

东北不同天然分布区黄檗群落植物多样性分析

孙铭隆¹, 陈涵阳^{2*}, 周志强¹, 张玉红^{1#}

¹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

²东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年11月23日; 录用日期: 2022年1月3日; 发布日期: 2022年1月11日

摘要

植物多样性是维持生态系统平衡的重要条件, 也是人类生存的基础保障。黄檗是东北天然红松林中重要的伴生树种, 因其经济价值较高, 导致野外资源破坏严重。本文按照纬度梯度选取东北天然林中黄檗资源分布的9个地点: 黑河、鹤岗、虎林、苇河、安图、大兴沟、露水河、凤城和新宾。对9个研究地点进行样地设置, 对样地中的植物进行调查, 记录每个样地各种植物名称和株数, 计算Margalef物种丰富度指数(R)、Simpson指数(D)、Shannon-Wiener指数(H)及Pielou均匀度指数(E)。结果显示, 9块样地黄檗群落共有植物312种, 分别隶属于68科183属。物种丰富度最高的为露水河, 最低的为黑河; Simpson指数和Shannon-Wiener指数最高的为苇河, 最低的为虎林; Pielou指数最高的为苇河, 最低的为新宾。不同生长型植物的物种丰富度指数(R)、Simpson指数(D)和Shannon-Wiener指数(H)为: 草本层 > 灌木层 > 乔木层, Pielou均匀度指数(E)为: 乔木层 > 灌木层 > 草本层。其中, 苇河、安图、凤城和新宾样地内植物群落结构较相似。本研究结果对东北地区黄檗资源野外培育及物种配置具有参考价值。

关键词

黄檗群落, 植物多样性, 物种丰富度指数, Simpson指数, Shannon-Wiener指数, Pielou均匀度指数

Analysis on Plant Diversity of Natural *Phellodendron amurense* Community in Northeast China

Minglong Sun¹, Hanyang Chen^{2*}, Zhiqiang Zhou¹, Yuhong Zhang^{1#}

¹Key Laboratory of Forest Plant Ecology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Received: Nov. 23rd, 2021; accepted: Jan. 3rd, 2022; published: Jan. 11th, 2022

*东北林业大学林学院 2019 级本科生。

#通讯作者。

Abstract

Plant diversity is an important condition for maintaining the balance of the ecosystem and the basic guarantee for human survival. *Phellodendron amurense* is an important associated tree species in the natural Korean pine forest in Northeast China. Because of its high economic value, it has caused serious damage to the wild resources. According to the latitude gradient, this paper selects 9 locations where *P. amurense* resource is distributed in the natural forests of Northeast China: Heihe, Hegang, Hulin, Weihe, Antu, Daxinggou, Lushuihe, Fengcheng and Xinbin. The sample plots were set up in 9 research sites, investigate the plants in the sample plots, record the names and plant numbers of various plants in each plot, and calculate the Margalef species richness index (*R*), Simpson index (*D*), Shannon-Wiener Index (*H*) and Pielou evenness index (*E*). The results showed that there were 312 species of plants in the *P. amurense* community in 9 plots, belonging to 68 families and 183 genera. The highest species richness is Lushui River and the lowest is Heihe; the highest Simpson index and Shannon-Wiener index is Weihe, and the lowest is Hulin; the highest Pielou index is Weihe, and the lowest is Xinbin. The species richness index (*R*), Simpson index (*D*) and Shannon-Wiener index (*H*) of different growth types is: herb layer > shrub layer > arbor layer, Pielou evenness index (*E*) is: tree layer > shrub layer > herb layer. Among them, the structures of plant communities in Weihe, Antu, Fengcheng and Xinbin are similar. The results of this study have reference value for the field cultivation and species allocation of *P. amurense* resources in Northeast China.

Keywords

Phellodendron amurense Community, Plant Diversity, Species Richness Index, Simpson Index, Shannon-Wiener Index, Pielou Evenness Index

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄檗(*Phellodendron amuranse*)为芸香科(Rutaceae)黄檗属(*Phellodendron*)植物, 又称黄菠萝, 黄菠栌、元柏等。是我国东北阔叶红松林的重要伴生树种, 也是珍贵的用材树种, 与水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)和胡桃楸(*Juglans mandshurica*)一起并称为“东北三大硬阔”[1]。其韧皮部入药是我国重要的中药材, 即传统中药关黄柏[2]。黄檗在中国主要分布在东北大兴安岭以东南, 黑龙江、吉林、辽宁等省, 河北、内蒙古和北京也有少量分布, 国外见于俄罗斯远东、朝鲜和日本等; 其分布最北可达 N52°, 最南可至 N39°, 在其分布区域内南北端垂直分布可达 700~1500 m [3]。黄檗为阔叶落叶乔木, 属于阳性树种, 种子萌发能力相对较弱, 林下更新也不良; 根系相对发达, 对土壤有很强的适应能力, 耐严寒, 常散生于河谷山地中下部的针阔混交林中[4]。

黄檗是珍贵的用材树种, 其木材可作为生产枪托、船舶、建材和制作上等家具的用材; 栓皮层厚且柔软富有弹性, 材质坚韧且纹理美观, 耐湿和耐腐蚀能力优异, 是潜在的工业软木材料, 也可用于抗震、隔音、绝缘、救生用具、瓶塞等, 其果实还可用作驱虫剂及染料, 是我国国防以及工业的重要木材原料[3]; 由于其树冠灌型宽阔优美, 在园林绿化中常作为庭荫树或成片栽植[5]; 黄檗对以硫化物和铅为主的复合污染物具有很强的吸附能力[6]; 当黄檗与红松混交时能改善土壤的理化性质, 增加红

松根量[7]。黄檗为第三纪古热带植物区系的孑遗植物,1987 年我国将黄檗被定为渐危植物,列入 3 级保护植物,同年,由国家医药管理局颁布的《国家重点保护野生药材物种名录》将黄柏的药源植物黄檗列为重点保护的野生药材,国家二级保护植物;1989 年出版的《中国珍稀濒危植物》以及 1990 年出版的《中国植物红皮书》都把黄檗列入其中[8][9]。上个世纪 90 年代末期,黄檗就被列为国家重点保护野生植物(第一批)中重点保护野生植物,在 2021 年 9 月 8 日经国务院批准,由国家林业和草原局、农业农村部联合发布的《国家重点保护野生植物名录》中,黄檗仍被列入二级重点保护野生植物[10]。

物种多样性与群落结构和功能密切相关,是衡量群落结构和功能复杂性的重要因子,同时也是评价群落内生物多样性状况的重要指标[11]。通过对群落中物种多样性的研究,可以很好地了解群落的组成、结构、演替动态以及其稳定性[12],这对改善林分结构、提升生态服务功能和物种保护有着重要的指导意义。本论文以分布于东北黑龙江、吉林和辽宁三省、以黄檗为优势树种的样地为对象,研究黄檗群落物种多样性的变化特征,对于天然野生黄檗的保护和利用具有重要的理论意义。

2. 研究区概况与研究方法

2.1. 研究区域设置

根据黄檗在中国黑龙江、吉林和辽宁等东北三省的分布状况,按照纬度梯度选取 9 个采样点分别是黑河、鹤岗、虎林、苇河、安图、大兴沟、露水河、凤城和新宾。由于黄檗在自然条件下处于伴生地位,单个散生在林内、路边,极少数黄檗群落处于优势地位或成片出现,多数不能独立成林,所以样地选择在调查所在地内天然黄檗数量相对较多的地点。纬度范围从最北部黑河 N 49°51'19.70",至最南部凤城 N 40°32'39.11"。经度范围西至凤城 E 124°06'69.00",东至虎林 E 133°14'14.00",涵盖了天然黄檗在中国东北的主要分布区:黑龙江省大兴安岭东南部、小兴安岭地区、完达山脉、吉林长白山区以及辽宁东部山区[13]等。

2.2. 样地设置与调查

在每个样地中设置十个 20 m × 20 m 的样方调查乔木层植物。用胸径尺分别对样方中胸径大于 5 cm 的乔木进行每木检尺,记录每株乔木树高、冠幅;在每个乔木层样方的四角以及中心设置五个 5 m × 5 m 的样方调查灌木植物多样性,记录灌木种名、高度、盖度以及个体数。在野外调查中,胸径小于 5 cm 的多年生木本植物记录为灌木层植物;在每个灌木层样方的四角以及中心设置五个 1 m × 1 m 的样方调查草本植物多样性,记录草本植物种名、以及个体数。

2.3. 植物多样性的测度

2.3.1. 物种丰富度指数

物种丰富度的测定采用 Margalef 指数[14]。

Margalef 丰富度指数(R)的计算:

$$R = \frac{S-1}{\ln N}$$

式中: S 代表总的物种数量, N 为总个体数量。

2.3.2. 物种多样性指数

Simpson 指数(D) [15]: $D = 1 - \sum \left(\frac{N_i}{N} \right)^2$

Shannon-Wiener 指数(H) [16]:

$$H = -\sum p_i \ln(p_i)$$

式中: $p_i = \frac{N_i}{N}$;

N_i : 第 i 个种的个体数目;

N : 群落中所有种的个体总数。

2.3.3. 均匀性指数[15]

Pielou 均匀度指数(E)的计算:

$$E = \frac{H}{\ln S}$$

式中 S 为物种数。

2.4. 数据处理

采用 Excel 2010、Sigmaplot 12.5 等软件进行绘图、利用 SPSS 18.0 软件进行方差分析、LSD 法进行差异显著性分析。

3. 结果与分析

3.1. 物种组成

9 块样地黄檨群落共有植物 312 种, 分别隶属于 68 科 183 属(表 1), 其中裸子植物 1 科 4 属 5 种, 分别占总植物的 1.47%、2.19%和 1.60%; 单子叶植物 8 科 24 属 35 种, 分别占总植物的 11.76%、13.11%和 11.22%; 双子叶植物 59 科 155 属 272 种, 分别占总植物的 86.76%、84.70%和 86.54%。

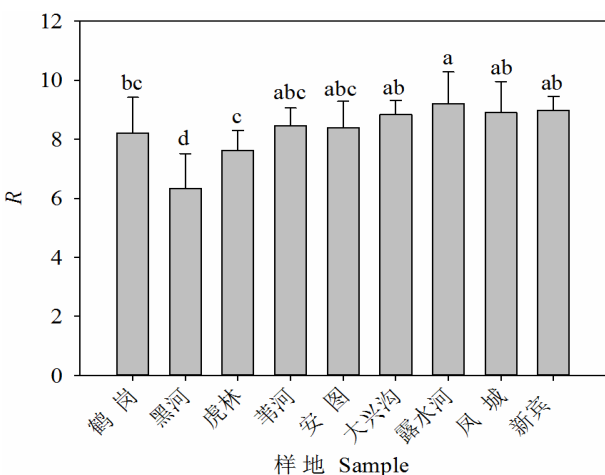
Table 1. Families, genus and species of plants in 9 samples spots
表 1. 9 块样地植物科属种统计

类别 Category		科数 No. of families	占总科数(%) Rate	属数 No. of genus	占总属数(%) Rate	种数 No. of species	占总种数(%) Rate
裸子植物 Gymnosperms		1.00	1.47	4	2.19	5	1.60
被子植物 Angiosperms	单子叶植物 Monocotyledons	8.00	11.76	24	13.11	35	11.22
	双子叶植物 Dicotyledons	59.00	86.76	155	84.70	272	86.54
合计 Total		68	100	183	100	312	100

3.2. 不同黄檨分布区内植物多样性指数分析

不同的植物群落不仅在结构上还在功能上存在着较大的差异, 这种差异主要受制于其组成种不同的生态生物学特性; 具有不同功能作用的不同物种及其个体相对多度的差异是形成不同群落的基础, 所以对于群落植物多样性的研究具有重要的意义[17]。不同分布区黄檨群落的丰富度指数(R)、Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 指数(E)如图 1~4 所示。

由图 1 可知, 9 块调查样地中物种丰富度指数(R)从高到低顺序依次为: 露水河 > 新宾 > 凤城 > 大兴沟 > 苇河 > 安图 > 鹤岗 > 苇河 > 黑河, 其中露水河最高与鹤岗、黑河和虎林差异显著($P < 0.05$), 黑河最低与其他 8 块样地差异显著($P < 0.05$)。



注: 同一参数中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

Figure 1. Margalef richness index (R) of 9 samples spots
图 1. 9 块样地 Margalef 丰富度指数(R)

由图 2 可知, 9 块调查样地的 Simpson 指数(D)差距不大, 从高到低的顺序依次为: 苇河 > 鹤岗 > 安图 > 露水河 > 黑河 > 新宾 > 大兴沟 > 凤城 > 虎林, 其中虎林与鹤岗、苇河、安图和露水河差异显著($P < 0.05$), 鹤岗、黑河、苇河、安图、大兴沟、露水河、凤城和新宾无显著差异($P > 0.05$)。

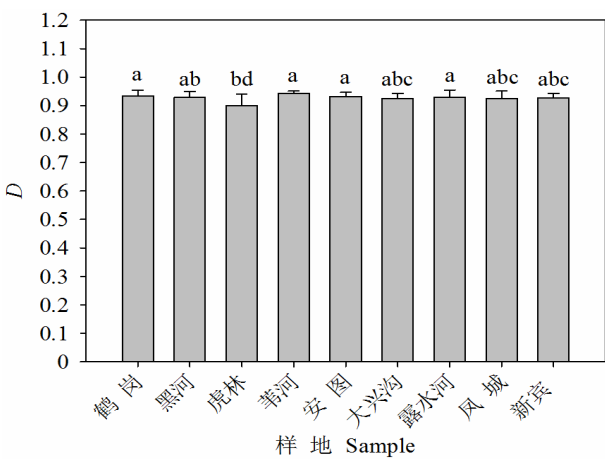


Figure 2. Simpson index (D) of 9 samples spots
图 2. 9 块样地 Simpson 指数(D)

9 块调查样地 Shannon-Wiener 指数(H)从高到低顺序依次为: 苇河 > 鹤岗 > 安图 > 大兴沟 > 新宾 > 凤城 > 露水河 > 黑河 > 虎林, 其中虎林与鹤岗、苇河有显著差异($P < 0.05$), 苇河与黑河、虎林、露水河和凤城差异显著($P < 0.05$)。同 Simpson 指数一样, 9 块样地的 Shannon-Wiener 指数差距不大, 且最高的是苇河, 最低的是虎林(图 3)。各调查样地 Pielou 指数(E)差异不大, 从高到低顺序依次为: 苇河 >

大兴沟 > 安图 > 凤城 > 露水河 > 虎林 > 鹤岗 > 黑河 > 新宾, 其中苇河和大兴沟与新宾差异显著 ($P < 0.05$), 其余样地差异不显著 ($P > 0.05$)。

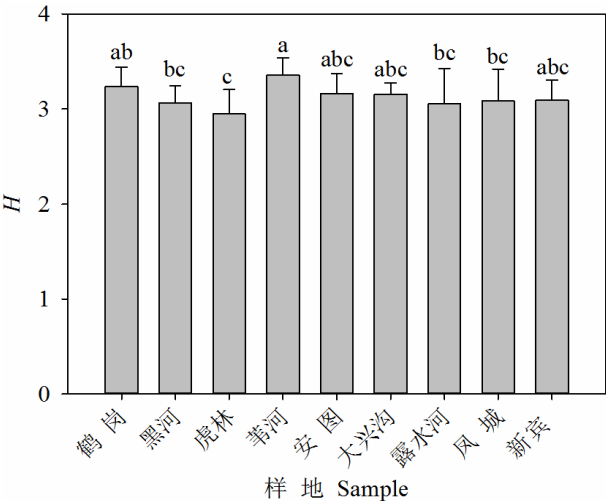


Figure 3. Shannon-Wiener index (H) of 9 samples spots
图 3. 调查样地的 Shannon-Wiener 指数(H)

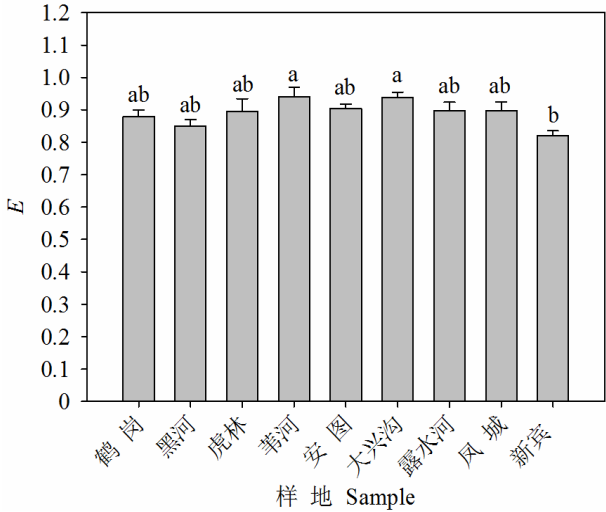


Figure 4. Pielou index (E) of 9 samples spots
图 4. 调查样地的 Pielou 指数(E)

3.3. 调查区内不同生长型黄檗群落中植物丰富度指数(R)分析

不同区域调查样地黄檗群落中乔木层、灌木层和草本层的丰富度指数(R)均差异显著($P < 0.05$), 其从大到小顺序为: 草本 > 灌木 > 乔木, 草本层物种丰富度最高。9 块所调查样地中乔木层丰富度指数(R)从大到小顺序依次为: 大兴沟 > 凤城 > 新宾 > 安图 > 虎林 > 露水河 > 苇河 > 黑河 > 鹤岗; 灌木层丰富度指数(R)从大到小顺序依次为: 露水河 > 苇河 > 凤城 > 鹤岗 > 新宾 > 安图 > 虎林 > 大兴沟 > 黑河; 草本层丰富度指数(R)从大到小顺序依次为: 大兴沟 > 新宾 > 凤城 > 安图 > 露水河 > 鹤岗 > 苇河 > 虎林 > 黑河。乔木层和草本层丰富度指数最高的都是大兴沟, 最低的分别是鹤岗和黑河, 灌木层丰富度指数最高的是露水河, 最低的是黑河(图 5)。

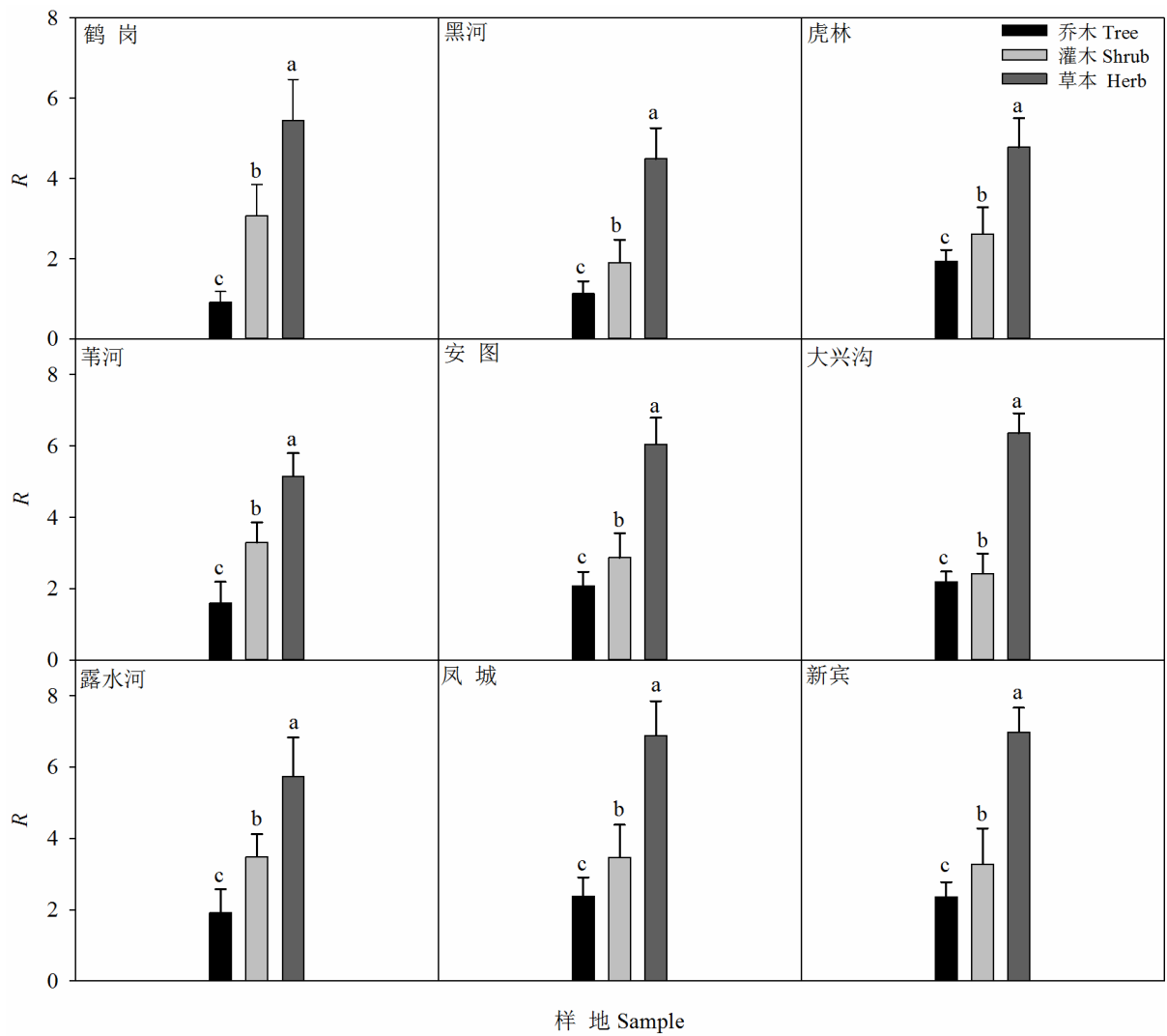


Figure 5. Margalef richness index (R) of trees, shrubs and herbs in 9 samples spots
图 5. 调查样地的乔灌木草 Margalef 丰富度指数(R)

3.4. 调查区内不同生长型黄檗群落中植物 Simpson 指数(D)分析

从图 6 可知,不同区域内的 9 块调查样地乔木层、灌木层和草本层的 Simpson 指数(D)从大小顺序是一致的:草本层 > 灌木层 > 乔木层,其中黑河、安图、凤城和新宾差异显著($P < 0.05$),鹤岗、苇河和露水河的乔木层和灌木层无显著差异($P > 0.05$),虎林和大兴沟的灌木层和草本层无显著差异($P > 0.05$)。9 块样地中乔木层 Simpson 指数(D)从大到小顺序依次为:大兴沟 > 露水河 > 凤城 > 虎林 > 新宾 > 安图 > 苇河 > 黑河 > 鹤岗;灌木层 Simpson 指数(D)从大到小顺序依次为:露水河 > 安图 > 凤城 > 苇河 > 鹤岗 > 新宾 > 大兴沟 > 虎林 > 黑河;草本层 Simpson 指数(D)从大到小顺序依次为:安图 > 苇河 > 大兴沟 > 新宾 > 凤城 > 露水河 > 鹤岗 > 黑河 > 虎林。乔木层、灌木层和草本层 Simpson 指数(D)最高的分别为大兴沟、露水河和安图,最低的分别为鹤岗、黑河和虎林。

3.5. 调查区内不同生长型黄檗群落中植物 Shannon-Wiener 指数(H)分析

与 Simpson 指数(D)相似,9 块样地乔木层、灌木层和草本层的 Shannon-Wiener 指数(H)从大到小顺

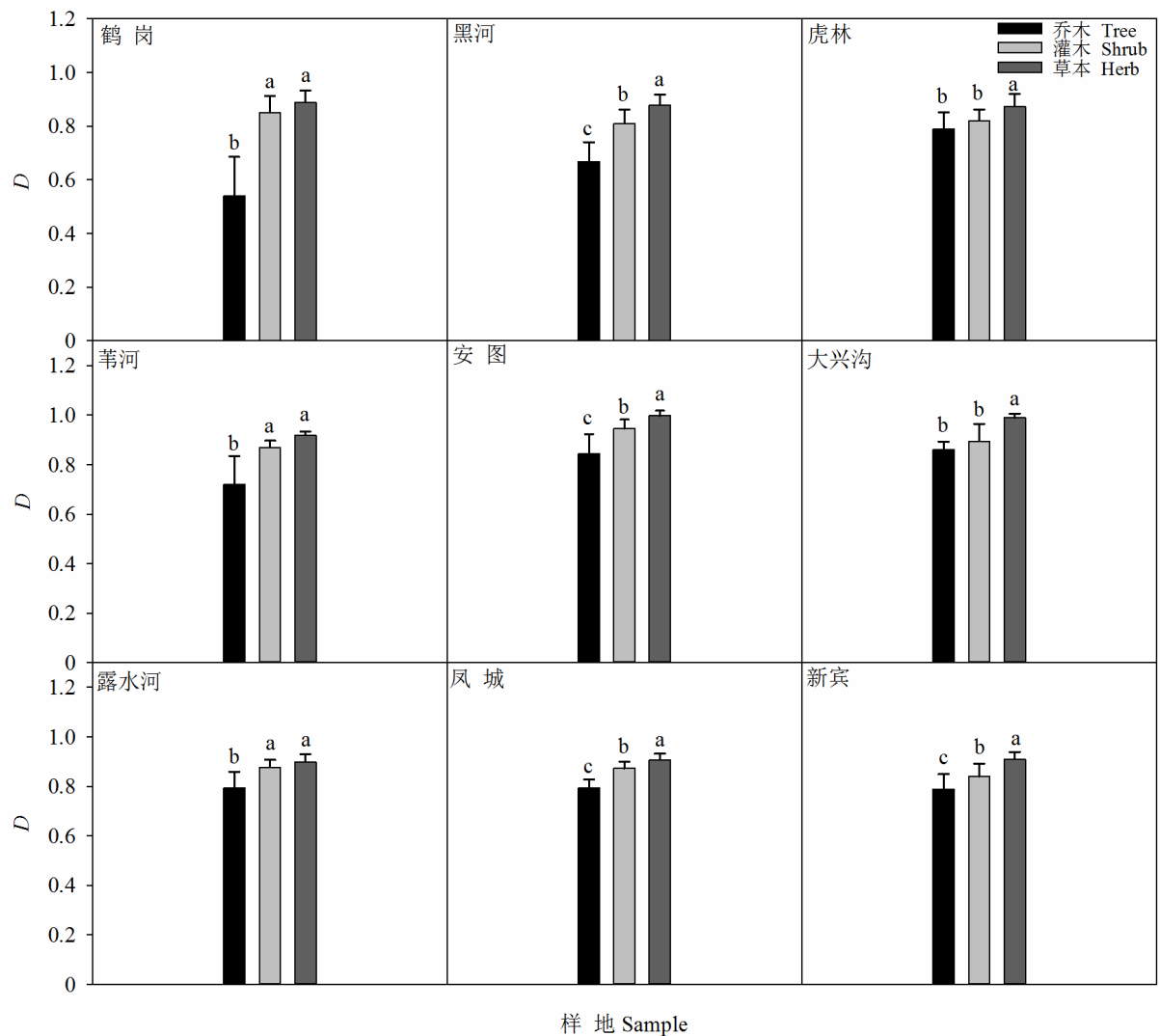


Figure 6. Simpson index (D) of trees, shrubs and herbs in 9 samples spots
图 6. 调查样地的乔灌木 Simpson 指数(D)

序依次为：草本层 > 灌木层 > 乔木层，其中黑河、大兴沟、露水河、凤城和新宾差异显著($P < 0.05$)，虎林和安图样地中乔木层和灌木层无显著差异($P > 0.05$)，黑河样地中灌木层和草本层无显著差异($P > 0.05$)。在苇河样地中 Shannon-Wiener (H)从大到小顺序依次为：灌木层 > 草本层 > 乔木层，乔木层和草本层无显著差异($P > 0.05$)。9 块样地中乔木层 Shannon-Wiener 指数(H)从大到小顺序依次为：安图 > 凤城 > 虎林 > 露水河 > 大兴沟 > 新宾 > 苇河 > 黑河 > 鹤岗；灌木层 Shannon-Wiener 指数(H)从大到小顺序依次为：苇河 > 露水河 > 鹤岗 > 安图 > 凤城 > 新宾 > 虎林 > 黑河 > 大兴沟 > 黑河；草本层 Shannon-Wiener 指数(H)从大到小顺序依次为：安图 > 大兴沟 > 苇河 > 新宾 > 凤城 > 露水河 > 鹤岗 > 黑河。乔木层、灌木层和草本层 Shannon-Wiener 指数(H)最高的分别为安图、苇河和安图，最低的分别为鹤岗、黑河和黑河。Shannon-Wiener 指数(H)与 Simpson 指数(D)结合分析，乔木层植物多样性较低的为鹤岗，灌木层较低的为黑河，草本层较低的为黑河和虎林；乔木层植物多样性较高的有大兴沟、安图、露水河和凤城等，灌木层植物多样性较高的有苇河、露水河和安图等，草本层植物多样性较高的有安图、苇河和大兴沟(图 7)。

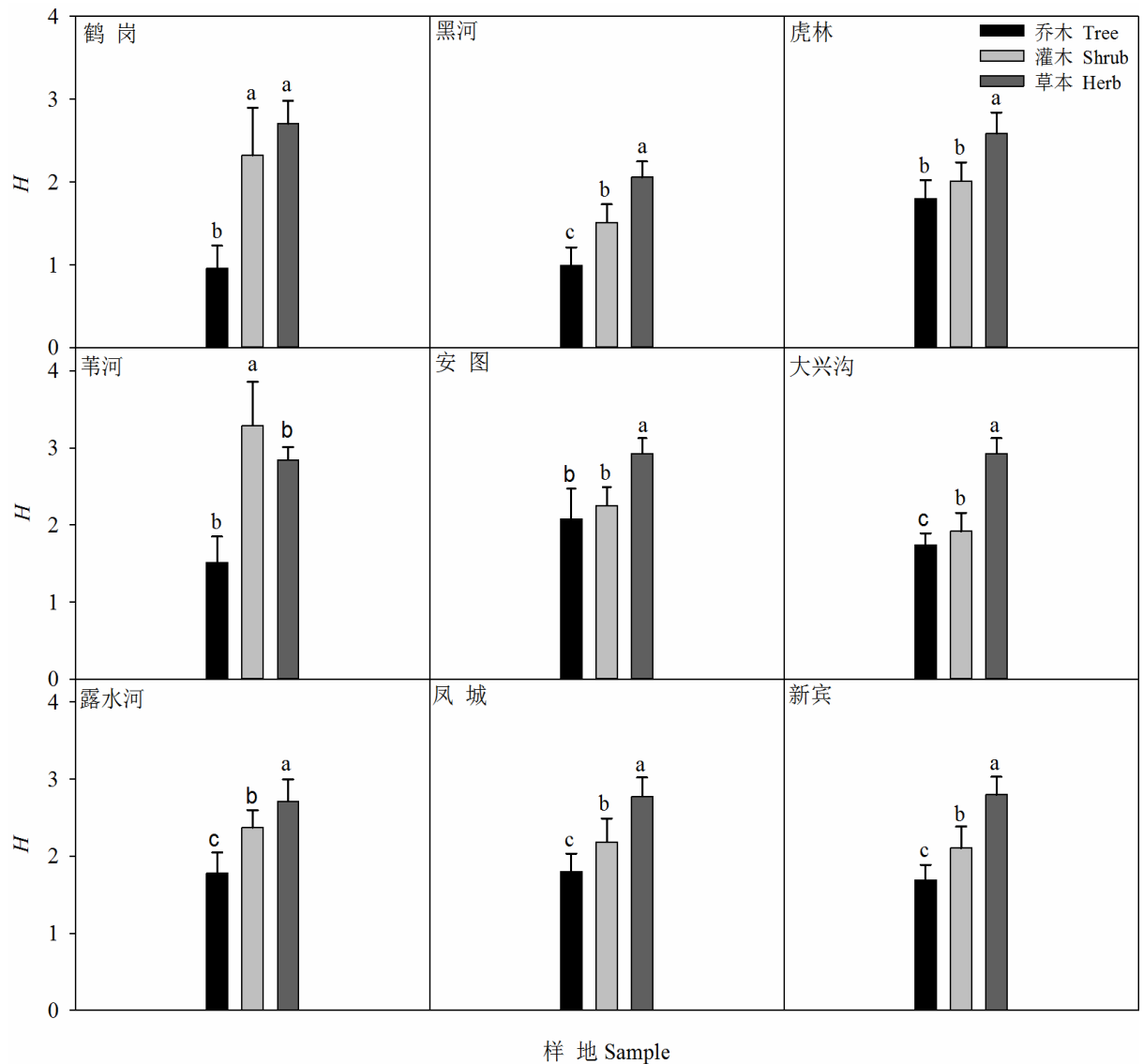


Figure 7. Shannon-Wiener index (H) of trees, shrubs and herbs in 9 samples

图 7. 调查样地的乔灌木草 Shannon-Wiener 指数(H)

3.6. 调查区内不同生长型黄檗群落中植物 Pielou 指数(E)分析

从图 8 可知, 与其他多样性指数不同, 9 块样地乔木层、灌木层和草本层的 Pielou 均匀度指数(E)除黑河外, 从大到小顺序依次为: 乔木层 > 灌木层 > 草本层, 黑河为: 灌木层 > 乔木层 > 草本层。鹤岗和黑河不同生长型之间无显著差异($P > 0.05$), 虎林、安图、大兴沟和露水河乔木层和灌木层之间无显著差异($P > 0.05$), 苇河和新宾乔木层和灌木层之间无显著差异($P > 0.05$)。9 块样地中乔木层 Pielou 指数(E)从大到小顺序依次为: 苇河 > 大兴沟 > 安图 > 新宾 > 露水河 > 凤城 > 鹤岗 > 虎林 > 黑河; 灌木层 Pielou 指数(E)从大到小顺序依次为: 黑河 > 安图 > 大兴沟 > 露水河 > 鹤岗 > 苇河 > 虎林 > 凤城 > 新宾; 草本层 Pielou 指数(E)从大到小顺序依次为: 鹤岗 > 苇河 > 黑河 > 安图 > 大兴沟 > 露水河 > 虎林 > 新宾 > 凤城。乔木层、灌木层和草本层 Pielou 指数(E)最高的分别为苇河、黑河和鹤岗, 最低的分别为黑河、新宾和凤城。

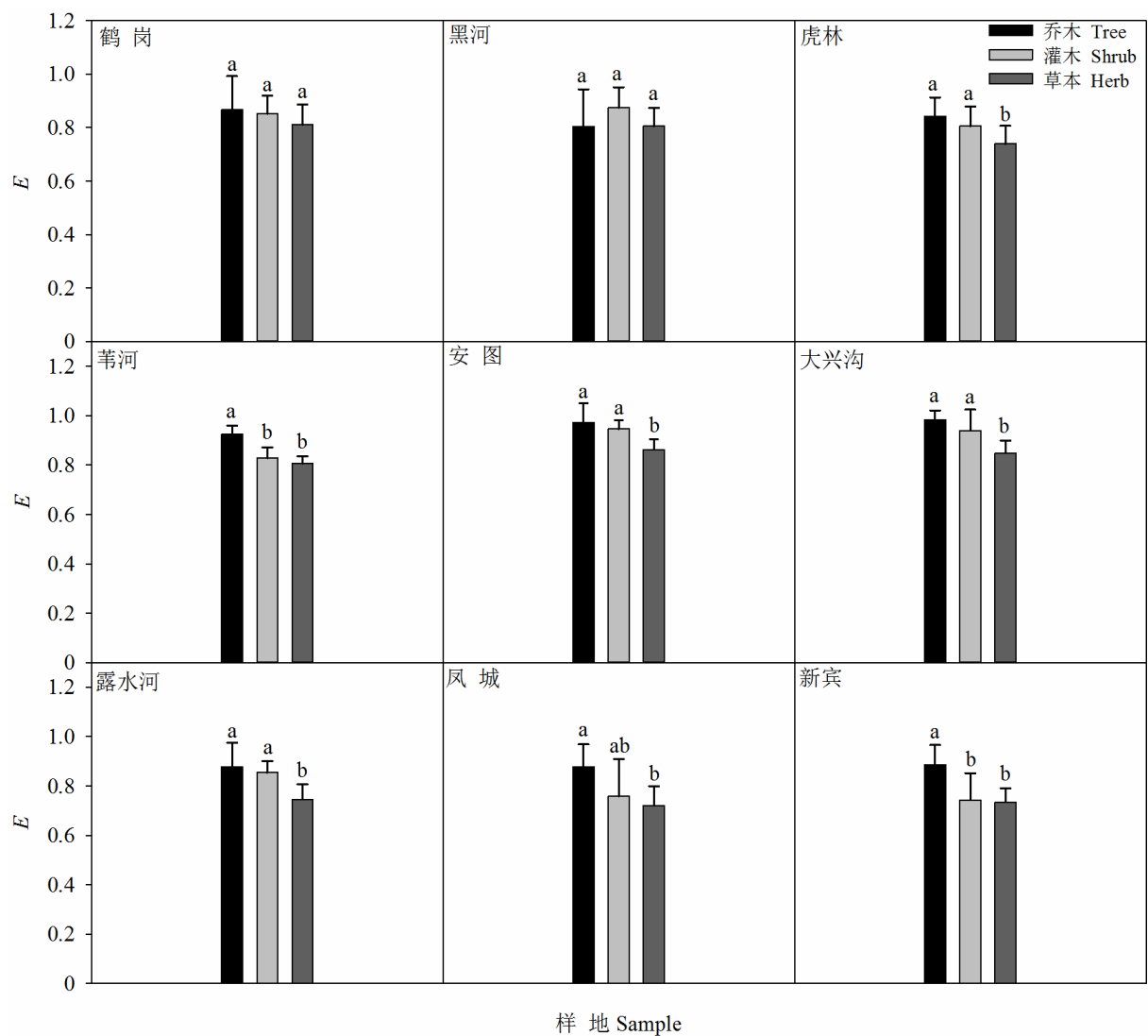


Figure 8. Pielou index (E) of trees, shrubs and herbs in 9 samples spots

图 8. 9 块样地乔灌木 Pielou 指数(E)

4. 讨论与结论

4.1. 讨论

物种多样性是生物多样性在物种水平上的表现形式，能够表征生物群落的结构复杂性，是群落的结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境水平上的表现形式，也是生物多样性的重要有机组成部分，是生态学领域的研究热点[18]。调查区内 9 块样地中，物种丰富度最高的为露水河，最低的为黑河；Simpson 指数最高的为苇河，最低的为虎林；与 Simpson 指数相同，Shannon-Wiener 指数最高的为苇河，最低的为虎林；Pielou 指数最高的为苇河，最低为新宾，植物多样性指数分析说明苇河的黄檗群落植物多样性较好，而虎林较差，可能是由于不同样地处于不同的群落演替过程，而即使相同的群落在不同的演替阶段中其植物多样性也不尽相同，同时，由于各地诸如海拔、坡位、坡向、土壤以及气候等环境因子也同样会影响植物多样性。植物物种生长型是表征植物群落外貌特征和垂直结构的重要指标[19]；生长型及其物种组成不同决定了植物群落的空间结构特征。按照 Whittaker 等[20]的分类系统，以植物群落

在空间结构上的最主要层次,即乔木层、灌木层和草本层 3 个类型为研究对象,对东北地区天然黄檗群落不同生长型的多样性分析,9 块样地中不同生长型植物,即乔木层、灌木层和草本层的丰富度指数(R)、Simpson 指数(D)和 Shannon-Wiener 指数(H)除苇河样地的 Shannon-Wiener 指数(H)外,从大到小顺序均依次为:草本层 > 灌木层 > 乔木层,与张巧明[21]对秦岭南坡主要植物群落及物种多样性研究结果相似。苇河样地的 Shannon-Wiener 指数(H)从大到小顺序依次为:灌木层 > 草本层 > 乔木层。与其他多样性指数不同,9 块样地乔木层、灌木层和草本层的 Pielou 均匀度指数(E)除黑河外,从大到小顺序依次为:乔木层 > 灌木层 > 草本层,黑河为:灌木层 > 乔木层 > 草本层,与刘艳红[22]对东北东部山区森林植物多样性的研究结果相似。

4.2. 结论

本文通过对东北不同纬度梯度的 9 个区域天然黄檗群落样地调查,共有植物 312 种,分别隶属于 68 科 183 属。物种丰富度最高的为露水河,最低的为黑河;Simpson 指数最高的为苇河,最低的为虎林;与 Simpson 指数相同,Shannon-Wiener 指数最高的为苇河,最低的为虎林;Pielou 指数最高的为苇河,最低的为新宾。不同生长型植物的丰富度指数(R)、Simpson 指数(D)和 Shannon-Wiener 指数(H)分别是:草本层 > 灌木层 > 乔木层,Pielou 均匀度指数(E)为:乔木层 > 灌木层 > 草本层。这为黄檗资源野外培育及群落物种配置提供参考。

基金项目

黑龙江省应用技术研究开发与计划项目——东北地区珍贵树种良种选育、高效培育技术示范与推广(GA19B201)。

参考文献

- [1] 聂绍荃,袁晓颖,杨逢建,等. 黑龙江植物资源志[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003: 441-444.
- [2] 国家药典委员会,编. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 2020 年版. 北京:中国医药科技出版社,2020: 153.
- [3] 国家林业局. 中国重点保护野生植物资源调查[M]. 北京:中国林业出版社,2009: 156-157.
- [4] 王泳腾,黄治昊,王俊,等. 濒危植物黄檗的生存压力研究[J]. 北京林业大学学报,2021,43(1): 49-57.
- [5] 高润清. 园林树木学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [6] 鲁敏,姜凤岐. 绿化树种对大气 SO_2 、铅复合污染的反应[J]. 城市环境与城市生态,2003,16(6): 23-25.
- [7] 中国森林编辑委员会. 中国森林(第三卷)[M]. 北京:中国林业出版社,1999: 1394-1397.
- [8] 傅立国. 中国红皮书: 稀有濒危植物[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [9] 傅立国. 中国珍稀濒危植物[M]. 上海:上海教育出版社,1989.
- [10] 国家林业和草原局政府网. 林业和草原局 农业农村部公告(2021 年第 15 号)(国家重点保护野生植物名录)[EB/OL]. <http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210908/162515850572900.html>, 2021-09-08.
- [11] 马炜,陈奇伯,卢炜丽,等. 金安桥水电站弃渣场植被恢复物种多样性研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(4): 64-68+74.
- [12] 刘灿然,马克平. 生物群落多样性的测度方法 V. 生物群落物种数目的估计方法[J]. 生态学报,1997,17(6): 601-610.
- [13] 周晓峰,王义弘,赵惠勋,等. 关于三大硬阔的适生条件[J]. 东北林业大学学报,1980,5(4): 1-10+123-124.
- [14] Gamito, S. (2010) Caution Is Needed When Applying Margalef Diversity Index. *Ecological Indicators*, **10**, 550-551. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.006>
- [15] 苏宇乔,张毅,贾小容,等. 几种多样性指标在森林群落分析中的应用比较[J]. 生态科学,2017,36(1): 132-138.
- [16] Pommerening, A. (2002) Approaches to Quantifying forest Structures. *Forestry*, **75**, 305-324. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.3.305>

-
- [17] 刘林馨. 小兴安岭森林生态系统植物多样性及生态服务功能价值研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
- [18] 漆良华, 彭镇华, 张旭东, 等. 退化土地植被恢复群落物种多样性与生物量分配格局[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1697-1702.
- [19] 马克平, 陈灵芝, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 I 植物群落的基本类型[C]//中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究进展——首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1995: 315-330.
- [20] Whittaker, R.H. and Niering, W.A. (1975) Vegetation of the Santa Cataline Mountains, Arizona. V Biomass, Production, and Diversity along the Elevation Gradient. *Ecology*, **56**, 771-790. <https://doi.org/10.2307/1936291>
- [21] 张巧明. 秦岭南坡中段主要植物群落及物种多样性研究[D]: [博士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012.
- [22] 刘艳红. 东北东部森林植物多样性及其影响因素研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002.