



张喜亭, 张建业, 王文杰. 黑龙江南瓮河国家级自然保护区植物多样性和群落结构特征调查与分析[J]. 黑龙江农业科学, 2024(11):44-50.

黑龙江南瓮河国家级自然保护区植物多样性和群落结构特征调查与分析

张喜亭^{1,2}, 张建业², 王文杰³

(1. 乐山师范学院 生命科学学院, 四川 乐山 614000; 2. 东北林业大学 森林植物生态学教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040; 3. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300)

摘要:探究森林个体、群落特征与植物多样性之间存在的耦合关系, 有利于通过林分结构调整提高植物多样性。选择黑龙江南瓮河国家级自然保护区的森林群落作为研究对象, 调查该区域 29 块乔木样方、145 块灌木、草本和更新层样方植物个体大小和乔、灌、草本群落特征, 记录植物科属种特征并计算植物多样性和均匀度参数特征, 揭示该区域植物多样性与群落结构特征的耦合关系。结果表明, (1) 乔木层主要树种是落叶松 (*Larix gmelinii*), 相对多度为 62.70%, 其次为白桦 (*Betula platyphylla*); 灌木层则以越橘 (*Vaccinium vitis-idaea*) 相对多度最高, 达到 79.26%; 草本以小叶章 (*Deyeuxia angustifolia*) 相对多度最大, 达到 17.02%; 更新层主要树种是白桦, 相对多度为 81.75%。(2) 黑龙江南瓮河国家级自然保护区内乔木层平均树高为 14.55 m, 平均胸径为 15.22 cm, 平均郁闭度为 0.72, 平均密度为 0.13 株·m⁻²。灌木层平均树高为 0.71 m, 地径为 1.01 cm, 盖度为 23.92%, 密度为 15.22 株·m⁻²。草本层高度为 43.02 cm, 盖度为 60.59%。更新层平均高度为 1.76 m, 平均地径为 1.16 cm, 平均密度为 0.08 株·m⁻²。(3) 冗余分析结果表明, 黑龙江南瓮河国家级自然保护区灌木密度与植物多样性变化关系最紧密。根据以上结果提出应该从个体特征和灌木保护指标着手, 协同保护、提升生物多样性和维持良好林分结构等林分管理意见。

关键词:黑龙江南瓮河国家级自然保护区; 植物多样性; 林分群落结构; 耦合关系

生物多样性的丧失是当前最为关注的生态学问题之一^[1-2]。森林生态系统具有丰富的物种, 复

杂的结构, 多种多样的功能; 其物种多样性是生物多样性的的重要组成部分^[3-4]。森林生态系统具有

收稿日期: 2024-04-11

基金项目: 乐山师范学院高层次人才引进科研启动项目(RC2023018); 中央高校基本科研业务费专项(2572018AA19)。

第一作者: 张喜亭(1991—), 男, 博士, 讲师, 从事森林植物多样性及土壤碳汇研究。E-mail: zxtyx2017@163.com。

通信作者: 王文杰(1974—), 男, 博士, 教授, 从事全球变化生态学、植物多样性与碳汇研究。E-mail: wwj225@nefu.edu.cn。

of single flower in the treatment of full application of farm manure (N45000) were significantly higher than those in other treatments. And the essential oil yield of fresh flowers increased by 206.98% compared with that of full application of chemical fertilizer (P750). The relative contents of eight aroma components such as citronellol and the contents of copper (4.81 mg·kg⁻¹), alanine [0.38 g·(100 g)⁻¹] and isoleucine [0.28 g·(100 g)⁻¹] in dry buds were higher than those in other treatments. The relative contents of caryophyllene (0.51%), eicosane (0.59%) and heneicosane (1.63%), as well as the contents of zinc (21.9 mg·kg⁻¹), total flavonoids [4.19 g·(100 g)⁻¹], polyphenols (134 mg·g⁻¹), protein [12 g·(100 g)⁻¹], crude fiber (14.6%), vitamin C [12.5 mg·(100 g)⁻¹] and total amino acids [7.61 g·(100 g)⁻¹] were the highest in the treatment of partial replacement of chemical fertilizer with bio-organic fertilizer. The total content of mineral elements in the flower diameter and dry bud of the full application of bio-organic fertilizer was higher than that of the other treatments. The comprehensive value evaluation showed that the full application of farm organic fertilizer treatment > partial replacement of chemical fertilizer with bio-organic fertilizer treatment > full application of bio-organic fertilizer treatment > full application of chemical fertilizer treatment. It is suggested to reduce the application of chemical fertilizer in production, promote the technology of organic replacement of chemical fertilizer fertilization, and achieve the goal of saving fertilizer and increasing efficiency.

Keywords: *Rosa rugosa* 'Hetianshamo'; organic fertilizer; fertilizer; yield; quality

明显的垂直结构,其垂直结构特征能够反映森林植物在空间上的配置状况^[5-6]。保护植物多样性的最为简单有效的途径多与林分群落结构特征相关,包括个体大小及群落特征^[7-9]。林分郁闭度对林下植物生长特征影响较大(如物种多样性指数、盖度等)^[10]。王蕾等^[11]研究表明,林分空间结构与树种多样性密切相关,树种混交度越强,其多样性指数越高。张泽鑫等^[12]研究表明,祁连山东部森林林分平均胸径、平均树高和草本层物种丰富度指数显著负相关。这些研究从林分结构特征出发,研究了树种混交程度、林分郁闭度、树种大小等对森林物种多样性的影响。在我国寒温带针叶林区域也需要这方面的研究,以期对东北森林带生态功能维持、天然林保护提供支持。

国家级自然保护区是国家自然保护与维持多样性的重要载体,基于保护区开展相关多样性保护与生态服务功能协同提升具有重要意义,特别是维护生态环境的稳定性、保持水土、碳汇功能等方面起着关键作用^[13]。黑龙江南瓮河国家级自然保护区是大兴安岭地区生态示范区的重要组成部分,该保护区生态价值较大,尤其是高纬度地区特征、长期保护区保护实践与森林-湿地特征。本文以黑龙江南瓮河国家级自然保护区为研究对象,探究不同垂直结构下植物群落结构特征和物种多样性的耦合关系。研究结果能够为大兴安岭地区基于林分管理提升植物多样性的途径提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

黑龙江南瓮河国家级自然保护区,位于南瓮河流域,总面积为 229 523 hm²。保护区地理位置为 51°05′07″N~51°39′24″N,125°07′55″E~125°50′05″E。保护区属寒温带大陆性季风气候,年均气温为-3℃,年降水量 400~500 mm^[14]。主要乔木树种有落叶松(*Larix gmelinii*)、白桦(*Betula platyphylla*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、山杨(*Populus davidiana*)、毛赤杨(*Alnus sibirica*)等。灌木层主要有越橘(*Vaccinium vitis-idaea*)、细叶沼柳(*Salix rosmarinifolia*)等。草本层为禾本科、莎草科等草本植物。

1.2 方法

1.2.1 调查项目及方法 本研究于 2016 年 8 月在黑龙江南瓮河国家级自然保护区展开调查,其

中乔木样方 29 块,每样方大小 30 m×30 m;灌木和更新层样方 145 块,在每个乔木样方内随机设置 5 个 2 m×2 m 灌木样方;草本样方 145 块,分别在每乔木样方随机设置 5 块(大小为 1 m×1 m)。

乔木样地进行每木检尺,调查项目包括乔木种类、胸径、树高、枝下高、盖度,其中胸径小于 2.5 cm 的树种作为更新树种在进行乔木调查时不调查。灌木样地调查灌木的种类、株数、株高、冠幅、盖度及地径;胸径介于 1.0~2.5 cm 且高于 50 cm 的乔木树种在灌木层样方中同步调查其种类、地径和树高,并记入更新层中。草本样方记录植物种类、盖度、高度和相对多度。

1.2.2 植物多样性指数计算方法 根据马克平等^[15]的方法,植物丰富度指数(R)、Simpson 指数(D)、Alatalo 均匀度指数(Ea)等多样性指数计算方式详见公式(1)~(3)。

$$R = S \quad (1)$$

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad (2)$$

$$Ea = [1/(\sum P_i^2) - 1] / [\exp(-\sum P_i \ln P_i) - 1] \quad (3)$$

式中, P_i 为样方内第*i*种的个体株数占总株数的比例; S 为种*i*所在样方中物种总数。

1.2.3 个体大小特征和群落特征值的计算 个体大小指标包括乔木树高、枝下高和胸径,灌木高、地径和冠幅,草高,更新层树高和地径;群落特征指标包括乔木盖度、灌木盖度、草本盖度、乔木密度、灌木密度。所有特征指标均取平均值。

1.2.4 数据分析 运用 JMP 11.0 分析个体大小特征和群落特征及植物多样性的频率分布,并生成箱线图,比较平均值、中位数和最小 50% 区间等^[16]。为了判断群落特征和个体大小对植物多样性指标的解释程度,采用 Canoco 5.0 软件中冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)和方差分解分析(Variation Partitioning Analyses),方差分解分析分别划分为两组(群落特征和个体大小特征)和三组(乔木层、灌木层和草本层)。

2 结果与分析

2.1 乔木、灌木、草本及更新层主要种相对多度

由图 1 可知,在乔木层,落叶松相对多度最大,高达 62.70%;其次是白桦、山杨、毛赤杨等。在灌木层,越橘相对多度高达 79.26%,占有绝对优势,其次是笃斯越橘(*Vaccinium uliginosum*)、

绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、石生悬钩子(*Rubus saxatilis*)、榛(*Corylus heterophylla*)、细叶沼柳(*Salix rosmarinifolia*)、兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)等。本研究此次总共调查了草本植物 97 种,禾本科小叶章(*Deyeuxia angustifolia*)相对多度高达 17.02%,其次是羊须草(*Carex callitrichos*)、显脉藁草(*Carex kirganica*)、草问荆(*Equisetum*

pratense)、圆叶鹿蹄草(*Pyrola rotundifolia*)、蚊子草(*Filipendula palmata*)、瘤囊藁草(*Carex schmidtii*)、兴安鹿药(*Smilacina dahurica*)、七瓣莲(*Trientalis europaea*)、二歧银莲花(*Anemone dichotoma*)等。更新层主要树种为白桦,相对多度高达 81.75%;其次为蒙古栎,占更新层树种 9.92%,落叶松仅占 7.54%。

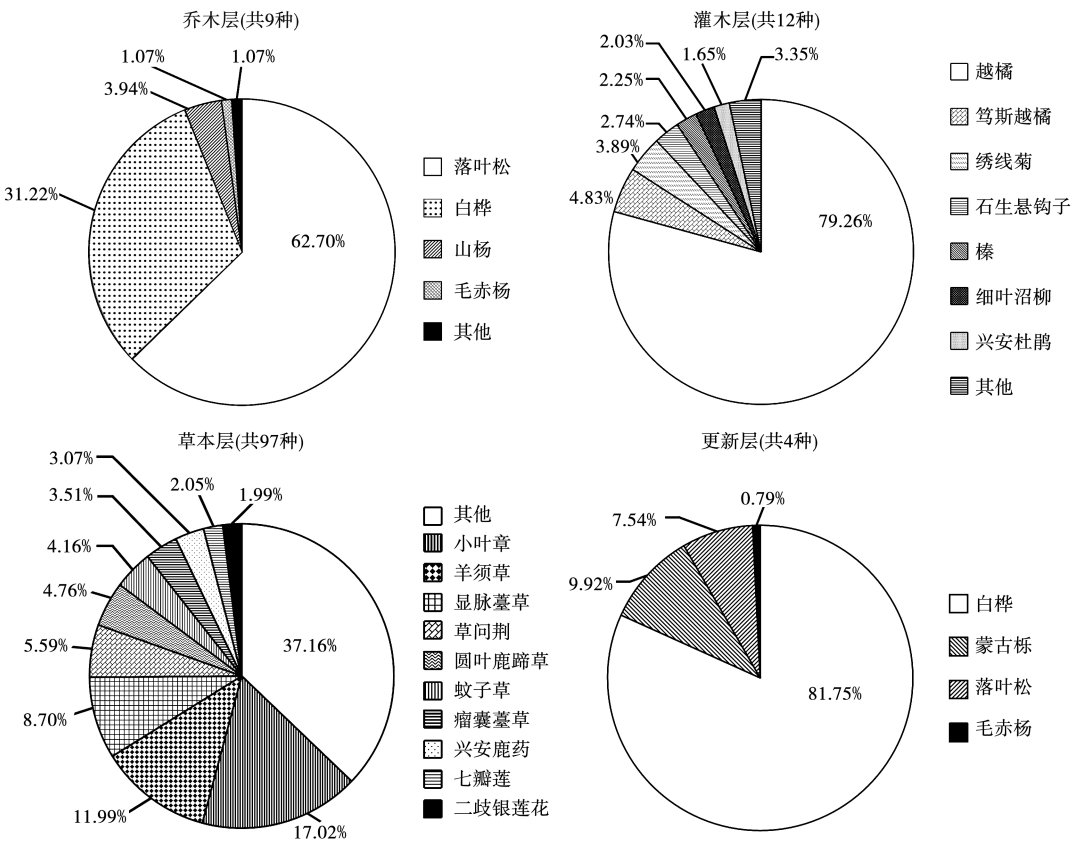


图 1 黑龙江南瓮河国家级自然保护区乔木层、灌木层、草本层和更新层主要种相对多度

2.2 植物多样性特征分布

黑龙江南瓮河国家级自然保护区乔木层丰富度(R)均值为 3.14,最小 50%集中区域为 2.00~3.00 种;乔木层 Simpson 多样性指数(D)均值为 0.45,主要集中在 0.45~0.50 之间,所占比例高达 34%;乔木层 Alatalo 均匀度指数(Ea)均值为 0.79,主要集中在 0.82~0.95。灌木层丰富度(R)均值为 2.00,最小 50%集中区域为 1.00~2.00 种;灌木 Simpson (D)多样性指数均值为 0.23;灌木 Alatalo 均匀度指数(Ea)均值为 0.72。草本层的丰富度(R)均值为 6.61;草本 Simpson 多样性指数(D)均值为 0.73,最小 50%集中区域为 0.75~0.85;草本 Alatalo 均匀度指数(Ea)均

值为 0.78,分布在 0.80~0.85 之间的最多 (24%),分布类型为单峰型。更新层丰富度(R)分布 2.00~3.00 种的样地最多,所占比例为 41%,有 14%样地的丰富度 $R < 1$,也就是没有发现更新层树种。丰富度高(>3 种)的样地较少,仅占有所有样地的 3%。更新层 Simpson 指数(D)分布在 0~0.10 比例最高,所占比例为 52%;而分布在 0.10~0.20、0.20~0.30、0.30~0.40 和 0.60~0.70 均占 7%。更新层 Alatalo 均匀度指数(Ea)的取值范围 0~1.00,在 0.60~0.80 之间的占 28%,其中有 38%的样地 Alatalo 均匀度指数(Ea)为 1.00,显示部分样地更新层树种分布较为均匀(表 1)。

表 1 黑龙江南瓮河国家级自然保护区植物多样性统计

项目	类别	均值	中位数	标准误差	最小 50%区间	最大分布区间	类型
丰富度指数(R)	乔木层	3.14	3.00	0.18	2.00~3.00	3.00~4.00	单峰
	灌木层	2.00	2.00	0.19	1.00~2.00	2.00~3.00	单峰
	草本层	6.61	3.33	0.39	4.00~7.00	4.00~5.00	多峰
	更新层	1.45	1.00	0.17	0~1.00	2.00~3.00	单峰
Simpson 指数(D)	乔木层	0.45	0.49	0.02	0.42~0.51	0.45~0.50	单峰
	灌木层	0.23	0.18	0.04	0~0.18	0~0.10	单峰
	草本层	0.73	0.76	0.02	0.75~0.85	0.80~0.85	多峰
	更新层	0.21	0.00	0.05	—	0~0.10	单峰
Alatalo 均匀度指数(Ea)	乔木层	0.79	0.81	0.03	0.82~0.95	0.80~0.85	多峰
	灌木层	0.72	0.72	0.05	0.73~1.00	0.70~0.80	多峰
	草本层	0.78	0.79	0.02	0.37~0.62	0.80~0.85	单峰
	更新层	0.64	0.90	0.06	0.90~1.00	0.80~1.00	单峰

2.3 林分个体大小特征分布

黑龙江南瓮河国家级自然保护区乔木树高(TH)为 14.55 m,树高大部分分布在 15.00~16.00 m,所占比例高达 83%;乔木胸径(TDBH)均值为 15.22 cm,乔木枝下高(TCBH)均值为 10.13 m,枝下高频率分布呈多峰型。灌木层高度(SH)均值为 0.71 m,最高达到 1.75 m;灌木地径(SGD)大多分布在 0.70~1.00 cm(71%);灌

木冠幅(SCD)大多分布在 40.00~60.00 cm(66%),最小 50%区间为 32.00~71.00 cm。草本层高度(HH)均值为 43.02 cm。更新层树高(RH)分布在 0.75~1.76 m 所占比例最高(24%),分布在 1.00~1.25 m、2.00~2.25 m 所占比例均为 20%。更新层地径(RGD)分布在 0.75~1.00 cm 比例最大,占比为 24%,地径(RGD)超过 2.00 cm 所占比例都仅为 4%(表 2)。

表 2 黑龙江南瓮河国家级自然保护区林分个体大小统计

类别	项目	平均值	中位数	标准误差	最小 50%区间	最大分布区间	类型
乔木层	树高/m	14.55	14.81	0.35	13.80~15.80	15.00~16.00	单峰
	胸径/cm	15.22	15.00	0.37	13.50~16.24	13.00~15.00	多峰
	枝下高/m	10.13	10.11	0.36	9.05~11.60	10.00~11.00	多峰
灌木层	树高/m	0.71	0.65	0.09	0.73~1.18	0.50~0.75	单峰
	地径/cm	1.01	0.89	0.10	0.70~0.91	0.70~1.00	单峰
	冠幅 /cm	51.89	48.75	5.11	32.00~71.00	40.00~60.00	单峰
草本层	树高/cm	43.02	42.18	2.89	38.10~52.20	30.00~40.00	单峰
更新层	树高/m	1.76	1.67	0.12	1.50~2.10	0.75~1.76	多峰
	地径/cm	1.16	1.13	0.10	0.60~1.40	0.75~1.00	多峰

2.4 林分群落特征分布

乔木层的盖度(TC)均值为 0.72,最小 50%集中区域为 0.70~0.80;灌木盖度(SC)均值为 23.92%;草本盖度(HC)均值为 60.59%。

从密度方面看,乔木层密度(TD)均值为 0.13 株·m⁻²,

换算成每公顷密度,乔木密度大多分布在 1 000~1 500 株·hm⁻²,占比高达 49%;灌木层密度(SD)均值 15.22 株·m⁻²;更新层密度(RD)均值为 0.08 株·hm⁻²,频率分布表明大部分样地的更新层密度处于较低水平(表 3)。

表 3 黑龙江南瓮河国家级自然保护区林分群落特征统计

类别	项目	平均值	中位数	标准误差	最小 50%区间	最大分布区间	类型
乔木层	郁闭度	0.72	0.70	0.02	0.70~0.80	0.80~0.85	多峰
灌木层	盖度/%	23.92	26.67	3.05	12.00~28.30	20.00~30.00	多峰
草本层	盖度/%	60.59	61.00	3.01	55.20~73.10	70.00~80.00	单峰
乔木层	密度/(株·m ⁻²)	0.13	0.13	0.01	0.12~0.16	0.10~0.15	单峰
灌木层	密度/(株·m ⁻²)	15.22	3.25	5.24	0~15.22	0~10.00	单峰
更新层	密度/(株·m ⁻²)	0.08	0.05	0.02	0~0.08	0~0.05	单峰

2.5 植物多样性变化的方差分解分析

由图 2A 可知,黑龙江南瓮河国家级自然保护区个体大小对多样性特征变化的解释量最大,占比高达 83.5%;其次为群落结构特征,解释量为 14.4%;个体大小与群落结构二者的交互作用的解释量仅为 2.1%。

将黑龙江南瓮河国家级自然保护区按垂直结构分为乔木层、灌木层和草本层特征时,灌木层特征对于多样性特征变化解释力最大(占比为 67.3%),灌木层特征约为乔木层特征和草本层特征单独作用的 3 倍;乔灌木三者不存在交互作用(-7.7%) (图 2B)。

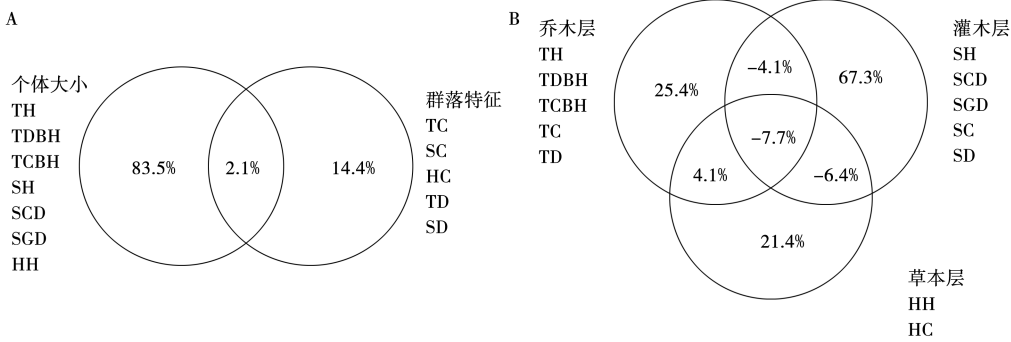


图 2 黑龙江南瓮河国家级自然保护区植物个体大小与群落特征(A)和乔木、灌木、草本的群体多样性性状(B)方差分解分析

2.6 RDA 排序

个体大小和群落特征对黑龙江南瓮河国家级自然保护区植物多样性的总解释量为 66.9%,第一轴解释了多样性变化的 32.30%,第二轴解释了多样性变化的 12.01%。简单效应结果表明,灌木层密度(SD)对南瓮河植物多样性变化解释

能力最大($P<0.05$),解释量为 10.2%。条件效应结果表明,灌木密度(SD)依然是对植物多样性变化贡献最大的($P<0.05$),解释量与单独作用相等;其次为灌木冠幅(SCD)和灌木盖度(SC) ($P>0.05$) (表 4)。

表 4 简单效应和条件效应统计

简单效应				条件效应			
项目	解释量	F	P	项目	解释量	F	P
SD	10.2	2.4	0.026	SD	10.2	2.4	0.038
HH	9.0	2.1	0.080	SCD	9.6	2.4	0.066
SH	7.8	1.8	0.122	SC	8.3	2.2	0.064
SCD	7.2	1.6	0.160	TH	8.2	2.3	0.072
TC	6.7	1.5	0.186	TC	5.5	1.6	0.198
TH	6.7	1.5	0.172	RD	4.1	1.2	0.314
SGD	6.7	1.5	0.206	SGD	4.2	1.3	0.280
TCBH	6.0	1.3	0.274	SH	2.9	0.9	0.500
SC	5.8	1.3	0.238	HC	2.9	0.9	0.496
RD	5.3	1.2	0.304	HH	3.1	0.9	0.434
HC	4.5	1.0	0.454	TD	1.9	0.5	0.760
RH	3.7	0.8	0.488	TDBH	1.1	0.3	0.890
RGD	3.7	0.8	0.508	TCBH	1.1	0.3	0.914
TDBH	2.6	0.6	0.702	RGD	0.6	0.1	0.988
TD	0.6	0.1	0.986	RH	3.2	0.7	0.598

3 讨论

前人研究表明,黑龙江南瓮河国家级自然保护区内存在 800 多种维管植物^[17]。本研究调查

记录了黑龙江南瓮河国家级自然保护区草本植物 97 种,主要以小叶章和藁草为主。乔木层以兴安落叶松为优势种,同时还伴有白桦、山杨、蒙古栎

等树种。此外,黑龙江南瓮河国家级自然保护区内还分布国家二级重点保护植物钻天柳和黄檗等,这也表明黑龙江南瓮河国家级自然保护区的重要性。以往的研究多是以湿地研究为主,本研究就该区域位于较高海拔的森林生态系统进行重点研究,对以往研究具有补充作用。保护区内灌木主要为越橘、笃斯越橘、绣线菊和石生悬钩子等。随着天然林保护工程的实施,该区域林下资源产品供应及生态服务供给显得更为重要,多样性的植物资源是其重要保障^[18]。保护区内药用植物比较丰富,具有较高药用价值有草苈蓉、黄芩、野火球和苍耳等。此外还有野生浆果,主要以越橘类为代表^[19]。

目前针对黑龙江南瓮河国家级自然保护区的研究主要围绕湿地恢复、碳储量、土壤呼吸、土壤养分等展开^[20-24],对保护区如何提升植物多样性研究还鲜见报道。本研究表明,黑龙江南瓮河国家级自然保护区乔木样方丰富度均值为 3.14,灌木丰富度为 2.00,草本丰富度为 6.61。与大兴安岭核心区域呼中国家级自然保护区相比(呼中保护区乔木丰富度为 1.78,灌木丰富度为 5.14,草本丰富度为 7.31)^[9],黑龙江南瓮河国家级自然保护区乔木丰富度相对较高,但灌木和草本丰富度相对较低。本研究发现个体大小特征对植物多样性变化的解释率是群落结构的 5.8 倍。在大兴安岭多布库尔国家级自然保护区也发现类似规律,个体大小特征的独立效应对多样性变化贡献最大高达 50.9%^[25]。李利平等^[26]在新疆地区森林中研究发现,乔木层和草本层个体较大时,其物种多样性也更大。通过个体大小特征调整,如高度、直径和冠幅等管理措施,为保护区提升生物多样性存在可能性。针对不同垂直结构的群落结构分析,灌木层的特征对多样性变化具有最强的指示功能。冗余分析表明黑龙江南瓮河国家级自然保护区灌木层的特征与灌木多样性指数呈正相关关系。黑龙江南瓮河国家级自然保护区的灌木资源相对匮乏,灌木资源的调整将会对保护区植物多样性影响较大。

4 结论

本文分析了黑龙江南瓮河国家级自然保护区的植物多样性和群落结构特征分布情况,确定了主要乔木、灌木、草本及更新树种相对多度,从多样性指数、均匀度指数分析了草本、乔木、灌木和更新层差异特征,从树高、胸径、郁闭度、密度、灌

木高、地径、盖度、草本高等多指标量化了群落特征。耦合关系分析表明,植物多样性主要受林分个体大小而不是群落特征的影响,解释量达到 83.5%;而乔、灌、草本层比较来看,灌木层具有更大的影响(67.3%)。冗余分析得出,灌木密度是引起多样性变化的最显著因子。对于黑龙江南瓮河国家级自然保护区而言,其灌木资源相对较少,灌木资源的调整将对保护区植物多样性的提升起到较大的促进作用。可以通过上述因子的调整加强黑龙江南瓮河国家级自然保护区植物多样性的保护。

参考文献:

- [1] 王金洲,徐靖.“基于自然的解决方案”应对生物多样性丧失和气候变化:进展、挑战和建议[J].生物多样性,2023,31(2):231-236.
- [2] 马克平,任海,龙春林.生物多样性保护需要更多的研究[J].广西植物,2023,43(8):1347-1349.
- [3] BREHM G, COLWELL R K, KLUGE J. The role of environment and mid-domain effect on moth species richness along a tropical elevational gradient[J]. Global Ecology and Biogeography, 2007, 16(2): 205-219.
- [4] 柏成寿,崔鹏.我国生物多样性保护现状与发展方向[J].环境保护,2015,43(5):17-20.
- [5] 王烁鑫,韩海荣,程小琴,等.辽河源自然保护区油松群落结构及物种多样性[J].生态学杂志,2016,35(2):314-320.
- [6] 张建宇.大兴安岭森林植物多样性、群落结构特征及耦合关系分析[D].哈尔滨:东北林业大学,2018.
- [7] 王震洪,段昌群,杨建松.半湿润常绿阔叶林次生演替阶段植物多样性和群落结构特征[J].应用生态学报,2006,17(9):1583-1587.
- [8] 张喜亭,张建宇,李斯雯,等.大兴安岭双河保护区植物多样性和群落结构特征分析[J].北京林业大学学报,2021,43(7):79-87.
- [9] 孙玉成,张喜亭,季倩如,等.大兴安岭泰加林植物多样性特征调查与分析[J].林业资源管理,2022(6):124-130.
- [10] 王依瑞,王彦辉,段文标,等.黄土高原刺槐人工林郁闭度对林下植物多样性特征的影响[J].应用生态学报,2023,34(2):305-314.
- [11] 王蕾,郭秋菊,艾训儒,等.林分空间结构对天然林木本植物多样性的影响[J].森林与环境学报,2024,44(1):20-27.
- [12] 张泽鑫,蔡有柱,赵丽娟,等.祁连山东部森林林分结构和环境因素对草本物种多样性的影响[J].生态学报,2024,44(5):2089-2099.
- [13] XU W H, XIAO Y, ZHANG J J, et al. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(7): 1601-1606.
- [14] 郭俊光,唐志强.南瓮河国家级自然保护区湿地资源与功能评价分析[J].内蒙古林业调查设计,2008,31(5):11-14.

- [15] 马克平,黄建辉,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究Ⅱ丰富度、均匀度和物种多样性指数[J].生态学报,1995(3):268-277.
- [16] 张波,王文杰,周伟,等.哈尔滨城市森林树木生长状况及各生长指标的相关性分析[J].安徽农业科学,2016,44(26):127-128,154.
- [17] 张玉民,孙天洪.嫩江源头:南瓮河森林湿地自然保护区综合效益评价[J].内蒙古林业调查设计,2002,25(1):22-23.
- [18] 朱震锋,李梦冉,刘丹,等.中国国有林区研究热点与演变趋势知识图谱分析[J].世界林业研究,2024,37(1):23-30.
- [19] 苏平,孙玉杰,赵治军.南瓮河森林湿地野生经济植物的研究[J].中国林副特产,2006(2):66-68.
- [20] 晏鸣霄,夏振清,王攀婷,等.南瓮河湿地保护区土壤有机碳、含水率和pH的变化分布[J].森林工程,2015,31(4):22-25.
- [21] LIU Y, JIANG M, LU X G, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus contents of wetland soils in relation to environment factors in Northeast China[J]. Wetlands, 2017, 37(1): 153-161.
- [22] LYU M Z, SHENG L X, ZHANG Z S, et al. Distribution and accumulation of soil carbon in temperate wetland, Northeast China [J]. Chinese Geographical Science, 2016, 26(3): 295-303.
- [23] HU T X, SUN L, HU H Q, et al. Soil respiration of the dahurian larch (*Larix gmelinii*) forest and the response to fire disturbance in da Xing'an Mountains, China[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 2967.
- [24] MU C C, LU H C, WANG B, et al. Short-term effects of harvesting on carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling, Northeast China[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 293: 140-148.
- [25] 张喜亭,张建宇,肖路,等.大兴安岭多布库尔国家级自然保护区植物多样性和群落结构特征[J].生态学报,2022,42(1):176-185.
- [26] 李利平,安尼瓦尔·买买提,努尔巴依·阿布都沙力克,等.新疆山地森林乔木和草地草本植物个体大小分布特征[J].生物多样性,2017,25(11):1202-1212.

Investigation and Analysis of Plant Diversity and Community Structure Characteristics in Heilongjiang Nanwenghe National Nature Reserve

ZHANG Xiting^{1,2}, ZHANG Jianyu², WANG Wenjie³

(1. School of Life Science, Leshan Normal University, Leshan 614000, China; 2. Key Laboratory of Forest Plant Ecology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 3. College of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: In order to explore the coupling relationship between individual and community characteristics of forest and plant diversity is helpful for the protection of plant diversity. Based on this, by using Heilongjiang Nanwenghe National Nature Reserve, we investigated total 29 plots for trees, 145 plots for shrub and regeneration layers and 145 plots for herb layer, and detailed recorded the individual size and their community traits, and all species names for the calculation of plant diversity indices. All these data were used for finding their basic features of the forests and decoupling their associations. The results showed that: (1) *Larix gmelinii* was the main tree species in Nanwenghe, with a relative abundance of 62.70%, followed by *Betula platyphylla*. The proportion of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) was the highest among shrubs, reaching 79.26%. *Deyeuxia angustifolia* accounted for the largest proportion among herbs, reaching 17.02%. The main tree species in the regeneration layer was *Betula platyphylla* (81.75%). (2) The average tree height of the arbor layer was 14.55 m, the average diameter at breast height was 15.22 cm, the average canopy density was 0.72, and the average tree density was 1 300 trees·ha⁻¹. Shrub height averaged at 0.71 m, ground diameter averaged at 1.01 cm, the shrub coverage averaged at 23.92%, and shrub density averaged at 15.22 plants·m⁻². The average height of herb layer was 43.02 cm and their coverage was 60.59%. The average height of regeneration trees was 1.76 m, the average ground diameter was 1.16 cm, and the average seedling density was 0.08 plants·m⁻². (3) Redundancy analysis showed that shrub density gave the most significant explaining power for the plant diversity variations. Based on the above results, reasonable forest management suggestions should start with individual characteristics and shrub protection indicators, which will help to coordinate the protection and promotion of biodiversity and maintain a good stand structure.

Keywords: Heilongjiang Nanwenghe National Nature Reserve; species diversity; community characteristics; decoupling association