

DOI: 10.5846/stxb201811062404

夏莹莹,郝丙青,江泽鹏,刘凯,毛子军.广西油茶人工林林下植物多样性区域变化规律.生态学报,2020,40(10):3507-3518.

Xia Y Y, Hao B Q, Jiang Z P, Liu K, Mao Z J. Variations of undergrowth species diversity on *Camellia oleifera* plantations in Guangxi. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3507-3518.

广西油茶人工林林下植物多样性区域变化规律

夏莹莹^{1,2}, 郝丙青², 江泽鹏², 刘 凯², 毛子军^{1,*}

1 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040

2 广西壮族自治区林业科学研究院/广西特色经济林培育与利用重点实验室/广西油茶良种与栽培工程技术研究中心, 南宁 530002

摘要:为揭示广西油茶林植物多样性的区域变化规律,以广西 7 个区域具代表性的油茶林为研究对象,采用典型抽样法,对油茶林林下植被进行了调查,并对比分析了群落物种组成、结构特征和物种多样性。结果表明:(1)油茶林林下植被灌草层科数、属数、种数最多的是三江县油茶林(SJ)、较少的是巴马县油茶林(BM)和来宾市油茶林(LB);除巴马县油茶林(BM)灌木层优势种为共有种,其他区域油茶林的灌木层、草本层优势种均为交叉种。(2)多样性指数方面灌木层仅 Margalef 指数差异显著,草本层 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数差异显著。(3)通过回归分析,纬度与灌木层(单一种数量)、草本层(科数、属数、种数、单一种数量)以及总数量(属数、种数)、年均温度与草本层(科数、属数、种数、单一种数量)、有效积温与草本层(属数、种数、单一种数量)、年均降雨量与灌木层单一种数量之间的趋势模拟呈二次曲线关系。(4)不同区域油茶林物种相似性不高,通过相似系数矩阵进行聚类分析三江县油茶林(SJ)、贺州市八步区油茶林(HZ)、岑溪市软枝油茶种子园油茶林(CX)、南宁市油茶林(NN)为一类,凤山县油茶林(FS)、巴马县油茶林(BM)和来宾市油茶林(LB)为一类。广西油茶人工林林下植物多样性的区域变化规律可能与不同区域的生境异质性有关。

关键词:植物多样性;林下植物;油茶林

Variations of undergrowth species diversity on *Camellia oleifera* plantations in Guangxi

XIA Yingying^{1,2}, HAO Bingqing², JIANG Zepeng², LIU Kai², MAO Zijun^{1,*}

1 The Key Laboratory of Forest Plant Ecology Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Guangxi Forestry Research Institute/Guangxi Key Laboratory of Special Non-wood Forest Cultivation & Utilization/ Improved Variety and Cultivation Engineering Research Center of Oil-tea *Camellia* in Guangxi, Nanning 530002, China

Abstract: In the present study, we selected seven typical *Camellia oleifera* plantations in Guangxi to examine the diversity of their undergrowth species. Specially, we focused on the study of its species composition, structural features and diversity. Our results are as follows. First, Sanjiang (SJ) had the most abundance number of families, genera and species of shrubs and herbs in the *C. oleifera* community, whereas Bama (BM) and Laibin (LB) had relatively least abundance number. In addition, the common species were dominant only in the BM shrubs layer, while the dominant species of shrubs and herbs in all other communities were cross-species. Secondly, the difference in Margalef index was only significantly among shrubs diversity. In contrast, the difference in the indexes of Margalef, Simpson and Shannon-Wiener for herbs diversity were all significant. Thirdly, the regression analysis showed that the relationship between latitude and numbers of single-species in shrubs layer, families, genera, species, and single-species in herbs layer and the total genera and species exhibited a quadratic model. Similarly, the tendency between the average annual temperature and the numbers of families, genera,

基金项目:广西自然科学基金(2014GXNSFBA118092);广西林业科技项目(桂林科学[2014]第31号、桂林科研[2015]第30号)

收稿日期:2018-11-06; 修订日期:2020-02-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zijunm@nefu.edu.cn

species, and single-species in herbs layer, the effective accumulative temperature and the numbers of genera, species, and single-species in herbs layer, the average annual rainfall and the number of single-species in shrubs layer also showed quadratic model. Finally, the species in different *C. oleifera* communities were observed to show a few similarities. Cluster analysis with similarity metrics showed that the undergrowth species of the plantations in SJ, Babu district in Hezhou (HZ), Cenxi soft branch *Camellia oleifera* seed orchard (CX) and Nanning (NN) were classified into the same class, while the undergrowth species of the plantations in Fengshan (FS), BM and LB belonged to another class. In summary, the regional variation of undergrowth species in Guangxi *C. oleifera* plantations was closely related with the habitat heterogeneity in different areas.

Key Words: plant diversity; undergrowth species; *Camellia oleifera* plantation

植物物种多样性是森林评价的重要指标,在维持森林林内生态系统平衡中发挥重要作用,不仅能综合体现出森林内物种的丰富度和均匀度,还可以反映出森林群落的结构类型、稳定程度及生境差异等^[1]。我国是人工林大国,居世界第一位^[2],研究人工林的生物多样性具有重要意义,一方面生物多样性影响着人工林生态系统的稳定,另一方面生物多样性的研究对于人工林的系统研究也是十分重要的,因为一定程度上它还可以反映人工林的可持续经营水平^[3-10]。近年来,人工林集约化经营在带来经济效益的同时,也增强了对生态系统的干扰程度,导致生产力水平低、稳定性差等问题,因此,人工林生态效益也越来越受到重视^[11]。经济林是兼顾经济效益、生态效益和社会效益最好的一类林种^[12],据统计,我国人工经济林面积占人工林总面积的 25.42%^[2]。2009 年,王兵和鲁绍伟开展了中国经济林生态系统服务价值评估,并明确了经济林在维系和促进当地社会经济持续发展和环境保护中的巨大作用,通过评估,经济林生物多样性保护方面的价值占 15.59%^[13],在湖南省油茶林生态经济效益研究中,油茶林生态与经济效益综合比为 10:3,油茶林的生态效益略次于乔木林^[14],因此对油茶人工林进行生态效益方面的调查和研究也是十分必要的。

油茶(*Camellia oleifera*)是我国重要的木本油料树种,也是广西特色的经济林树种^[15]。根据广西壮族自治区人民政府关于实施油茶“双千”计划助推乡村振兴的意见(桂政发[2018]52号),至 2022 年广西油茶种植面积将突破 66.67 万 hm^2 ,从森林群落尺度,油茶林生态系统是广西森林生态系统的重要组成部分,但对这一生态系统的多样性研究却鲜见报道。因此,系统开展油茶林植物多样性的研究对于认识和评估其生态系统的功能价值具有重要意义,也是十分必要和迫切的。增加人工林的生物多样性、提高并维持林地的长期生产力已成为普遍关注和亟待解决的问题^[16],广西境内的油茶人工林多为纯林经营,层次结构比较单一,而且油茶在种植的前三年为收益空窗期,如何提高油茶人工林的生物多样性和林地生产力也是油茶产业发展过程中的重要问题。目前,有关油茶的研究多集中于现代分子技术、活性成分及加工工艺等方面^[17-20],而对于其林下植物多样性的研究报道相对较少^[21-23],且研究范围有一定的局限性,尤其是林下生物多样性本身对人工林的生态系统效应知之甚少。为了深入了解油茶人工林生态系统的生态功能价值,摸清其林下生物多样性的本底资料尤为重要。本研究拟在广西油茶主要分布区内选取典型的油茶林为研究对象,从调查油茶林下植被入手,分析不同分布区油茶林下植物物种组成、群落结构以及多样性的变化规律,以期为油茶科学经营和管理实践提供重要的理论支持,同时为油茶林的生态系统服务功能评价进行有益的补充。

1 方法

1.1 研究区概况

本研究试验地点根据油茶种植面积、管护情况以及油茶林林龄等因素,结合广西油茶的区域发展特点,选择广西壮族自治区区内 7 个有代表性的油茶人工林种植区域,并在油茶林内设置调查样地。7 个区域包括三江油茶林(SJ)、凤山县油茶林(FS)、贺州市八步区油茶林(HZ)、巴马县油茶林(BM)、来宾市油茶林(LB)、岑溪市软枝油茶种子园油茶林(CX)、南宁市油茶林(NN)。各区域林地基本情况见表 1。

表 1 不同区域油茶林基本情况

Table 1 The basic information of *C. oleifera* in different regions

地点 Location	纬度/N Latitude	经度/E Longitude	林龄 Stand age/a	株行距 Spacing in the rows and spacing between rows	平均株高 Average height/m	平均冠幅 Average canopy /m ²	pH	海拔 Altitude /m	坡度 Slope/(°)	经营措施 Management measures	年均降雨量 Average annual rainfall/ mm	有效积温 Effective accumulated temperature/°C	年均温度 Average annual temperature/°C
SJ	25°64'—25°70'	109°44'—109°77'	10—40	2m×3m 2m×2m	2.42	5.29	4.27	235	19.5	以抚育为主	1548	5500	18.1
FS	24°62'—24°68'	107°12'—107°14'	10—40	2m×2m	2.48	5.55	4.06	715	20	以抚育为主	1360	6181	20.3
HZ	24°22'—24°23'	111°67'—111°69'	10—40	2m×3m	2.00	5.29	4.57	117	20	以抚育为主	1535	6350	19.9
BM	24°08'—24°12'	107°00'—107°03'	10—40	2m×3m	2.35	4.89	4.45	599	30	以抚育为主	1530	7092	20.5
LB	23°86'—24°29'	109°33'—110°09'	10—40	2m×3m	2.00	2.88	4.95	180	10	以抚育为主	1564	6280	20.1
CX	22°58'—22°59'	110°54'—110°55'	10—40	2m×3m	2.99	6.24	4.35	163	32	以抚育为主	1440	7000	21.3
NN	22°04'—22°07'	108°35'—108°36'	10—40	2m×3m	2.79	6.18	4.34	130	26.5	以抚育为主	1350	7000	21.8

SJ:三江县油茶林 *C. oleifera* plantation of San Jiang County; FS:凤山县油茶林 *C. oleifera* plantation of Feng Shan County; HZ:贺州市八步区油茶林 *C. oleifera* plantation of Ba Bu District in He Zhou City; BM:巴马县油茶林 *C. oleifera* plantation of Ba Ma County; LB:来宾市油茶林 *C. oleifera* plantation of Lai Bin City; CX:岑溪市软枝油茶种子园油茶林 *C. oleifera* plantation of Cenxi soft branch *Camellia oleifera* seed orchard; NN:南宁市油茶林 *C. oleifera* plantation of Nan Ning City

1.2 样地设置及调查

油茶为小乔木或灌木,且人工林多为纯林,林下群落结构主要为灌木层、草本层^[23]。本研究采用典型的植被调查方法,根据7个区域的油茶分布特征,每个区域设置3个20 m×30 m的样地,面积总计12600 m²,调查样地内所有灌木和草本物种。分别记录样方内灌木的物种名、株数、盖度、高度(包括平均高度、最高和最低高度)以及记录草本的物种名、多度、盖度、高度(平均高度、最高和最低高度)等。

1.3 测量指标

1.3.1 多样性指数

采用 α 多样性测度方法,分别计算物种丰富度指数(Margalef指数)、物种多样性指数(Simpson指数、Shannon-Wiener指数、Pielou均匀度指数)^[24]。

(1)物种丰富度指数(Margalef指数):

$$D_{Ma} = (S - 1) / \ln N$$

(2)优势度指数(Simpson指数):

$$D_{sim} = 1 - \sum_{i=1}^s (P_i)^2 \quad (i = 1, 2, \dots, S)$$

(3)Shannon-Wiener指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (i = 1, 2, \dots, S)$$

(4)均匀度指数(Pielou均匀度指数):

$$J_{sw} = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln S$$

式中, S 为所有物种数目, N 为全部物种的个体总数, P_i 为物种*i*的重要值。

重要值根据相对多度、相对频度和相对盖度3个指标计算。

1.3.2 群落相似性系数(Sorensen指数)^[25-28]:

$$IS = [2c / (a + b)] \times 100\%$$

式中, a 为一个样地的物种数, b 为另一个样地的物种数, c 为这两个样地的共有物种数。

1.4 数据分析

方差分析、回归分析及聚类分析均采用IBM SPSS Statistics 19.0软件。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较不同区域油茶林灌木层、草本层多样性指数之间的差异,方差分析前检验方差齐性,采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较;林下植被的数量特征与环境因子的回归分析根据*P*值和*R*²选择最优拟合方程。物种重要值与环境因子关系运用Canoco for Windows 4.5软件,采用约束性排序方法中的典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)进行排序。

2 结果与分析

2.1 不同区域油茶人工林林下植被物种组成

各个分布区中,油茶林林下植被灌草层科数、属数、种数最多的是SJ油茶林,其灌木层物种组成包括27科、44属、55种,草本层物种组成包括41科、85属、100种,总物种数155种;油茶林林下植被灌草层科数、属数、种数最少的是BM油茶林和LB油茶林,其中BM油茶林灌木层物种组成包括14科、17属、21种,草本层物种组成包括23科、38属、40种,总物种数61种;LB油茶林灌木层物种组成包括18科、26属、29种,草本层物种组成包括19科、37属、38种,总物种数67种(表2)。

不同区域油茶人工林林下植被在物种结构关系上主要包括3种:共有种、分布区间的交叉种(指除共有种外各分布区间相同的物种)、单一种。灌木层中共有种4种,草本层中共有种6种,且共有物种在各分布区所占的比例不同,草本层中共有种以蕨类植物(Pteridophyta)、禾本科植物(Gramineae)和菊科植物

(Compositae)为主。对于每个分布区,占有比重最大的物种出现在交叉物种中(BM 油茶林灌木层为共有种)。灌木层单一种数量较多的为 CX 油茶林和 NN 油茶林,草本层单一种数量较多的为 SJ 油茶林(表 3)。

表 2 不同区域油茶人工林林下植被物种组成

Table 2 The species compositions of *C. oleifera* plantation in different regions

地点 Location	科数 No. of families		属数 No. of genera		种数 No. of species		总物种数 No. of total species
	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer	
SJ	27	41	44	85	55	100	155
FS	28	27	35	52	46	57	103
HZ	28	24	44	43	58	47	105
BM	14	23	17	38	21	40	61
LB	18	19	26	37	29	38	67
CX	26	23	48	37	66	42	108
NN	26	32	42	50	52	52	104

表 3 不同区域共有种、重要值比例最高的物种及单一种数量

Table 3 Common species, the species with the highest proportion of important values and the number of single species in different regions

	共有种 Common species	重要值比例最高的物种 Species with the highest proportion of significant values	单一种数量 Single species
灌木层 Shrub layer	4 种	SJ:地苿 <i>Melastoma dodecandrum</i> (交叉种)	SJ:8 种
	粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	FS:地苿 <i>Melastoma dodecandrum</i> (交叉种)	FS:9 种
	地桃花 <i>Urena lobata</i>	HZ:葛 <i>Pueraria lobata</i> (交叉种)	HZ:10 种
	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	BM:地桃花 <i>Urena lobata</i> (共有种)	BM:5 种
	展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	LB:桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i> (交叉种)	LB:4 种
		CX:野牡丹 <i>Melastoma candidum</i> (交叉种)	CX:19 种
		NN:牛白藤 <i>Hedyotis hedyotideae</i> (交叉种)	NN:18 种
草本层 Herb layer	6 种	SJ:雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i> (交叉种)	SJ:30 种
	乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	FS:白茅 <i>Imperata cylindrica</i> (交叉种)	FS:14 种
	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	HZ:红根草 <i>Lysimachia fortunei</i> (交叉种)	HZ:4 种
	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	BM:阔叶丰花草 <i>Borreria latifolia</i> (交叉种)	BM:5 种
	小蓬草 <i>Conyza canadensi</i>	LB:白花鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i> (交叉种)	LB:10 种
	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	CX:芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i> (交叉种)	CX:3 种
	乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	NN:藜苳蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> (交叉种)	NN:8 种

①交叉种主要指除共有种外各分布区间相同的物种;②灌木层共有种中的油茶为天然更新的幼苗

2.2 不同区域油茶人工林林下植被多样性指数比较

不同区域灌木层多样性指数中, Margalef 指数变化范围为 2.03—5.82, Simpson 指数变化范围为 0.81—0.94, Shannon-Wiener 指数变化范围为 2.02—2.98, Pielou 均匀度指数变化范围为 0.63—0.87, Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数在 CX 油茶林最大,在 BM 油茶林最小, Pielou 均匀度指数在 LB 油茶林最大,在 FS 油茶林最小,其中 Margalef 指数间差异显著 ($P < 0.05$), Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数各区域间差异不显著 ($P > 0.05$)。不同区域草本层多样性指数中, Margalef 指数变化范围为 2.17—5.18, Simpson 指数变化范围为 0.71—0.91, Shannon-Wiener 指数变化范围为 1.80—3.03, Pielou 均匀度指数变化范围为 0.60—0.79, Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数在 SJ 油茶林最大, Simpson 指数在 FS 油茶林最大, Pielou 均匀度指数在 HZ 油茶林最大, Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数在 LB 油茶林最小,其中 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数间差异显著 ($P < 0.05$), Pielou 均匀度指数各区域间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 1)。

2.3 植被数量与相关环境因子的关系

对各区域油茶林林下植被的数量(灌木层和草本层的科数、属数、物种数、单一种数量以及总的科数、属

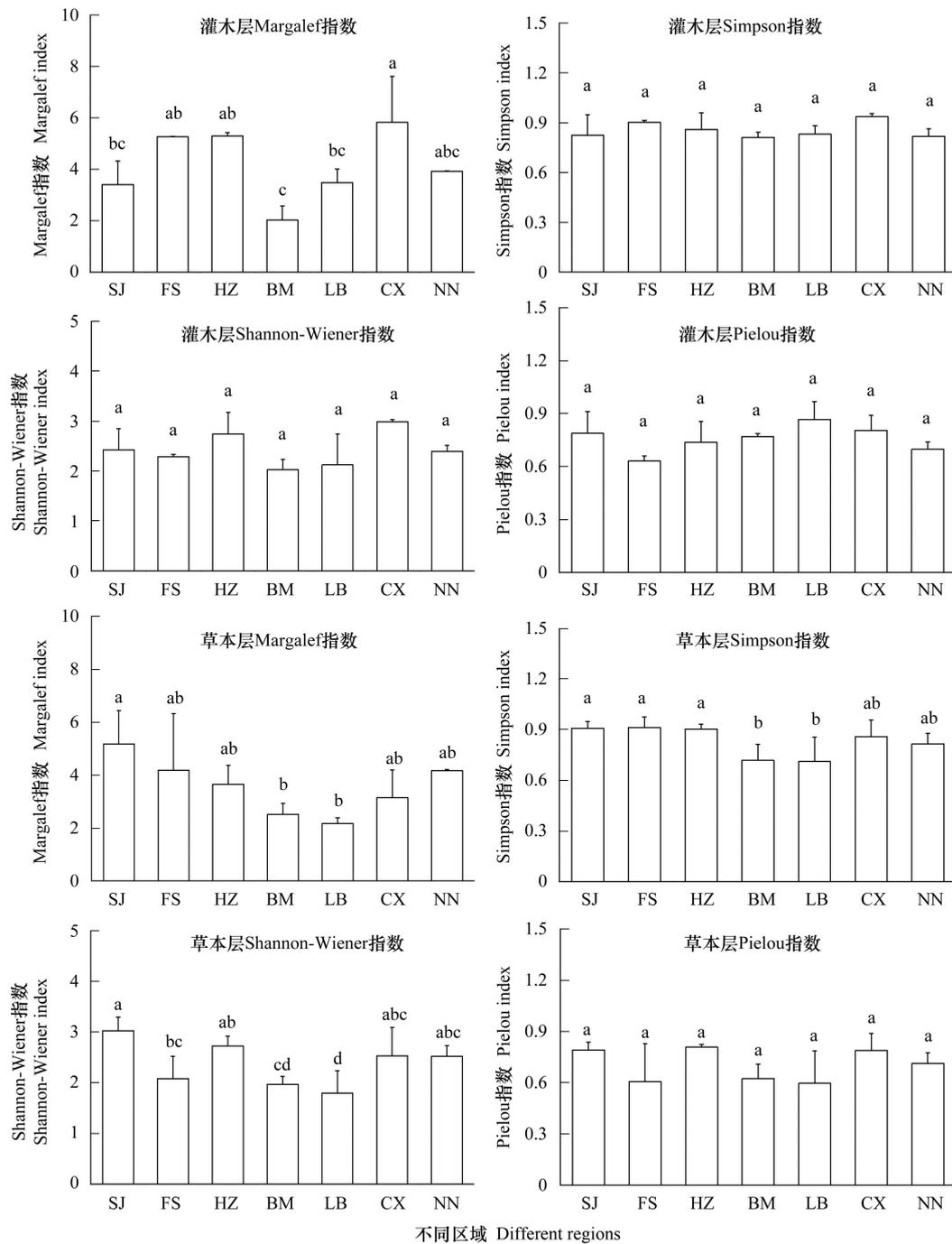


图1 不同区域油茶林灌木层、草本层多样性指数

Fig.1 The species diversity indexes of the shrub layer and herb layer in different *C. oleifera* plantations

不同小写字母表示 0.05 水平上具有显著差异 ($P < 0.05$); SJ: 三江县油茶林 *C. oleifera* plantation of San Jiang County; FS: 凤山县油茶林 *C. oleifera* plantation of Feng Shan County; HZ: 贺州市八步区油茶林 *C. oleifera* plantation of Ba Bu District in He Zhou City; BM: 巴马县油茶林 *C. oleifera* plantation of Ba Ma County; LB: 来宾市油茶林 *C. oleifera* plantation of Lai Bin City; CX: 岑溪市软枝油茶种子园油茶林 *C. oleifera* plantation of Cenxi soft branch *Camellia oleifera* seed orchard; NN: 南宁市油茶林 *C. oleifera* plantation of Nan Ning City

数和种数)与纬度、经度、平均冠幅、平均株高、海拔、坡度、年均温度、有效积温和年均降雨量进行回归分析发现(表4);纬度与草本层的科数、属数、种数、总属数、总种数、灌木层的单一种数量的二次曲线回归拟合效果最佳,其变化趋势一致,随着纬度的升高,其数量呈现先降低后升高的趋势;年平均温度与草本层的科数、属

数、种数、单一种数量的二次曲线回归拟合效果最佳,其变化趋势一致,随着年均温度的升高,其数量呈现先降低后升高的趋势;有效积温与草本层的属数、种数、单一种数量的二次曲线回归拟合效果最佳,其变化趋势一致,随着有效积温的升高,其数量呈现先降低后升高的趋势;年均降雨量与灌木层单一种数量的二次曲线回归拟合效果最佳,其变化趋势随着年降雨量的增多其数量呈现先上升后下降的趋势。

表 4 植被的数量与相关因子的回归分析

Table 4 Regression analysis of vegetation quantity and related factors

因子 Factor	最优拟合方程 Optimal fitting equation	R^2	P
纬度 Latitude	$Y_1 = 3320.70 - 279.03x + 5.90x^2$	0.85	0.02
	$Y_2 = 6735.71 - 571.19x + 12.17x^2$	0.95	0.00
	$Y_3 = 8620.41 - 731.65x + 15.89x^2$	0.98	0.00
	$Y_4 = 10626.68 - 893.15x + 18.86x^2$	0.86	0.02
	$Y_5 = 14197.65 - 1192.19x + 25.16x^2$	0.83	0.03
	$Y_6 = 1783.18 - 144.54x + 2.94x^2$	0.84	0.03
	$Y_7 = 3016.43 - 258.69x + 5.55x^2$	0.92	0.01
年均温度 Average annual temperature	$Y_1 = 1547.69 - 149.87x + 3.69x^2$	0.91	0.01
	$Y_2 = 2873.36 - 273.53x + 6.60x^2$	0.89	0.01
	$Y_3 = 3551.10 - 338.04x + 8.14x^2$	0.86	0.02
	$Y_7 = 1200.61 - 113.26x + 2.68x^2$	0.83	0.03
有效积温 Effective accumulated temperature	$Y_2 = 4480.07 - 0.43x + 3.20e^{-5}x^2$	0.92	0.01
	$Y_3 = 1899.90 - 0.56x + 4.14e^{-5}x^2$	0.89	0.01
	$Y_7 = 670.92 - 0.20x + 1.42e^{-5}x^2$	0.92	0.01
年均降雨量 Average annual rainfall	$Y_6 = -952.05 + 1.40x - 0.01x^2$	0.87	0.02
经度 Longitude	$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$ 均不显著 ($P > 0.05$)		
平均冠幅 Average canopy	$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$ 均不显著 ($P > 0.05$)		
平均株高 Average height	$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$ 均不显著 ($P > 0.05$)		
海拔 Altitude	$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$ 均不显著 ($P > 0.05$)		
坡度 Slope	$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$ 均不显著 ($P > 0.05$)		
年均温度 Average annual temperature	Y_4, Y_5, Y_6 不显著 ($P > 0.05$)		
有效积温 Effective accumulated temperature	Y_1, Y_4, Y_5, Y_6 不显著 ($P > 0.05$)		
年均降雨量 Average annual rainfall	$Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_7$ 不显著 ($P > 0.05$)		

Y_1 代表草本层的科数, Y_2 代表草本层的属数, Y_3 代表草本层的种数, Y_4 代表总属数, Y_5 代表总种数, Y_6 代表灌木层单一种数量, Y_7 代表草本层单一种数量

2.4 不同区域油茶人工林林下植被相似系数比较及聚类分析

无论灌木层还是草本层,各分布区的物种相似度并不高,灌木层在 21 对组合中仅 SJ—FS、SJ—HZ、SJ—CX、HZ—CX、HZ—NN 的相似系数超过 0.50;草本层在 21 对组合中仅 SJ—HZ、HZ—CX、HZ—NN、CX—NN 的相似系数超过 0.50(表 5)。从聚类分析情况看(图 2),灌木层和草本层的聚类均可以分为两类,即 SJ、HZ、CX、NN 为一类,FS、BM、LB 为一类。

2.5 影响油茶人工林林下植被的因素

通过物种重要值与相关环境因子 CCA 排序可知(图 3),无论是灌木层还是草本层各因子解释贡献率比例较大的均为坡度、林龄和海拔,其次是株高、经纬度、冠幅和郁闭度。油茶林林下植被的丰富度(物种数量)与水热因子的回归分析表明(表 4),灌木层的单一种数量随年均降雨量的增加呈现先升高后降低的趋势,草本层物种的科数、属数、种数和单一种的数量随年均温度和有效积温的增加数量呈现先降低后升高的趋势。

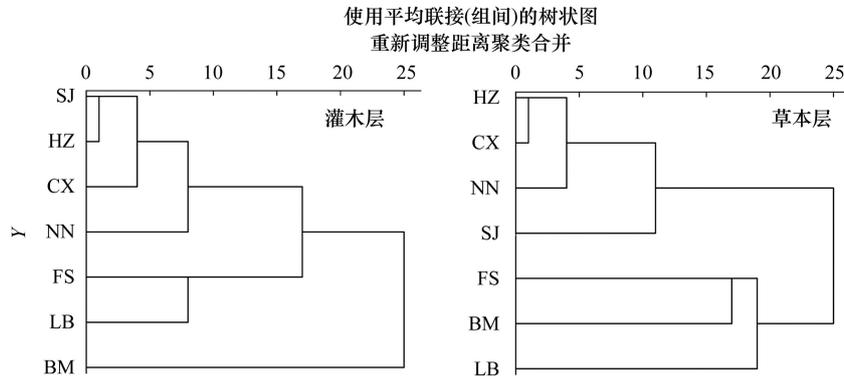


图 2 不同区域油茶人工林聚类分析图

Fig.2 Cluster diagram of different *C. oleifera* plantations

表 5 不同区域油茶人工林林下植被相似系数比较

Table 5 Comparison of similarity coefficients of different *C. oleifera* plantations

灌木层 Shrub layer		编号 No.	SJ	FS	HZ	BM	LB	CX	NN
	SJ		1	0.51	0.62	0.32	0.40	0.56	0.49
	FS			1	0.48	0.27	0.48	0.41	0.31
	HZ				1	0.28	0.34	0.53	0.51
	BM					1	0.36	0.25	0.16
	LB						1	0.29	0.22
	CX							1	0.46
	NN								1

草本层 Herb layer		编号 No.	SJ	FS	HZ	BM	LB	CX	NN
	SJ		1	0.39	0.53	0.36	0.30	0.48	0.47
	FS			1	0.38	0.41	0.36	0.36	0.33
	HZ				1	0.39	0.33	0.63	0.59
	BM					1	0.38	0.39	0.35
	LB						1	0.38	0.31
	CX							1	0.55
	NN								1

从聚类分析情况看(图 2),灌木层和草本层的聚类均可以分为两类,即 SJ、HZ、CX、NN 为一类,FS、BM、LB 为一类

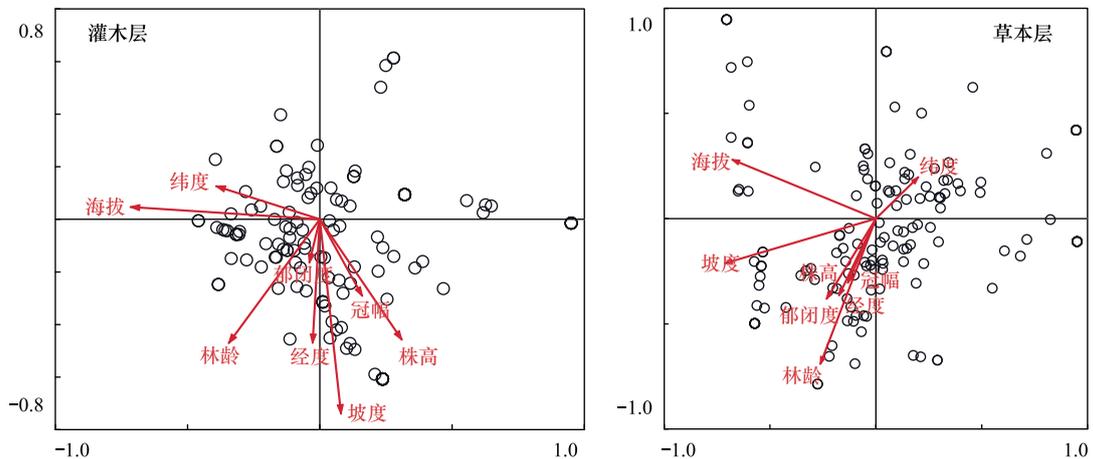


图 3 物种重要值与相关因子 CCA 排序图

Fig.3 Species importance value and related factor CCA ranking map

CCA: 典型相关分析 Canonical correspondence analysis

3 讨论

3.1 不同区域油茶人工林林下植被数量变化特征

油茶属于小乔木或灌木,因其主要为纯林,本研究只是针对林下植被进行研究,与黄建辉等^[29]研究相类似的是,在林下植被的数量特征以及多样性指数变化特征中,灌木层与草本层不仅没有出现梯度变化,而且二者的变化规律也不同,在某种程度上来说,草本层的变化较灌木层强烈。在一些学者的研究中发现,环境对物种多样性的影响特别是对草本层植物种类的影响较为明显,在杉木林中,随着郁闭度的增加,草本植物多样性始终处于增加的状态,而灌木层则不然^[30],因为光照对于林下植被的种类特别是草本层植物的种类是重要的影响因子,灌木层植物一般为需光的先锋物种,当光照减弱,郁闭增加时,一些阴生的草本植物占主导^[22,31]。在实际的调查研究中,因研究范围、研究尺度以及生物类群等因素,不同区域的物种受纬度影响的规律不同^[32-35],冯建孟等在对云南西部地区地带性植物群落物种多样性的地理分布格局研究中发现物种密度随着纬度的降低而呈递增趋势^[36];张殷波等以 34°34'—40°47'N 的暖温带大陆性季风区的太行山为研究区域发现群落植物丰富度和草本植物丰富度随经度和纬度的增加呈上升趋势,而木本植物与经纬度没有明显的相关关系^[37]。与张殷波等^[37]的研究类似的是本研究中草本层的物种的数量变化以及灌草层总的属数、种数表现出随着纬度的升高表现出一定的变化趋势,灌木层与纬度没有明显的相关关系。

3.2 不同区域油茶人工林林下植被物种多样性变化

物种多样性包涵丰富性和平衡性两方面,通常来说, Margalef 指数是从丰富度的角度描述物种多样性, Simpson 指数对物种均匀度更敏感,而 Shannon-Wiener 指数则对丰富度更敏感, Pielou 均匀度体现群落的结构稳定性^[38-40]。本研究 Margalef 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度的变化表现出共同的规律,即不同区域油茶林的多样性指数变化草本层变化更为显著(图 1),4 个指数灌木层仅 Margalef 指数的变化表现出一定的差异性($P < 0.05$),草本层则是 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数均表示出了一定的差异性($P < 0.05$),Pielou 均匀度指数的差异不显著原因应该与所调查的油茶林分均处于生命发育周期的成年阶段有关,人为干预相对于幼年阶段少,群落处于稳定状态。在杨振奇的研究中发现 Shannon-Wiener 指数高,出现稀有种的可能性更大^[41],因为稀有种对 Shannon-Wiener 指数的计算贡献较大^[42],在本研究也能体现这一点,无论是灌木层还是草本层各分布区间均存在着不同比例的单一种,这些单一种的存在一定程度上反映出不同区域的物种差异,在均匀度差异不显著的情况下,Shannon-Wiener 指数对丰富度指数更为敏感^[43],因此综合 Margalef 指数,在 7 个调查区域,灌木层中 CX 油茶林的单一种数量最多为 19 种(表 3),其 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数也最高(图 1),在草本层中 SJ 油茶林的单一种数量最多为 30 种(表 3),其 Margalef 指数、Shannon-Wiener 指数最高(图 1)。

3.3 油茶人工林林下植被多样性区域变化的影响因素

影响生物多样性的因素多而复杂,物种的地理分布格局会受到区域气候类型、地形地貌以及人为因素等多方面的影响^[44],而水、热因子的综合作用是影响生物多样性的主要因素^[45]。影响油茶林生物多样性的因子除主林层冠幅、郁闭度等^[23],海拔、林龄、坡度对灌、草层物种的影响较大(图 3)。一般来说,对于水分受限的地区,水分条件会成为影响多样性的主导因素,而在湿润地区,多样性总体上受热量控制^[36]。广西地处南亚热带和中亚热带季风气候,雨热同季,雨量充沛,油茶林植被多样性受热量因素的影响应该占主要作用,通过油茶林林下植被的数量与水热因子的回归分析也表明,年均降雨量只对灌木层单一种数量影响显著,年均温度和有效积温对草本层的科数、属数、种数和单一种数量均影响显著(表 4)。另外对油茶人工林林下植被的数量特征与纬度的回归分析表明,纬度梯度对林下植被数量特征的变化影响显著,草本层的科数、属数、种数、单一种数量、灌木层单一种数量以及总属数、总种数的变化均表现出先降低再升高的趋势,虽然 7 个试验区域纬度跨越不大,但其影响可能与所在的气候区不同有关^[46](图 4),在区域尺度上,单位面积的物种多样性可能与区域内的生境异质性有关^[36],本研究中,灌、草层的 42 对组合中,分别仅有 5 对和 4 对的组合达到

50%的相似,相似性水平越低,也说明各区域群落间具有较大的生境差异性^[47]。

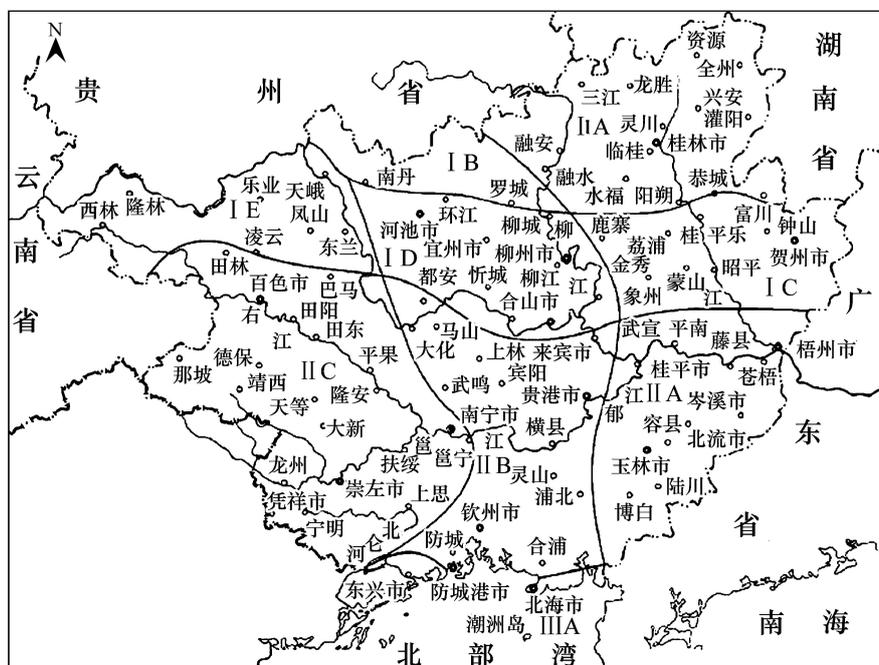


图4 广西气候区划^[46]

Fig.4 Guangxi climate regionalization

I A 中亚热带东北部气候区(桂东北北部气候区), I B 中亚热带北部气候区(桂北气候区), I C 中亚热带东南部气候区(桂东南南部气候区), I D 中亚热带桂中气候区(桂中气候区), I E 中亚热带西南部气候区(桂西北气候区), II A 南亚热带东部气候区(桂东南气候区), II B 南亚热带中部气候区(桂南气候区), II C 南亚热带西部气候区(桂西南气候区), III A 沿海北热带气候区(沿海气候区)

4 结论

林下植被能够反映人工林的植物多样性,也是人工林生态效益的重要部分^[48]。油茶属经济树种,在实际调查过程中会受到一定的人为干扰,本研究中油茶人工林林下植被的数量特征与纬度、年均温度等环境因子拟合呈二次曲线关系,而且不同区域间灌木层、草本层的相似性不高,分析广西油茶人工林林下植物多样性的区域变化规律可能与不同区域的生境的异质性有关,相关验证需要进一步研究。

本研究的结果主要代表果实采收前期油茶人工林林下植被的多样性,油茶林为人工纯林,在果实采收期为方便采摘,一般会进行林地除草清理,生态系统易受到破坏,为改善油茶林的单一结构,一方面应该对林下现有植被进行保护,另一方面可以考虑套(间)种进行复合经营,以耕代抚,适当丰富的林下植被不仅可以促进人工林的生长繁殖、提高产量,还有利于生态系统的稳定和维持可持续发展^[49-51]。对于多样性变化的季节性、动态性变化规律以及土壤因子对林下植被多样性的影响也有待进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] 邹莉, 张国权, 萨喜雅尔图, 于洋, 唐庆明. 凉水原始阔叶红松林与白桦次生林植物多样性的比较研究. 植物研究, 2015, 35(6): 945-951.
- [2] 中国林业网. 全国森林资源状况. <http://www.forestry.gov.cn/gjslzyqc.html>.
- [3] 黄先寒. 云南橡胶林群落植物物种组成与多样性研究[D]. 海口: 海南大学, 2017.
- [4] Hunt S L, Gordon A M, Morris D M, Marek G T. Understory vegetation in northern Ontario jack pine and black spruce plantations: 20-year successional changes. Canadian Journal of Forest Research, 2003, 33(9): 1791-1803.
- [5] Nagaike T, Hayashi A, Abe M, Arai N. Differences in plant species diversity in *Larix kaempferi* plantations of different ages in central Japan. Forest

- Ecology and Management, 2003, 183(1/3): 177-193.
- [6] 吴彦, 刘庆, 何海, 林波. 亚高山针叶林人工恢复过程中物种多样性变化. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1301-1306.
- [7] 高贤明, 陈灵芝. 北京山区辽东栎(*Quercus liaotungensis*)群落物种多样性的研究. 植物生态学报, 1998, 22(1): 24-27, 29-33.
- [8] 庄雪影, 邱美玲. 香港三种人工林下植物多样性的调查. 热带亚热带植物学报, 1998, 6(3): 196-202.
- [9] Ramovs B V, Roberts M R. Understory vegetation and environment responses to tillage, forest harvesting, and conifer plantation development. Ecological Applications, 2003, 13(6): 1682-1700.
- [10] 冯耀宗. 物种多样性与人工生态系统稳定性探讨. 应用生态学报, 2003, 14(6): 853-857.
- [11] 刘世荣, 杨予静, 王晖. 中国人工林经营发展战略与对策: 从追求木材产量的单一目标经营转向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营. 生态学报, 2018, 38(1): 1-10.
- [12] 金李萍, 朱振贤. 生态经济林研究进展. 林业科技情报, 2009, 41(3): 10-12.
- [13] 王兵, 鲁绍伟. 中国经济林生态系统服务价值评估. 应用生态学报, 2009, 20(2): 417-425.
- [14] 覃正亚, 王永安, 苏立刚, 黄金玲, 付达夫. 湖南省油茶林生态经济效益研究(续). 经济林研究, 2003, 21(1): 29-32.
- [15] 梁斌, 陈林强, 黄昌谋, 夏莹莹, 刘毅. 油茶生长及叶片、花芽和果实中糖甙含量分析. 广西林业科学, 2017, 46(3): 311-314.
- [16] 尤业明, 徐佳玉, 蔡道雄, 刘世荣, 朱宏光, 温远光. 广西凭祥不同年龄红椎林林下植物物种多样性及其环境解释. 生态学报, 2016, 36(1): 164-172.
- [17] 吕翠萍, 罗正伟, 刘虹, 张来, 孙敏. 我国油茶研究进展. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16177-16179.
- [18] 吕晓杰, 潘德灼, 李健, 陈世品, 陈伟. 油茶种仁成熟过程油脂合成代谢的转录组分析. 森林与环境学报, 2018, 38(2): 156-163.
- [19] 常明山, 邓艳, 廖旺姣, 苏全, 方小玉, 吴耀军. 油茶不同品种抗炭疽病与相关酶活性关系的研究. 林业科学研究, 2018, 31(2): 141-146.
- [20] 郭少海, 杜孟浩, 罗凡, 王亚萍, 费学谦. 不同品质油茶籽压榨制油工艺的对比研究. 中国油脂, 2018, 43(3): 13-16.
- [21] 何志华, 洪利兴, 柏明娥, 高立旦, 曾岳明. 垦复抚育对油茶林下植被的结构组成及多样性影响研究. 浙江林业科技, 2011, 31(6): 7-11.
- [22] 彭姣, 赵运林, 徐正刚, 段酬苍, 张梅清, 任小军. 常德油茶次生林林下植被物种多样性调查. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(12): 68-73.
- [23] 夏莹莹, 江泽鹏, 刘凯, 侯立英, 毛子军. 不同经营措施对油茶林下植物多样性影响研究. 植物研究, 2017, 37(6): 887-896.
- [24] 谢国文, 颜亨梅, 张文辉. 生物多样性保护与利用. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2001.
- [25] 崔宁洁, 陈小红, 刘洋, 张健, 杨万勤. 不同林龄马尾松人工林林下灌木和草本多样性. 生态学报, 2014, 34(15): 4313-4323.
- [26] Li X H, Yin X M, Xia B, Li W L, Li Y. Effects of bird seed dispersal on diversity of the invaded plants in several hedge types. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(6): 1657-1666.
- [27] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological Monographs, 1957, 27(4): 325-349.
- [28] Sun J, Li X Z, Wang X W, Lv J J, Li Z M, Hu Y M. Latitudinal changes in species diversity of permafrost wetland plant communities in Great Xing'an Mountain valleys of Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 272-277.
- [29] 黄建辉, 高贤明, 马克平, 陈灵芝. 地带性森林群落物种多样性的比较研究. 生态学报, 1997, 17(6): 611-618.
- [30] 崔飞, 邓湘雯, 邓东华, 李艳琼, 项文化, 方晰, 赵丽娟, 闫文德. 炼山造林后不同年龄杉木人工林林下植物多样性动态. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(6): 63-69.
- [31] 张艳华, 聂绍荃, 王志西. 林隙对草本植物的影响. 植物研究, 1999, 19(1): 94-99.
- [32] 刘庆福, 刘洋, 孙小丽, 张雪峰, 康萨如拉, 丁勇, 张庆, 牛建明. 气候假说对内蒙古草原群落物种多样性格局的解释. 生物多样性, 2009, 23(4): 463-470.
- [33] 王健铭, 王文娟, 李景文, 冯益明, 吴波, 卢琦. 中国西北荒漠区植物物种丰富度分布格局及其环境解释. 生物多样性, 2017, 25(11): 1192-1201.
- [34] 王健铭, 钟悦鸣, 张天汉, 李景文, 冯益明, 卢琦. 中国黑戈壁地区植物物种丰富度格局的水热解释. 植物科学学报, 2016, 34(4): 530-538.
- [35] Qian H, Hao Z, Zhang J. Phylogenetic structure and phylogenetic diversity of angiosperm assemblages in forests along an elevational gradient in Changbaishan, China. Journal of Plant Ecology, 2014, 7(2): 154-165.
- [36] 冯建孟, 徐成东. 云南西部地区地带性植物群落物种多样性的地理分布格局. 生态学杂志, 2009, 28(4): 595-600.
- [37] 张殷波, 孟庆欣, 秦浩, 唐志尧, 张峰. 太行山山地森林群落植物区系与地理格局—基于植物群落清查数据. 应用生态学报, 2019, 30(10): 3395-3402.
- [38] Wilsey B J, Potvin C. Biodiversity and ecosystem functioning: importance of species evenness in an old field. Ecology, 2000, 81(4): 887-892.
- [39] 董世魁, 汤琳, 张相锋, 刘世梁, 刘全儒, 苏旭坤, 张勇, 武晓宇, 赵珍珍, 李钰, 沙威. 高寒草地植物物种多样性与功能多样性的关系.

- 生态学报, 2017, 37(5): 1472-1483.
- [40] 许晴, 张放, 许中旗, 贾彦龙, 尤建民. Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数若干特征的分析及“稀释效应”. 草业科学, 2011, 28(4): 527-531.
- [41] 杨振奇, 秦富仓, 张晓娜, 李晓琴, 牛晓乐, 刘力川. 砒砂岩区不同立地类型人工沙棘林下草本物种多样性环境解释. 生态学报, 2018, 38(14): 5132-5140.
- [42] 王晶, 焦燕, 任一平, 薛莹, 纪毓鹏, 徐宾铎. Shannon-Wiener 多样性指数两种计算方法的比较研究. 水产学报, 2015, 39(8): 1257-1263.
- [43] 张金屯. 数量生态学(第二版). 北京: 科学出版社, 2011.
- [44] 蒙洋, 邱月, 张亮, 王翠玲, 臧振华, 张学耀, 申国珍, 闫彩凤, 陈全胜. 地理距离、海拔和气候差异对独龙江流域维管植物群落物种空间相异性的影响. 生物多样性, 2017, 25(12): 1313-1320.
- [45] 徐翔, 张化永, 谢婷, 孙青青, 田永兰. 西双版纳种子植物物种多样性的垂直格局及机制. 生物多样性, 2018, 26(7): 678-689.
- [46] 况雪源, 苏志, 涂方旭. 广西气候区划. 广西科学, 2007, 14(3): 278-283.
- [47] 沈蕊, 张建利, 何彪, 李峰, 张志明, 周睿, 欧晓昆. 元江流域干热河谷草地植物群落结构特征与相似性分析. 生态环境学报, 2010, 19(12): 2821-2825.
- [48] Mori A, Takeda H. Effects of undisturbed canopy structure on population structure and species coexistence in an old-growth subalpine forest in central Japan. *Forest Ecology and Management*, 2004, 200(1/3): 89-100.
- [49] Thomas S C, Halpern C B, Falk D A, Liguori D A, Austin KA. Plant diversity in managed forests: understory responses to thinning and fertilization. *Ecological Applications*, 1999, 9(3): 864-879.
- [50] 李敏敏, 魏天兴, 李信良, 葛海潮. 黄土区蔡家川流域刺槐人工林林下物种多样性. 浙江农林大学学报, 2018, 35(2): 227-234.
- [51] 卢志军, 鲍大川, 郭屹立, 路俊盟, 王庆刚, 何东, 张奎汉, 徐耀粘, 刘海波, 孟红杰, 黄汉东, 魏新增, 廖建雄, 乔秀娟, 江明喜, 谷志容, 廖春林. 八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林物种组成与结构. 植物科学学报, 2013, 31(4): 336-344.