第 i 个种的个体数占样地中所有种的总个体数的比例。

1.2.3 林下植被生物量测定 在进行植物种类调查的基础上,灌木分解成根、主干、侧枝、叶分别装袋测重,草本分为地上和地下 2 部分分别装袋测重,全部带回实验室烘干称重,得到生物量数据。由于刺槐林下灌木较少,因而在文中数据处理时,与草本归在一起,统一为地上生物量和地下生物量两部分。

2 结果与分析

2.1 刺槐林下植物种类

对刺槐人工林下植被进行调查和分类(表 1),

发现刺槐林下共有植物 52 种,隶属于 26 科 44 属, 科植物有 3 属 5 种,毛茛科 4 属 5 种,禾本科 4 属 4 分布较广的有菊科、豆科、蔷薇科、毛茛科和禾本科。 种,这 5 科植物占总属数的 45. 5%, 占总种数的 其中,菊科植物 3 属 7 种,豆科植物 6 属 6 种,蔷薇 51. 9%,是刺槐林下植物的主要组成部分。

表 1 刺槐林下植物种类

Table 1 Floristics in *R. pseudoacacia* forest

科	属	种
毛茛科(Ranunculaceae)	铁线莲属(<i>Clematis</i>)	黄花铁线莲(<i>Clematis intricate</i>)
		铁线莲(<i>Clematis fruticosa</i>)
	白头翁属(<i>Pulsatilla</i>)	白头翁(<i>Pulsatilla chinensis</i>)
玄参科(Scrophulariaceae)	唐松草属(<i>Thalictrum</i>)	唐松草(<i>Thalictrum petaloideum</i>)
	耧斗菜属(<i>Aquilegia</i>)	耧斗菜(<i>Aquilegia viridiflora</i>)
	地黄属(<i>Rehmannia</i>)	地黄(<i>Rehmannia glutinosa</i>)
豆科(Leguminosae)	棘豆属(<i>Oxytropis</i>)	硬毛棘豆(<i>Oxytropis hirta</i>)
	甘草属(<i>Glycyrrhiza</i>)	甘草(<i>Glycyrrhiza uralensis</i>)
	胡枝子属(<i>Lespedeza</i>)	长叶铁扫帚(<i>Lespedeza caraganae</i>)
唇形科(Labiatae)	槐属(<i>Sophora</i>)	苦豆子(<i>Sophora alopecuroides</i>)
	苜蓿属(<i>Medicago</i>)	苜蓿(<i>Meedicago sativa</i>)
	野豌豆属(<i>Vicia</i>)	野豌豆(<i>Vicia sepium</i>)
忍冬科(Caprifoliaceae)	青兰属(<i>Dracocephalum</i>)	香青兰(<i>Dracocephalum moldavica</i>)
	益母草属(<i>Leonurus</i>)	益母草(<i>Leonurus japonicus</i>)
	忍冬属(<i>Lonicera</i>)	忍冬(<i>Lonicera japonica</i>)
旋花科(Convolvulaceae)	打碗花属(<i>Calystegia</i>)	打碗花(<i>Calystegia hederacea</i>)
	委陵菜属(<i>Potentilla</i>)	菊叶委陵菜(<i>Potentilla tanacetifolia</i>)
		二裂委陵菜(<i>Potentilla bifurca</i>)
萝藦科(Asclepiadaceae)		翻白委陵菜(<i>Potentilla discolor</i>)
	悬钩子属(<i>Rubus</i>)	悬钩子(<i>Rubus parvifolius</i>)
	龙牙草属(<i>Agrimonia</i>)	龙牙草(<i>Agrimonia pilosa</i>)
败酱科(Valerianaceae)	杠柳属(<i>Periploca</i>)	杠柳(<i>Periploca sepium</i>)
	鹅绒藤属(<i>Cynanchum</i>)	牛皮消(<i>Cynanchum auriculatum</i>)
		地梢瓜(<i>Cynanchum thesioides</i>)
菊科(Compositae)	败酱属(<i>Patrinia</i>)	败酱(<i>Patrinia scabiosae folia</i>)
	蒿属(<i>Artemisia</i>)	茵陈蒿(<i>Artemisia capillaris</i>)
		黄花蒿(<i>Artemisia annua</i>)
百合格(Liliaceae)		铁杆蒿(<i>Artemisia melinii</i>)
		角蒿(<i>Incarvillea giralaai</i>)
		艾蒿(<i>Artemisia argyi</i>)
大戟科(Euphorbiaceae)	蓟属(<i>Cirsium</i>)	刺儿菜(<i>Cirsium segetum</i>)
	苦苣菜属(<i>Sonchus</i>)	苦苣菜(<i>Sonchus oleraceus</i>)
	葱属(<i>Allium</i>)	薤白(<i>Allium macrostemon</i>)
紫葳科(Bignoniaceae)	地构叶属(<i>Speranskia</i>)	地构叶(<i>Speranskia tuberculata</i>)
	角蒿属(<i>Incarvillea</i>)	角蒿(<i>Incarvillea giralaai</i>)
	老鹳草属(<i>Geranium</i>)	粗根老鹳草(<i>Geranium dahuricum</i>)
槐牛儿苗科(Geraniaceae)	堇花属(<i>Wikstroemia</i>)	河朔堇花(<i>Wikstroemia chamaedaphne</i>)
	窃衣属(<i>Torilis</i>)	窃衣(<i>Torilis japonica</i>)
	马唐属(<i>Digitaria</i>)	马唐(<i>Digitaria sanguinalis</i>)
瑞香科(Thymelaeaceae)	赖草属(<i>Leymus</i>)	赖草(<i>Leymus scalinus</i>)
	狗尾草属(<i>Setaris</i>)	狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)
	早熟禾属(<i>Poa</i>)	早熟禾(<i>Poa annua</i>)
伞形科(Umbelliferae)	乌荻梅属(<i>Cayratia</i>)	乌荻梅(<i>Cayratia japonica</i>)
	马兜铃属(<i>Aristolochia</i>)	马兜铃(<i>Aristolochia contorta</i>)
	苔草属(<i>Carex</i>)	细叶苔草((<i>Carex rigescens</i>)
禾本科(Gramineae)	茜草属(<i>Rubia</i>)	茜草(<i>Rubia cordifolia</i>)
	胡颓子属(<i>Elaeagnus</i>)	胡颓子(<i>Elaeagnus umbellate</i>)
	芥属(<i>Capsella</i>)	荠菜(<i>Capsella bursa-pastoris</i>)
葡萄科(Vitaceae)	川续断属(<i>Dipsacus</i>)	川续断(<i>Dipsacus asper</i>)
	堇菜科(Violaceae)	堇菜(<i>Viola philippica</i>)
	藜属(<i>Chenopodium</i>)	灰绿藜(<i>Chenopodium glaucum</i>)
猪毛菜属(<i>Salsola</i>)		
	猪毛菜(<i>Salsola ruthenica</i>)	

依据吴征镒^[16]等的划分标准,对刺槐林下植物种类进行区系分析(表 2),发现其分布类型主要集中于北温带分布区、世界分布区和欧亚温带分布区 3 个区系,说明延安刺槐林下的植物基本处于自然发育状态,与其地理位置所属分布区比较一致。

2.2 刺槐林下物种多样性及生物量

2.2.1 不同林龄刺槐林下物种多样性及生物量 对林分密度基本一致的阴坡样地进行分析,结果如表 3 所示。Margalef 指数和 Shannon-Wiener 指数随着刺槐林龄的增长而明显降低,说明刺槐林的持续生长占用了较多的阳光、土壤养分,使得林下物种间的竞争加剧,从而淘汰了部分已不能适应林下环境的物种。Pielou 指数和 Simpson 指数的降幅并不显著,说明刺槐林下具有优势竞争力的物种不多,并且林下物种的分布比较均一,表明刺槐林下群落结构特异性不明显,说明造林时没有考虑林下灌草的配套种植,林下

植被属自然发育,并未形成优势群落结构。

表 2 刺槐林下植物属的分布区类型

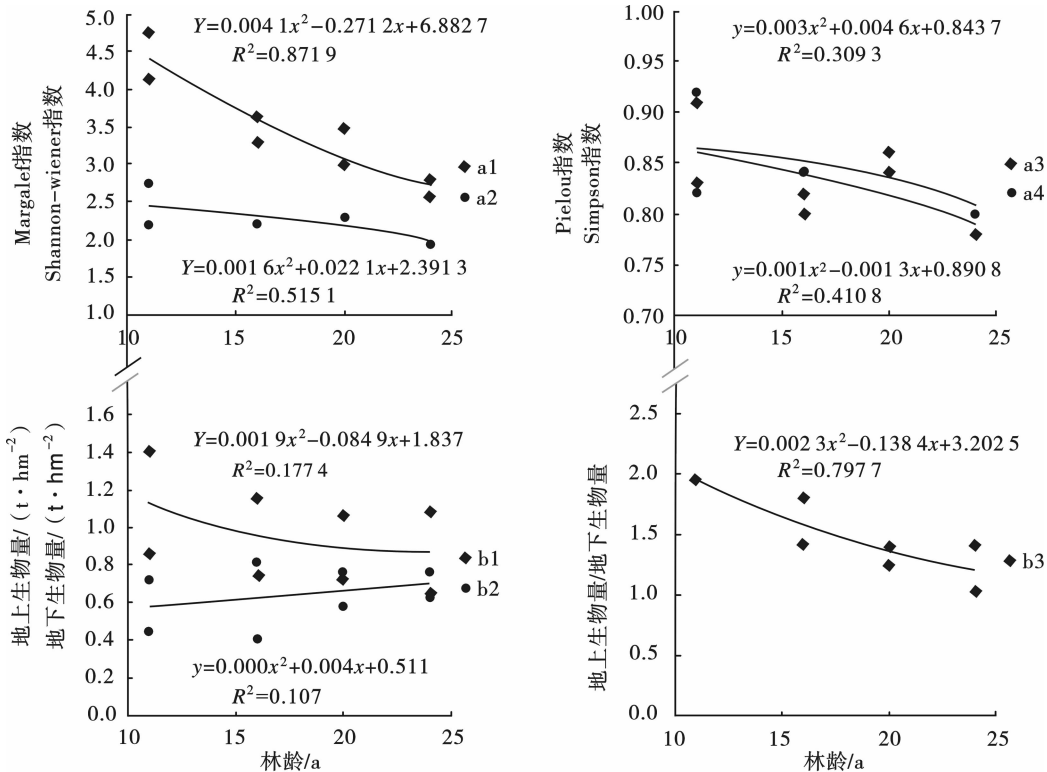
Table 2 Areal-types of genus of <i>R. pseudoacacia</i> forest	
分布类型	属数比例/%
世界分布	10 -
泛热带分布	2 5.88
热带亚洲至热带美洲间断分布	1 2.94
旧世界热带分布	1 2.94
热带亚洲至热带澳大利亚分布	1 2.94
热带亚洲至热带非洲分布	1 2.94
北温带分布	16 47.06
东亚-北美间断分布	2 5.88
欧亚温带分布	6 17.65
中亚、西亚至地中海分布	1 2.94
中亚分布	1 2.94
东亚分布	1 2.94
特有分布	1 2.94
除世界分布总计	34 100

表 3 不同林龄刺槐林下物种多样性及生物量变化(坡向:阴坡,林分密度:925~1 075 株·hm⁻²)

Table 3 Comparison of understorey diversity and biomass of *R. pseudoacacia* in difference ages (slope:shady slope, stand density:925-1 075 individual number·hm⁻²)

林龄/a	多样性指数				林下生物量		
	Margalef	Pielou	Shannon-Wiener	Simpson	AB/(t·hm ⁻²)	BB/(t·hm ⁻²)	AB/BB
11	4.43±0.31	0.87±0.04	2.47±0.27	0.87±0.05	1.13±0.27	0.58±0.14	1.95±0.01
16	3.46±0.16	0.81±0.01	2.21±0.01	0.83±0.01	0.95±0.21	0.61±0.20	1.61±0.19
20	3.24±0.23	0.85±0.01	2.31±0.02	0.86±0.00	0.89±0.17	0.67±0.09	1.32±0.08
24	2.68±0.11	0.78±0.00	1.94±0.01	0.80±0.00	0.87±0.22	0.70±0.07	1.22±0.19

注:AB,地上生物量;BB,地下生物量;AB/BB,地上生物量/地下生物量,表 4、表 5 同。



注: a1: Margalak 指数, a2: ShannonWiener 指数, a3: Pielu 指数, a4: Simpson 指数, b1: 地上生物量, b2: 地下生物量, b3: 地上生物量/地下生物量, 图2、图3同。

图 1 不同林龄下刺槐林物种多样性及生物量的动态变化

Fig. 1 Dynamic changes of understorey diversity and biomass of *R. pseudoacacia* in difference ages

随着林龄的增加,林下植被地上生物量明显呈下降趋势,说明乔木与灌草间的竞争加剧,而地下生物量则是上升趋势,同样表明灌草为了与乔木竞争土壤营养与水分而偏重了根系的生长,以保证自身的持续发育。地上生物量/地下生物量的比值则明显降低(图 1),说明随着刺槐的生长,林下灌草植被的生存环境趋于紧张,因而逐渐偏重根系生长,从而获取更多水分养分。

2.2.2 不同密度刺槐林下植物多样性及生物量
对林龄 19 a 的阳坡样地进行不同林分密度条件下物种多样性及生物量的比较(表 4),结果发现 Mar-

galef 指数和 Shannon-Wiener 指数在林分密度为 950 株·hm⁻²左右时达到最大(图 2),密度过小阳光直射地表,不利于土壤水分蓄积,抑制了灌草植物的生长;而刺槐密度过大吸收了过多的光照和土壤养分,影响了林下植被生长。随着林分密度的增加 Pielou 指数和 Simpson 指数都呈现出“U”型曲线(图 2),但其变异幅度比较小,说明刺槐林下的植被并没有特别优势的物种,灌草的生长都比较平衡,这可能由于刺槐林的人工栽植并没有考虑林下配置,仅栽植乔木,林下的植被靠自然繁衍生长,向高级群落演替的速度比较慢,从而没有出现优势种群。

表 4 不同密度刺槐林下物种多样性及生物量变化(林龄:19 a,坡向:阳坡)
Table 4 Comparison of understorey diversity and biomass of *R. pseudoacacia* in difference stand densities(Stand age:19 a,Slope:sunny slope)

林分密度/ (株·hm ⁻²)	多样性指数				林下生物量		
	Margalef	Pielou	Shannon-Wiener	Simpson	AB/(t·hm ⁻²)	BB/(t·hm ⁻²)	AB/BB
500	3.16±0.13	0.90±0.03	2.32±0.04	0.89±0.02	0.79±0.14	0.49±0.21	1.83±0.50
900	3.01±0.08	0.87±0.01	2.29±0.01	0.86±0.01	0.56±0.25	0.41±0.22	1.46±0.17
1225	3.47±0.05	0.84±0.02	2.34±0.02	0.86±0.00	0.68±0.21	0.41±0.18	1.78±0.27
1650	2.49±0.19	0.87±0.02	2.02±0.01	0.85±0.00	0.21±0.10	0.22±0.12	1.10±0.19
2150	1.60±0.11	0.91±0.01	1.88±0.01	0.88±0.02	0.11±0.02	0.09±0.03	1.29±0.21

随着林分密度的增加,林下植被的地上生物量和地下生物量下降趋势都比较明显(图 2),是由于乔木的栽植密度过大导致了对光照,土壤水分养分等掠夺过多,直接影响了林下生物量的累积。而地

上生物量/地下生物量的下降趋势较缓,说明在外部环境条件受影响时,已直接使得林下植被的整体生物量积累降低,而不仅仅局限于某一方面。

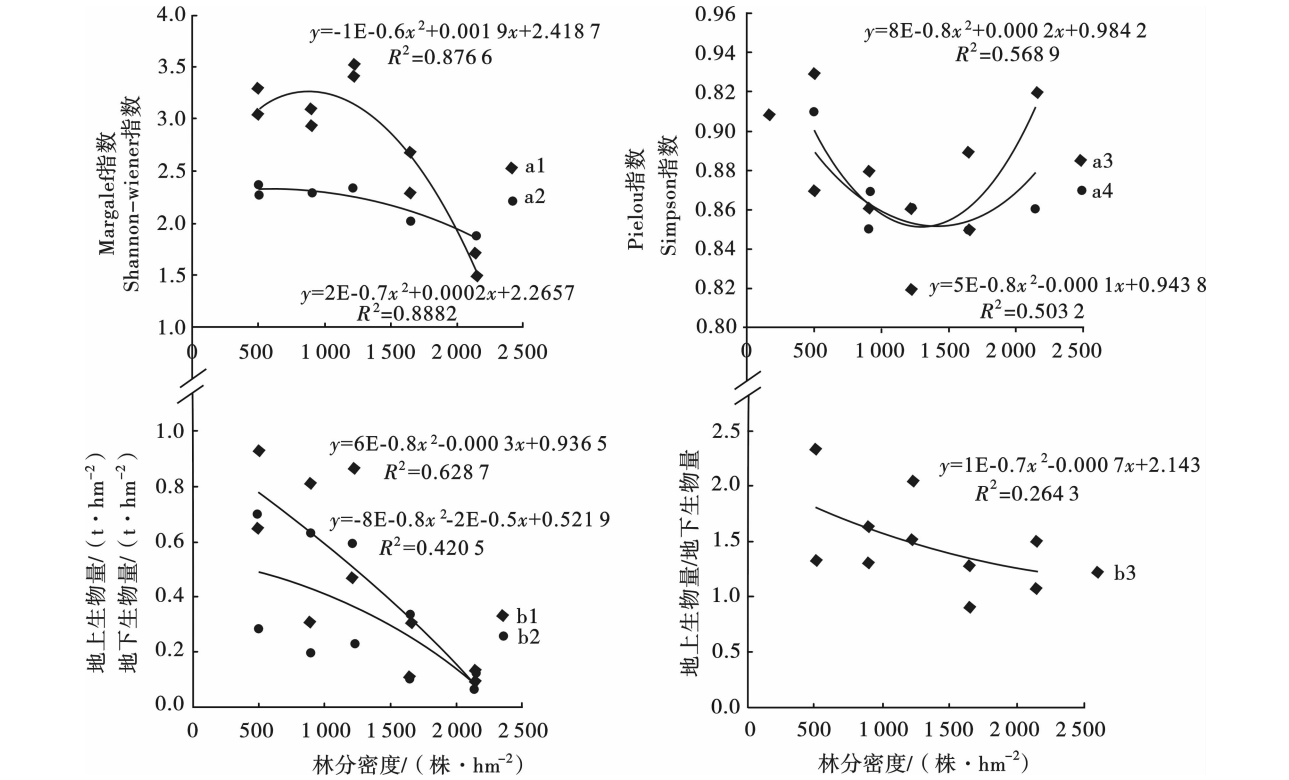


图 2 不同林分密度下刺槐林物种多样性及生物量的动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of understorey diversity and biomass of *R. pseudoacacia* in difference stand densities

2.2.3 不同坡向刺槐林下植物多样性及生物量
比较不同坡向刺槐林下的物种多样性可以看出 各种指数都是阴坡优于阳坡(表 5),尤其是 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数更为明显,这种

差异主要是由于阴坡的水分条件优于阳坡,喜阴物种能够存活,植被生长的限制性较小,导致物种的种类和群落的复杂度表现的更为优越。而 Pielou 指数和 Simpson 指数的差异并不大,说明阴坡和阳坡林下的植物分布的均匀度和优势度相差不多,并未因为立地

条件的差异而形成优势明显的群落结构。

不同坡向的林下生物量差异明显,地上生物量、地下生物量及其比值均是阴坡优于阳坡,其原因主要是阴坡的水分养分条件好于阳坡,从而直接影响了生物量的累积。

表 5 不同坡向刺槐林下物种多样性及生物量变化(林龄:20 a,林分密度:925 株·hm⁻²)

Table 5 Comparison of understory diversity and biomass of *R. pseudoacacia* in difference site conditions
(Stand age:20 a, Stand density:925 individual number·hm⁻²)

坡向	多样性指数				林下生物量		
	Margalef	Pielou	Shannon-Wiener	Simpson	AB/(t·hm ⁻²)	BB/(t·hm ⁻²)	AB/BB
阳	2.69±0.13	0.82±0.00	2.08±0.01	0.83±0.01	0.49±0.11	0.43±0.17	1.23±0.23
阴	3.24±0.23	0.85±0.01	2.31±0.02	0.86±0.00	0.89±0.17	0.67±0.09	1.31±0.07

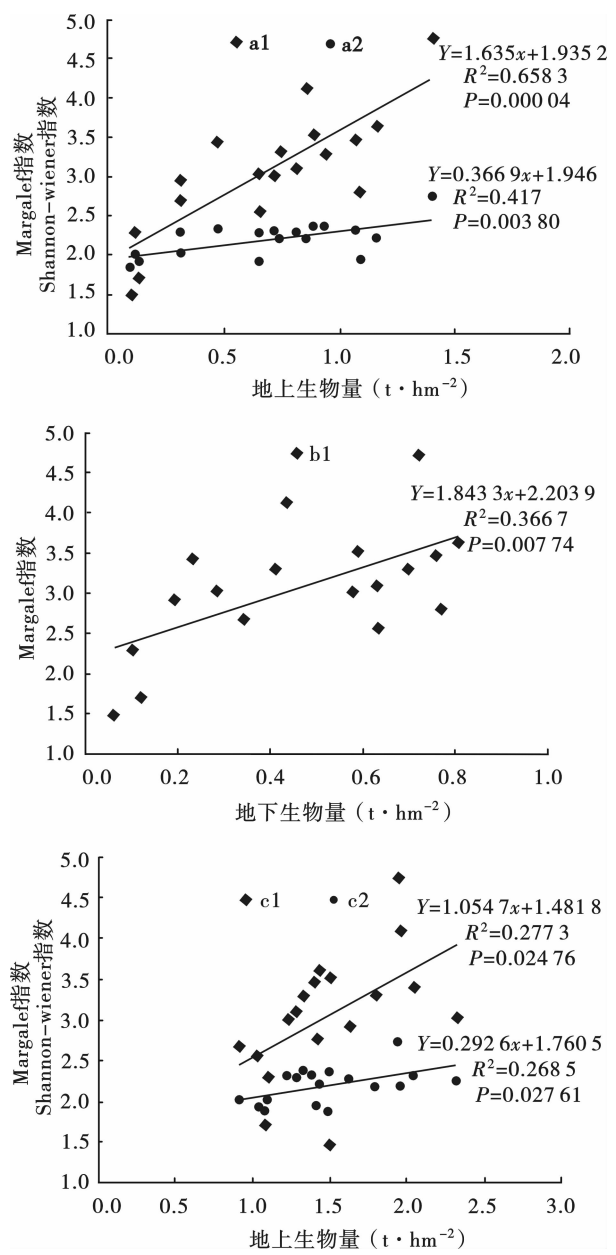


图 3 刺槐林下物种多样性与生物量的相关关系

Fig. 3 Relationship between understory diversity and biomass of *R. pseudoacacia* forestal.

2.3 刺槐林下物种多样性与生物量的相关关系

对刺槐林下物种多样性与生物量之间进行相关

关系拟合(表 6),结果发现,Margalef 指数与林下生物量的关系最为密切,与生物量的 3 个指数都有一定的相关关系,表现为与林下地上生物量和地下生物量都呈现极显著相关关系,而与地上生物量/地下生物量的相关关系为显著水平。Shannon-Wiener 指数与地上生物量之间的相关关系表现为极显著水平,而与地上生物量/地下生物量的相关关系表现为显著水平。Pielou 指数与 Simpson 指数与生物量没有明显的相关关系。

表 6 刺槐林下物种多样性与生物量的相关关系分析

Table 6 Correlation coefficients between understory diversity and biomass of *R. pseudoacacia* forest

项目	Margalef	Pielou	Shannon-Wiener	Simpson
AB	0.811 **	-0.192	0.646 **	0.030
BB	0.606 **	-0.239	0.437	-0.708
AB/BB	0.527 *	-0.089	0.518 *	0.091

注:*,** 分别表示相关关系达显著和极显著水平。

3 结论与讨论

研究区的刺槐林下植物群落主要是造林后自然发育形成的,随着林龄的增加,物种多样性呈现出明显的下降趋势,并且没有特别优势的群落结构形成,并不利于刺槐林可持续的发展与自我更新能力的构建。刺槐作为速生树种,在 11 a 左右已经进入中龄林阶段^[17],除了地下生物量的累积外,其余各项参数都呈现下降趋势,说明刺槐林在进入中龄林后已经可以采取一定的措施帮助其健康发展,例如对其进行抚育间伐,同时补植林下灌草植物,使其能在人为干预后实现自我稳定健康生长。研究区的刺槐栽植密度对于林下物种多样性和生物量的影响已能从前面的分析体现,对各数据进行二项式拟合后发现,在密度为 950 株·hm⁻²左右时最适宜于林下群落的健康发展,这也与王百田^[-9]和王克勤^[11]等人的研究结果接近,因此对于密度较小的刺槐林可以进行一定的补植,而对于密度较大的刺槐林则应进行间伐改造,适当调整乔灌草配置。阴坡的各项指标均优

于阳坡,这与很多研究结论一致^[15,17],主要由于阴坡的水分条件较好,利于林下植物生长,而阳坡由于水分条件较差,使得林下植物之间竞争较阴坡激烈,植被生长受到抑制。黄土高原地区的阳坡造林是林业实际生产时的难点,针对其立地条件应选取比较耐旱的树种进行造林,例如山杏、沙棘等^[18-19],而不局限于刺槐;并且在造林时适当降低栽植密度,减少林木间竞争,为群落的层次化发育提供空间;同时,在造林时考虑乔灌木的整体配置,构建合理的森林生态体系,促进林分的正向演替,降低立地因子对造林的负面影响。

研究区刺槐林下的物种多样性与生物量间存在一定的相关关系,但结合物种多样性和生物量对刺槐林进行群落结构的评价还存在一定的困难,在后期研究中必须考虑加入更多的指标来总体论证适宜于刺槐林健康发育的配置模式,为后续的林分抚育改造提供更多的依据。

参考文献:

[1] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.

[2] GILLIAM F S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems[J]. Bioscience, 2007, 57(10):845-858.

[3] KEMS B K, THIES W G, NIWA C G. Season and severity of prescribed burn in ponderosa pine forests: implications for understory native and exotic plants[J]. Ecoscience, 2006, 1(3):44-55.

[4] 雷相东,唐守正. 林分结构多样性指标研究综述[J]. 林业科学, 2002, 38(3):140-146.

LEI X D, TANG S Z. Indicators on structural diversity within-stand: a review[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(3):140-146. (in Chinese)

[5] 何佩云,丁贵杰,谌红辉. 第1~2代马尾松人工林林下植被的多样性比较[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(2):70-74.

HE P Y, DING G J, ZHAN H H. Diversity comparison of undergrowth vegetation in 1st and 2nd generations masson pine plantations [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(2):70-74. (in Chinese)

[6] 张峰,上官铁梁,李素珍. 关于灌木生物量建模方法的改进[J]. 生态学杂志, 1993, 12(6):67-69.

[7] 罗云建,张小全,王效科. 森林生物量的估算方法及其研究进展[J]. 林业科学, 2009, 45(8):129-134.

LUO Y J, ZHANG X Q, WANG X K. Forest biomass estimation methods and their prospects [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(8):129-134. (in Chinese)

[8] 许雯,胡海波,周长海. 皖东地区马尾松林生物量结构及其分布特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(6):111-115.

XU W, HU H B, ZHOU C H. Biomass structure and distribution characters of *Pinus massoniana* in eastern reigon of Anhui province in China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(6):111-115. (in Chinese)

[9] 王百田,王颖,郭江红,等. 黄土高原半干旱地区刺槐人工林密度与地上生物量效应[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(3):35-39.

WANG B T, WANG Y, GUO J H, *et al.* Effect on biomass of

stand density of artificial black locust forest in semi-arid region of Loess Plateau[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2005, 3(3):35-39. (in Chinese)

[10] 张长庆,张文辉. 黄土高原不同立地条件下刺槐人工林种群的无性繁殖与更新[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009, 37(1):135-144.

ZHANG C Q, ZHANG W H. A study on asexual reproduction and regeneration of *Robinia pseudoacacia* plantations in different habitats in Hilly Area of the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Edi. , 2009, 37(1):135-144. (in Chinese)

[11] 王克勤,王斌瑞. 黄土高原刺槐林间伐改造研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1):11-15.

WANG K Q, WANG B R. Study on thinning to *Robinia pseudoacacia* forest on the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(1):11-15. (in Chinese)

[12] 彭鸿. 林龄和立地对渭北黄土高原刺槐和油松人工林的影响[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(3):1-6.

PENG H. Effects of age and site goodness on the growth of Black Locust(*Robinia pseudoacacia* L.) and Chinese Pine(*Pinus tabulae formis* Carr.) plantations on the Weibei Loess Plateau [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2001, 16(3):1-6. (in Chinese)

[13] 刘江华,刘国彬,侯禧禄,等. 刺槐林地土壤水分与林下植物群落生物量的关系[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3):43-46.

LIU J H, LIU G B, HOU X L, *et al.* Relationship between soil moisture of *Robinia pseudoacacia* forests and aboveground biomass of understory vegetation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(3):43-46. (in Chinese)

[14] 杜峰,程积民,山仑. 乔灌木植被条件下土壤水分动态特征[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1):91-94.

[15] 邓磊,张文辉. 黄土沟壑区刺槐人工林的天然发育规律[J]. 林业科学, 2010, 46(12):15-22.

DENG L, ZHANG W H. Natural development pattern of *Robinia pseudoacacia* plantations in Loess Hilly Region[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(12):15-22. (in Chinese)

[16] 吴征镒,孙航,周渐昆,等. 中国种子植物区系地理[M]. 北京:科学出版社, 2011.

[17] 张晶晶,赵忠,宋西德,等. 渭北黄土高原人工刺槐林植物多样性动态[J]. 西北植物学报, 2010, 30(12):2490-2496.

ZHANG J J, ZHAO Z, SONG X D, *et al.* Biodiversity dynamics of artificial *Robinia pseudoacacia* forest in Weibei Loess Plateau[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(12):2490-2496. (in Chinese)

[18] 阮成江,李代琼. 黄土丘陵区沙棘群落特性及林地水分、养分分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9):1061-1064.

RUAN C J, LI D Q. Community characteristics of *Hippophae rhamnoides* forest and water and nutrient condition of the woodland in Loess Hilly Region[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9):1061-1064. (in Chinese)

[19] 王乃江,侯庆春,张文辉,等. 黄土高原乡土树种光合作用及抗旱性研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(3):26-29.

WANG N J, HOU Q C, ZHANG W H, *et al.* Photosynthesis and drought resistance of the native species in Loess Plateau [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(3):26-29. (in Chinese)