东北地区胡桃楸次生混交林乔木物种组成和多样性

罗 也[1,2] 及 利[1,2] 杨雨春[1,2*] 王 君[1,2] 何怀江[1,2] 张丽杰[3] 祁永会[4]

([1]吉林省林业科学研究院, 长春 130033; [2]吉林省退化森林生态系统恢复与重建跨区域合作科技创新中心, 长春 130033; [3]沈阳农业大学, 沈阳 110866; [4]黑龙江省林业科学研究所, 哈尔滨 150081)

摘 要 为了解东北地区胡桃楸次生混交林乔木树种组成和多样性,在黑龙江、吉林和辽宁三省中东部23个胡桃楸典型分布区内,设置123块面积0.1 hm^{2}圆形样地,对样地内DBH≥5 cm乔木树种的物种组成、区系特征、重要值、丰富度和多样性等进行调查与分析。结果表明:东北地区胡桃楸次生混交林内共调查到乔木物种48种,隶属于17科,31属,其中黑龙江省30种,隶属于14科,21属;吉林省37种,隶属于14科,25属;辽宁省35种,隶属于16科,25属。物种主要以北温带分布区类型为主,不同区域物种数量随纬度升高呈先增加后减少趋势,随海拔升高呈先增加后减少趋势,在海拔300~700 m物种数量最为丰富。3个地区调查样地内重要值排在前6的共有树种是胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、春榆(*Ulmus pumila*)、色木槭(*Acer mono*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)和水曲柳(*Fraxinus mandshurica*),非共有树种为红松(*Pinus koraiensis*)(黑龙江)、紫椴(*Tilia amurensis*)(吉林)和花曲柳(*Fraxinus rhynchophylla*)(辽宁)。调查样地内多样性表现均较高,除Shannon多样性指数在吉林省显著高于黑龙江省和辽宁省外($P<0.05$),Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数三省之间均无显著性差异,且三省群落之间均表现为中等相似。本研究可为深入了解东北中东部地区胡桃楸次生混交林物种多样性和森林经营提供基础。

关键词 胡桃楸; 次生混交林; 物种组成; 物种多样性

Tree species composition and diversity of secondary mixed forests of *Juglans mandshurica* in Northeast China.

LUO Ye[1,2], JI Li[1,2], YANG Yu-chun[1,2*], WANG Jun[1,2], HE Huai-jiang[1,2], ZHANG Li-jie[3], QI Yong-hui[4] ([1]*Jilin Province Academy of Forestry Science, Changchun* 130033, *China*; [2]*Interregional Cooperation Science and Technology Innovation Center for Restoration and Reconstruction of Degraded Forest Ecosystem in Jilin Province, Changchun* 130033, *China*; [3]*Shenyang Agricultural University, Shenyang* 110866, *China*; [4]*Forestry Research Institute of Heilongjiang Province, Harbin* 150081, *China*).

Abstract: To explore tree species composition and diversity of secondary mixed forests of *Juglans mandshurica* in Northeast China, a total of 123 plots with a size of 0.1 hm^2 each were set up in 23 typical distribution sites in the central and eastern regions of Heilongjiang, Jilin and Liaoning provinces. We investigated species composition, flora characteristics, importance values, richness and diversity of tree species (DBH ≥ 5 cm). A total of 48 tree species were recorded, belonging to 17 families and 31 genera. 30 species were recorded in Heilongjiang Province, belonging to 14 families and 21 genera. 37 species were recorded in Jilin Province, belonging to 14 families and 25 genera. 35 species were recorded in Liaoning Province, belonging to 16 families and 25 genera. Tree species in these plots mainly belonged to the flora of North Temperate Zone type. Tree species richness showed a hump pattern with increasing latitude and elevation across different provinces. Tree species richness was most abundant between 300-700 m elevation. The common tree species with the top six importance values were *J. mandshurica*, *Ulmus*

国家十三五重点研发计划项目(2017YFD0600605)、吉林省科技厅项目(20160203010NY,20190303072SF)和吉林省林业科技项目(2014-006)资助。

收稿日期: 2020-02-26 接受日期: 2020-06-02

*通讯作者 E-mail: yang-yu-chun@163.com

pumila, *Acer mono*, *Quercus mongolica*, and *Fraxinus mandshurica* in the plots among the three provinces. The non-common tree species were *Pinus koraiensis* (Heilongjiang), *Tilia amurensis* (Jilin), and *Fraxinus rhynchophylla* (Liaoning). The diversity indices in the plots were high. Shannon diversity index in Jilin was significantly higher than in Heilongjiang and Liaoning ($P<0.05$). There was no significant difference in Simpson diversity index and Pielou evenness index among the three pro-vinces. Tree communities shared moderate similarity among the three provinces. Our results can provide a basis for better understanding of species diversity and for forest management of the secondary mixed forests of *J. mandshurica* in the central and eastern regions in Northeast China.

Key words: *Juglans mandshurica*; secondary mixed forest; species composition; species diversity.

物种组成和多样性是衡量森林群落功能复杂性和丰富性的重要指标(Shen *et al.*,2000;Ares *et al.*,2010;Rota *et al.*,2014;崔宁洁等,2014),能够体现其空间分布、组成结构,并在一定程度上反映群落的稳定程度和生境差异等(Lomolino *et al.*,2001;孙启越等,2020)。影响物种多样性的因素是复杂和多样的(马志波等,2016;Huang *et al.*,2017),研究表明,海拔、纬度、分布区、抚育间伐等均会导致物种组成和生物多样性产生差异。Bo 等(2016)研究表明,多样性指数在一定范围内随海拔升高呈现先升高后降低的趋势;但乔亚玲等(2016)研究发现,植物群落虽物种组成丰富,但多样性指数随海拔的变化却无明显规律。对于不同纬度植物分布区的研究发现,不同地区植物主要分布区类型有所差异;由南至北研,北回归线热带雨林物种主要以亚热带分布为主(Shankar *et al.*,2017),武夷山常绿阔叶林物种则主要以泛热带分布和北温带与南温带间断分布为主(杨青等,2014),而长白山地区阔叶混交林植物主要以北温带分布为主(宋厚娟等,2014),且相比于热带、亚热带地区,北温带地区的物种多样性更丰富一些;相对于海拔和纬度变化下的差异,抚育间伐后林分内物种多样性均高于原始林分(Ewa *et al.*,2018;郭海沣等,2019;何怀江等,2019)。同时,其他相关研究也为解释森林物种组成和多样性奠定了良好的基础(Hooper *et al.*,2005;Tilman *et al.*,2006)。

胡桃楸(*Juglans mandshurica* Maxim.)为胡桃科(Juglandaceae)胡桃属(*Juglans*)落叶乔木,属第三纪孑遗植物,是我国珍贵的"东北三大硬阔"树种之一,主要分布于我国东北地区,是珍贵的用材和经济林树种之一(周以良,1997)。由于长期的人为采伐与过度利用,胡桃楸天然林数量急剧减少,绝大多数已演变为次生混交林(张丽鹏等,2014;罗也等,2019)。鉴于此,关于胡桃楸经济价值、栽培技术、遗传育种和资源开发利用等方面的相关研究已经比较深入(陈思羽等,2015;Salahuddin *et al.*,2018;及利等,2019;唐丽丽等,2019),而关于胡桃楸次生混交林多样性的研究相对较少,且多数主要集中在群落结构和遗传多样性等方面(杨立学等,2013;刘巨钊,2015;Song *et al.*,2017)。因此,本研究在对东北三省胡桃楸次生混交林调查基础上,分析研究其乔木树种组成和多样性关系,旨在为更加全面地了解东北三省胡桃楸次生混交林物种组成和多样性状况,正确认识、合理改造和有效利用胡桃楸次生林,进一步施以合理的经营措施促进其正向演替提供科学的理论依据。

1 研究区概况

东北地区大部处于中温带,主要以湿润半湿润地区为主,行政区域包括黑龙江、吉林和辽宁三省。该区气候属温带大陆性季风气候,冬季寒冷而漫长,夏季温暖而短促,气温年较差达到 49 ℃,年平均降水量为 460.8 mm。东北三省植被类型复杂,分布有落叶阔叶林、针阔混交林和针叶林等多种植被类型,主要乔木树种有胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、花曲柳(*Fraxinus rhynchophylla*)、春榆(*Ulmus pumila*)、色木槭(*Acer mono*)、白桦(*Betula platyphylla*)、黑桦(*Betula davurica*)、暴马丁香(*Syringa reticulate* var. *amurensis*)、红松(*Pinus koraiensis*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)等。

本研究于 2017—2019 年,依据水热条件和胡桃楸天然次生林的分布区域,在黑龙江(HLJ)、吉林(JL)和辽宁(LN)三省中东部地区(123°58′13″E—130°24′10″E,40°52′25″N—46°48′50″N)进行了全面调查,共计调查样地 123 块,涉及 23 个林业局(图 1)。

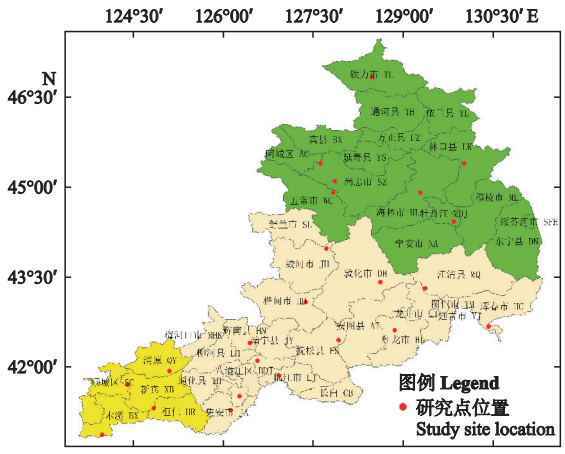


图 1　研究地点位置示意图
Fig.1　Sketch map of study site location

2　研究方法

2.1　样地设置

依据立地条件设置胡桃楸天然次生林样地,样地距离林缘大于 20 m,避开河流、道路或伐开林带。采用样圆法进行样地设置,半径 17.85 m,以南向为起点,对样圆内所有 DBH≥5 cm 的活立木进行调查、挂号并定位,调查树种名称、胸径(DBH,cm)、树高(H,m)、冠幅(CW,m)、距离(D,m)和角度(°),同时记录每块样地的经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位、土壤厚度和腐殖质层厚度,样地基本情况如表 1。

2.2　物种多样性测定

2.2.1　重要值(*IV*)　根据物种的相对密度(RD_i)、相对频度(RF_i)和相对显著度(RP_i)计算三省内调查样地各物种的重要值(*IV*),并以物种的重要值为基础,计算物种多样性指数。

$$IV_i=\frac{RD_i+RF_i+RP_i}{3} \quad (1)$$

其中,RD_i为物种 i 的相对密度,RF_i为物种 i 的相对频度,RP_i为物种 i 的相对显著度。

2.2.2　物种多样性　物种多样性是群落功能复杂性和稳定性的重要量度指标(马克平等,1994;何怀江等,2019)。本研究主要应用 Shannon 多样性指数 *H*、Simpson 多样性指数 *D* 和 Pielou 均匀度指数 J_{sw} 来综合评价(马克平等,1994)。

$$H=-\sum P_i\ln P_i \quad (2)$$

$$D=1-\sum P_i^2 \quad (3)$$

$$J_{sw}=H/\ln S \quad (4)$$

式中,$P_i=N_i/N$,P_i为物种 i 的相对重要值,N 为种 i 所在样地的各个种重要值之和,N_i为第 i 个物种的重要值。

2.2.3　群落相似性　群落相似性系数是基于 2 个群落之间某些物种是否共存,从而对物种相似程度加以比较(于顺利等,2000),本研究采用 Jaccard 相似系数(S_j)进行表征,表达式为:

$$S_j=\frac{a}{a+b+c} \quad (5)$$

式中,S_j为 Jaccard 相似系数,a 是群落 1 和群落 2 的共有种,b、c 分别为两群落的相异种。当 S_j指数值为 0.00~0.25 时为极不相似,当 S_j指数值为 0.25~0.50时为中等不相似,当S_j指数值为0.50~0.75时

表 1　样地基本情况
Table 1　Basic situation of plots

变量 Variables	黑龙江(HLJ)	吉林(JL)	辽宁(LN)
样地个数 Number of plot	41	41	41
海拔 Altitude (m)	230~577	110~834	257~717
平均胸径 Mean DBH (cm)	15.18	16.77	17.11
平均树高 Mean height (m)	11.98	12.76	13.44
林分密度 Stand density (ind · hm^{-2})	652	496	514
胸高断面积 Stand basal area (m^2 · hm^{-2})	16.64	16.14	10.48
坡度 Slope (°)	0~35	0~22	0~21
坡向(样地个数) Aspect (Number of plot)	阳坡 Sunny (6)、半阳坡 Semi-sunny (13) 阴坡 Shady (7)、半阴坡 Semi-shady (15)	阳坡 Sunny (5)、半阳坡 Semi-sunnyy (11) 阴坡 Shady (14)、半阴坡 Semi-shady (11)	阳坡 Sunny (8)、半阳坡 Semi-sunny (19) 阴坡 Shady (9)、半阴坡 Semi-shady (5)
坡位(样地个数) Slope position (Number of plot)	上坡 Upper (4)、中坡 Middle (9)、下坡 Lower (28)	上坡 Upper (4)、中坡 Middle (15)、下坡 Lower (22)、	上坡 Upper (1)、中坡 Middle (18)、下坡 Lower (22)
土壤深度 Soil depth (cm)	11.5~56.0	11.2~47.8	11.0~43.5
腐殖质厚度 Humus thickness (cm)	4.0~27.0	2.1~32.0	7.6~31.0

表 2 东北三省胡桃楸次生混交林物种组成

Table 2 Species composition of secondary mixed forest of *Juglans mandshurica* in three provinces of Northeast China

类型 Type	黑龙江(HLJ)		吉林(JL)		辽宁(LN)		总计 Total	
	数量 Number	比例 Proportion (%)	数量 Number	比例 Proportion (%)	数量 Number	比例 Proportion (%)	数量 Number	比例 Proportion (%)
科 Family	14	82.35	14	82.35	16	94.12	17	100.00
属 Genus	21	67.74	25	80.65	25	80.65	31	100.00
种 Species	30	62.50	37	77.08	35	72.92	48	100.00

为中等相似,当 S_j 指数值为 0.75~1.00 时为极相似。

2.3 数据分析

实验数据和表格建立均采用 Excel 2007 进行整理,同时采用 SPSS 19.0 对数据进行分析和比较。

3 结果与分析

3.1 物种组成与分布

调查发现(表 2),三省物种共计 48 种,隶属于 17 科,31 属,其中黑龙江省 30 种,隶属于 14 科,21 属,占总物种数的 62.50%,物种数最多的科为松科,含 6 个物种,占比 20.00%,其次为桦木科(4 个)、蔷薇科(4 个)、槭树科(3 个)、木犀科(3 个)和椴树科(2 个),剩余 8 个科均含有 1 个物种;吉林省 37 种,隶属于 14 科,25 属,占总物种数的 77.08%,物种数最多的科为蔷薇科,共含 6 个物种,占比 16.22%,其次为松科(5 个)、槭树科(5 个)、桦木科(4 个)、杨柳科(3 个)、木犀科(3 个)、豆科(2 个)、椴树科(2 个)和榆科(2 个),剩余 5 个科均含有 1 个物种;辽宁省 35 种,隶属于 16 科,25 属,占总物种数的 72.92%,其中物种数最多的科为蔷薇科,共含有 6 个物种,占比 17.14%,其次为槭树科(4 个)、桦木科(4 个)和木犀科(3 个),豆科、椴树科、松科、杨柳科、榆科和山茱萸科均含有 2 个物种,剩余 6 个科只含有 1 个物种。

研究发现(图 2),样地所处纬度区间为 40.67°N—46.81°N,随纬度的升高,样地内物种科、属、种数量变化规律一致,均呈先增加后逐渐降低的趋势,在 41°N—42°N 纬度带,物种的科、属、种数量均最多。

由图 3 可知,随海拔的升高,各省内调查样地物种科、属、种数量变化趋势一致,均呈先增加再降低趋势,不同省之间物种科、属、种数量变化趋势不同,其中黑龙江省调查样地内物种科、属、种数量在海拔 301~400 m 存在最大值,吉林省和辽宁省相应的最大值分别在 501~600 m 和 601~700 m。整体来看,胡桃楸次生混交林物种在海拔 300~700 m 存在的物种数最为丰富,是胡桃楸及其伴生树种最适宜生存的海拔。

3.2 区系特征

根据吴征镒(1991)关于属的分布区类型标准,研究区乔木物种分布区类型包括 7 个(表 3),主要以北温带分布类型为主,其中吉林和辽宁省样地内物种未见泛热带分布类型,黑龙江省样地内未见东亚和北美洲间断分布。

3.3 物种重要值

三省重要值排在前 6 的树种存在差异(表 4)。其中,黑龙江省排在前 6 位的乔木树种依次为胡桃楸、春榆、红松、暴马丁香、水曲柳和色木槭,重要值合计达到 68.19%;吉林省重要值排在前 6 的乔木树种依次是胡桃楸、色木槭、春榆、蒙古栎、水曲柳和紫椴,重要值合计达到 67.16%;辽宁省重要值排名前 6 的乔木树种依次是胡桃楸、色木槭、春榆、蒙古栎、花曲柳和水曲柳,总重要值达到 68.81%;从整体来看,春榆、色木槭、蒙古栎和水曲柳为胡桃楸次生混交林主要伴生树种。

3.4 物种丰富度和多样性

黑龙江、吉林和辽宁三省物种丰富度分别为

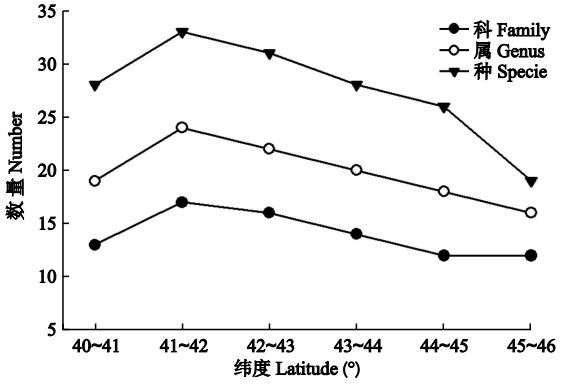


图 2 不同纬度下物种科、属、种数量变化

Fig.2 Variation of species families, genera and species at different latitudes

表 3　东北三省胡桃楸次生混交林物种属的分布区类型

Table 3　Distribution area type of genus of secondary mixed forest of *Juglans mandshurica* in three provinces of Northeast China

分布区类型 Distribution patterns	黑龙江(HLJ)		吉林(JL)		辽宁(LN)	
	属数 Genus	比例 Percentage (%)	属数 Genus	比例 Percentage (%)	属数 Genus	比例 Percentage (%)
1 世界分布 Cosmopolitan	1	4.76	1	4.00	1	4.00
2 泛热带分布 Pantropic	1	4.76	0	0.00	0	0.00
4 旧世界热带分布 Old Word Tropics	1	4.76	1	4.00	1	4.00
8 北温带分布 North Temperate	15	71.43	18	72.00	16	64.00
9 东亚和北美洲间断分布 E. Asia and N. Amer. Disjuncted	0	0.00	1	4.00	1	4.00
10 旧世界温带分布 Old Word Temperate	2	9.52	2	8.00	3	12.00
14 东亚分布 E. Asia	1	4.76	2	8.00	3	12.00
合计 Total	21	100.00	25	100.00	25	100.00

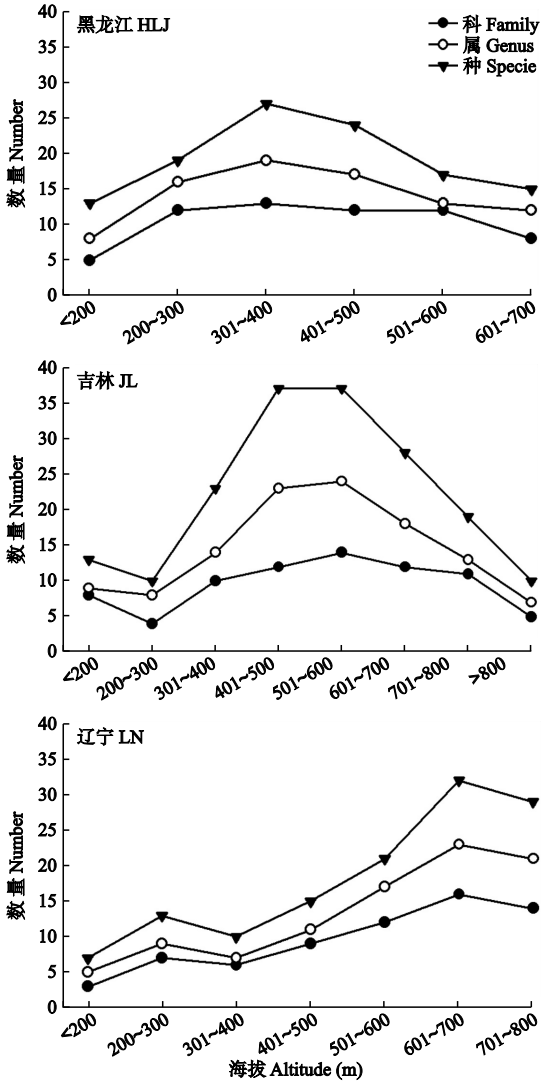


图 3　不同海拔下物种科、属、种数量变化

Fig.3　Variation of species families, genera and species at different altitudes

30、37、35 种,其中物种丰富度大小关系为吉林>辽宁>黑龙江(表 5)。除 Shannon 多样性指数在吉林省显著高于黑龙江省和辽宁省外($P<0.05$)(大小顺序为吉林>黑龙江>辽宁),其他多样性指数三省间差异均不显著($P>0.05$),Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 的 J_{sw} 指数大小顺序均为黑龙江>吉林>辽宁。

3.5　群落相似性

研究发现(表 6),群落相似系数均在 0.5 以上,相互之间均表现为相似。其中黑龙江省群落与吉林省和辽宁省之间的相似性指数分别为 0.54 和 0.52,吉林省调查样地群落与辽宁省之间的相似性指数为 0.71,数值均在 0.50~0.75,均属于中等相似。

4　讨论与结论

4.1　讨　论

4.1.1　物种组成与分布　研究物种组成和分布是了解生态系统过程、形成及其维持机制的重要途径(Gamfeldt *et al.*, 2013),对于合理经营具有重要的意义(陈金磊等,2019)。研究表明,三省胡桃楸次生混交林共计调查到乔木 48 种,其中黑龙江省 30 种,吉林省 37 种,辽宁省 35 种,乔木物种丰富度总体较高,这与蒙古栎次生混交林和杨桦次生混交林的研究结果基本相同(郝占庆等,2008;冯琦雅等,2018)。主要是由于次生混交林是由原始林分经干扰形成的过渡林分类型,保持了原始林分特征,为新物种的进入和生存提供了空间,一般表现为物种丰富度较高。本研究发现,胡桃楸次生混交林物种科、属、种数量随纬度的升高呈先增加后逐渐减少的趋势,随海拔的升高呈先增加后减少的趋势,这与李林等(2020)对亚热带不同海拔下植物群落物种多样性的分布规律的研究结果一致,表明物种多样性会随着纬度升高,通过降低海拔来选择最适生存环境,

表 4 东北三省胡桃楸次生混交林重要值排名前 6 的物种组成

Table 4 Species composition of importance values ranked in the top 6 of secondary mixed forest of *Juglans mandshurica* in three provinces of Northeast China

地点 Location	物种 Species	个体数量 Number	胸高断面积 Basal area at breast-height (m^2)	相对密度 Relative density (%)	相对频度 Relative frequency (%)	相对显著度 Relative significance (%)	重要值 Importance value (%)
黑龙江	胡桃楸 *Juglans mandshurica*	647	30.23	31.26	12.35	42.56	28.72
(HLJ)	春榆 *Ulmus pumila*	473	8.88	17.23	9.17	11.21	12.54
	红松 *Pinus koraiensis*	272	12.44	10.45	5.68	15.67	10.60
	暴马丁香 *Syringa reticulata*	191	0.77	9.04	7.32	2.31	6.22
	水曲柳 *Fraxinus mandshurica*	128	3.15	5.87	7.03	2.57	5.16
	色木槭 *Acer mono*	151	2.12	5.63	6.89	2.34	4.95
	合计 Total	1862	57.59	79.48	48.44	76.66	68.19
吉林	胡桃楸 *Juglans mandshurica*	443	25.68	27.54	16.24	48.46	30.75
(JL)	色木槭 *Acer mono*	263	7.59	14.58	10.15	12.49	12.41
	春榆 *Ulmus pumila*	196	4.37	10.03	8.31	8.51	8.95
	蒙古栎 *Quercus mongolica*	99	2.87	5.21	6.31	6.27	5.93
	水曲柳 *Fraxinus mandshurica*	82	3.23	3.62	5.98	5.13	4.91
	紫椴 *Tilia amurensis*	79	3.45	3.17	5.43	4.05	4.22
	合计 Total	1162	47.19	64.15	52.42	84.91	67.16
辽宁	胡桃楸 *Juglans mandshurica*	432	22.67	34.18	12.62	58.28	35.03
(LN)	色木槭 *Acer mono*	169	2.41	13.37	11.08	6.20	10.22
	春榆 *Ulmus pumila*	107	2.03	8.47	9.23	5.21	7.64
	蒙古栎 *Quercus mongolica*	94	2.76	7.44	6.77	7.09	7.10
	花曲柳 *Fraxinus rhynchophylla*	66	1.04	5.22	6.77	2.68	4.89
	水曲柳 *Fraxinus mandshurica*	37	1.31	2.93	5.54	3.37	3.95
	合计 Total	905	32.22	71.61	52.01	82.83	68.81

表 5 物种多样性指数

Table 5 Species diversity index

研究地点 Study location	变量 Variable	指数 Index		
		Shannon 指数 (H)	Simpson 指数 (D)	Pielou 均匀度指数(J_{sw})
黑龙江	平均值 Average value	2.5933 b	0.8537 a	0.7625 a
(HLJ)	标准差(SD)	0.07	0.02	0.03
	变异系数(CV)	2.70	2.34	3.93
吉林	平均值 Average value	2.6518 a	0.8512 a	0.7344 a
(JL)	标准差(SD)	0.08	0.03	0.04
	变异系数(CV)	3.02	3.52	5.45
辽宁	平均值 Average value	2.5842 b	0.8466 a	0.7268 a
(LN)	标准差(SD)	0.06	0.03	0.03
	变异系数(CV)	2.32	3.54	4.13

注：同列不同小写字母表示各省样地内物种多样性差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences in species diversity in every province plots.

表 6 群落相似性

Table 6 Community similarity

类型 Type	黑龙江(HLJ)	吉林(JL)	辽宁(LN)
黑龙江(HLJ)	1	-	-
吉林(JL)	0.54	1	-
辽宁(LN)	0.52	0.71	1

即纬度大小和海拔共同对物种存活产生影响作用。

4.1.2 区系特征 东北三省胡桃楸次生混交林涵盖了世界分布、泛热带分布等 7 个分布区类型，区系组成较丰富，且以北温带成分占优势，而其他区系组成虽物种相对较少，但在一定程度上表现了群落的古老性，主要表现为旧世界热带分布和泛热带分布物种的存在(谢春平等，2011)。同时，与云冷杉林、落叶松林、针阔混交林、常绿阔叶林、原始林和次生林群落物种主要存在温带分布区(张春雨等，2008；张彩虹等，2009；匡旭等，2014；孙越等，2017)和偏热带、亚热带分布区(叶万辉等，2008；Souza *et al.*，2012；姚良锦等，2017；周秋静等，2019)相比，本研究区域物种分布区类型较广泛，能够较好地反映该地区次生林的物种分布、形成以及演替规律。

4.1.3 重要值 三省胡桃楸次生林调查样地内重要值排在前 6 的共有树种分别是胡桃楸、春榆、色木槭、蒙古栎和水曲柳，非共有树种分别是红松(黑龙江)、紫椴(吉林)和花曲柳(辽宁)。从三省调查样地整体情况来看，春榆、色木槭、蒙古栎和水曲柳为东北地区胡桃楸次生混交林主要伴生树种。这与李雪梅等对长白山北坡胡桃楸林的研究结果基本相

同,但由于林分类型不同,伴生树种会有一定差异,因此与大兴安岭落叶松林、白桦-落叶松林、长白山原始林、杨桦林等存在一定差异(李雪梅等,2014;孙越等,2017;张建宇等,2018)。虽然三省调查样地内植物均属于北温带植物区系,林分类型相同,但从植被带上,黑龙江地区属于针叶林带,纬度较高,因此该地区针叶树种红松成为主要混交树种之一;而吉林地区属于温带针叶混交林带,辽宁地区属于阔叶混交林带,因此林分中阔叶树占主要成分,且分别是紫椴和花曲柳的天然分布区域。

4.1.4　物种丰富度和多样性　调查发现,三省样地内物种丰富度相近,但吉林省调查样地内物种 Shannon 多样性指数(H)显著高于黑龙江省和辽宁省($P<0.05$),这主要是因为吉林省处于针叶林和阔叶林的过渡地带,具有两种类型的物种特征,因此表现出物种丰富度较高。黑龙江省和辽宁省调查样地内物种指数 H 无显著性差异;在 Simpson 多样性指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J_{sw})方面,三省之间均无显著性差异,这说明 Shannon 多样性指数(H)比 Simpson 多样性指数(D)有更高的敏感性(马履一等,2007,何怀江等,2019)。

群落相似性主要受到空间距离、环境差异和森林类型等的影响(于顺利等,2000),本研究发现,三省调查样地群落相似系数均在 0.5 以上,相互之间均表现为中等相似性。说明三省胡桃楸次生混交林物种之间虽存在一定差异性,但整体趋于相近。主要由于研究范围主要集中在东北地区,没有形成明显的地理隔绝,一般不会导致较大的物种差异。

4.2　结　论

通过对东北三省胡桃楸次生混交林物种组成和多样性调查分析,表明研究区域物种组成丰富,以北温带分布区类型为主,以春榆、色木槭、蒙古栎和水曲柳为主要伴生树种;物种数量随纬度的升高呈先增加后逐渐减少的趋势,随海拔的升高呈先增加后减小的趋势,在海拔 300~700 m 物种丰富度最高;三省调查样地内物种多样性指数除 Shannon 多样性指数外,均无显著性差异,三省群落相似性均为中等。该研究结果可为东北三省胡桃楸次生混交林物种多样性的深入认知和后续的合理经营研究提供基础。

参考文献

陈金磊, 方　晰, 辜　翔, 等. 2019. 中亚热带 2 种森林群落组成、结构及区系特征. 林业科学, **55**(2): 159-172. [Chen JL, Fang X, Gu X, *et al*. 2019. Composition, structure, and floristic characteristics of two forest communities in the central-subtropical China. *Scientia Silvae Sinicae*, **55**(2): 159-172.]

陈思羽, 杨　辉, 韩　姣, 等. 2015. 长白山区核桃楸结实性状种源变异分析. 北京林业大学学报, **37**(12): 32-40. [Chen SY, Yang H, Han J, *et al*. 2015. Provenance variation of seed traits of *Juglans mandshurica* in Changbai Mountains, northeastern China. *Journal of Beijing Forestry University*, **37**(12): 32-40.]

崔宁洁, 张丹桔, 刘　洋, 等. 2014. 马尾松人工林不同大小林窗植物多样性及其季节动态. 植物生态学报, **38**(5): 477-490. [Cui NH, Zhang DJ, Liu Y, *et al*. 2014. Plant diversity and seasonal dynamics in forest gaps of varying sizes in *Pinus massoniana* plantations. *Chinese Journal of Plant Ecology*, **38**(5): 477-490.]

冯琦雅, 陈超凡, 覃　林, 等. 2018. 不同经营模式对蒙古栎天然次生林林分结构和植物多样性的影响. 林业科学, **54**(1): 12-21. [Feng QY, Chen CF, Qin L, *et al*. 2018. Effects of different management models on stand structure and plant diversity of natural secondary forests of *Quercus mongolica*. *Scientia Silvae Sinicae*, **54**(1): 12-21.]

郭海洋, 王　涛, 贾炜玮. 2019. 抚育间伐对林口林业局主要针叶树种生长结构及生物多样性的影响. 东北林业大学学报, **47**(12): 1-6. [Guo HF, Wang T, Jia WW. Effects of thinning on growth, structure and biodiversity of main coniferous species in Northeast China. *Journal of Northeast Forestry University*, **47**(12): 1-6.]

郝占庆, 张　健, 李步杭, 等. 2008. 长白山次生杨桦林样地:物种组成与群落结构. 植物生态学报, **32**(2): 251-261. [Hao ZQ, Zhang J, Li BH, *et al*. 2008. Nature secondary poplar birch forest in Changbai Mountain: Species composition and community structure. *Chinese Journal of Plant Ecology*, **32**(2): 251-261.]

何怀江, 张忠辉, 张春雨, 等. 2019. 采伐强度对东北针阔混交林林分生长和物种多样性的短期影响. 林业科学, **55**(2): 1-12. [He HJ, Zhang ZH, Zhang CY, *et al*. 2019. Short-term effects of thinning intensity on stand growth and species diversity of mixed coniferous and broad-leaved forest in Northeastern China. *Scientia Silvae Sinicae*, **55**(2): 1-12.]

及　利, 韩　姣, 王　芳, 等. 2019. 干旱胁迫对不同土壤基质下核桃楸幼苗的生理特性的影响. 植物研究, **39**(5): 722-732. [Ji L, Han J, Wang F, *et al*. 2019. Effect of drought stress on photosynthetic and physiological characteristics of *Juglans mandshurica* seedlings in different soil substrates. *Bulletin of Botanical Research*, **39**(5): 722-732.]

匡　旭, 邢丁亮, 张昭臣, 等. 2014. 长白山北坡云冷杉林和落叶松林物种组成与群落结构. 应用生态学报, **25**(8): 2149-2157. [Kuang X, Xing DL, Zhang ZC, *et al*. 2014. Species composition and community structure of a spruce-fir forest and a larch forest on the northern slope of Changbai

Mountains, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **25**(8): 2149-2157.]

李 林, 魏识广, 练琚愉, 等. 2020. 亚热带不同纬度植物群落物种多样性的分布规律. 生态学报, **40**(4): 1-9. [Li L, Wei SG, Lian JY, *et al*. 2020. Distributional regularity of species diversity in plant community at different latitudes in subtropics. *Acta Ecologica Sinica*, **40**(4): 1-9.]

李雪梅, 王树力. 2014. 长白山北坡次生林的树种多样性与胸径多样性. 植物研究, **34**(4): 542-546. [Li XM, Wang SL. 2014. Tree species diversity and DBH diversity of the secondary forests on the north slope of Changbai Mountains. *Bulletin of Botanical Research*, **34**(4): 542-546.]

刘巨钊. 2015. 基于物种分布模型的胡桃楸遗传多样性分析以及胡桃楸黄酮类天然产物的虚拟筛选(硕士学位论文). 哈尔滨: 东北林业大学. [Liu JZ. 2015. Based on the Analysis of Species Distribution Model of *Juglans mandshurica* Genetic Diversity and Virtual Screening of Flavonoids compounds in *Juglans mandshurica* (Master's Thesis). Harbin: Northeast Forestry University.]

罗 也, 杨雨春, 王 君, 等. 2019. 吉林省长白山区胡桃楸天然次生混交林立地指数模型. 应用生态学报, **30**(12): 4049-4058. [Luo Y, Yang YC, Wang J, *et al*. 2019. Site index model of *Juglans mandshurica* natural secondary mixed forest in Changbai Mountain Area, Jilin Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **30**(12): 4049-4058.]

马克平, 刘玉明. 1994. 生物群落多样性的测度方法. Ⅰ: α多样性的测度方法(下). 生物多样性, (4): 231-239. [Ma KP, Liu YM. 1994. Measurement method of biodiversity. Ⅰ: Measurement method of α diversity (2). *Biodiversity Science*, (4): 231-239.]

马履一, 李春义, 王希群, 等. 2007. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响. 林业科学, **43**(5): 1-9. [Ma LY, Li CY, Wang XQ, *et al*. 2007. Effects of thinning on the growth and the diversity of undergrowth of *Pinus tabulaeformis* plantation in Beijing Mountainous Areas. *Scientia Silvae Sinicae*, **43**(5): 1-9.]

马志波, 肖文发, 黄清麟, 等. 2016. 森林群落多样性与空间格局研究综述. 世界林业研究, **29**(3): 35-39. [Ma ZB, Xiao WF, Huang QL, *et al*. 2016. A review of diversity and spatial pattern of forest community. *World Forestry Research*, **29**(3): 35-39.]

乔亚玲, 刘政鸿, 郝文芳, 等. 2016. 陕南秦巴山区药用植物群落物种多样性研究. 植物科学学报, **34**(2): 200-210. [Qiao YL, Liu ZH, Hao WF, *et al*. 2016. Species diversity of the medicinal plant community in the Qin-Ba Mountainous Area of southern Shaanxi. *Plant Science Journal*, **34**(2): 200-210.]

宋厚娟, 叶 吉, 师 帅, 等. 2014. 长白山区阔叶红松林残留片段木本植物物种组成与群落结构. 应用生态学报, **25**(5): 1239-1249. [Song HJ, Ye J, Shi S, *et al*. 2014. Woody plant species composition and community structure in residual fragments of broadleaved Korean pine mixed forests in Changbai Mountains area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **25**(5): 1239-1249.]

孙 越, 夏富才, 赵秀海, 等. 2017. 张广才岭温带次生针阔混交林物种组成和群落结构特征. 生态学报, **37**(10): 3425-3436. [Sun Y, Xia FC, Zhao XH, *et al*. 2017. The composition and community structure of coniferous and broadleaved mixed forest species in the Zhangguangcai Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, **37**(10): 3425-3436.]

孙启越, 张卫强, 赵连清, 等. 2020. 皆伐前后油松人工林下植物多样性变化及与土壤水分的关系. 中南林业科技大学学报, **40**(3): 119-129. [Sun QY, Zhang WQ, Zhao LQ, *et al*. 2020. Variation of understory plant diversity and its relationship with soil moisture in *Pinus tabulaeformis* plantation before and after clearcutting. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, **40**(3): 119-129.]

唐丽丽, 张 梅, 赵香林, 等. 2019. 华北地区胡桃楸林分布规律及群落构建机制分析. 植物生态学报, **43**(10): 1-9. [Tang LL, Zhang M, Zhao XL, *et al*. 2019. Species distribution and community assembly rules of *Juglans mandshurica* in North China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, **43**(10): 1-9.]

吴征镒. 1991. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, (S4): 1-139. [Wu ZY. 1991. Distribution types of genus of seed plants in China. *Acta Botanica Yunnanica*, (S4): 1-139.]

谢春平, 方 彦, 方炎明. 2011. 不同地区乌冈栎群落木本植物区系分析. 甘肃农业大学学报, **46**(3): 74-82. [Xie FP, Fang Y, Fang YM. 2011. Analysis on woody flora of *Quercus phillyraeoides* community in different areas. *Journal of Gansu Agricultural University*, **46**(3): 74-82.]

杨 青, 丁 晖, 方炎明, 等. 2014. 武夷山大安源甜槠常绿阔叶林群落物种组成及多样性分析. 植物资源与环境学报, **23**(1): 44-50. [Yang Q, Ding H, Fang YM, *et al*. 2014. Analyses on species composition and diversity of evergreen broad-leaved forest community of *Castanopsis eyrei* at Da'anyuan in Wuyi Mountain. *Journal of Plant Resources and Environment*, **23**(1): 44-50.]

杨立学, 孙跃志. 2013. 不同林龄胡桃楸林下植物多样性的差异. 生态学杂志, **32**(4): 807-812. [Yang LX, Sun YZ. 2013. Biodiversity of understory vegetation in different-aged Manchurian walnut plantations. *Chinese Journal of Ecology*, **32**(4): 807-812.]

姚良锦, 姚 兰, 易咏梅, 等. 2017. 湖北七姊妹山亚热带常绿落叶阔叶混交林的物种组成和群落结构. 生物多样性, **25**(3): 275-284. [Yao LJ, Yao L, Yi YM, *et al*. 2017. Species composition and community structure of a 6-ha subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest dynamics plot in the Qizimei Mountains, Hubei Province. *Biodiversity Science*, **25**(3): 275-284.]

叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 等. 2008. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林20公顷样地群落特征研究. 植物生态学报, **32**(2): 274-286. [Ye WH, Cao HL, Huang ZL, *et al*.

2008. Community structure of a 20 hm^2 lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, **32**(2): 274-286.]

于顺利, 陈灵芝, 张承军. 2000. 不同地点蒙古栎群落相似性的研究. 植物学通报, **17**(6): 554-558. [Yu SL, Chen LZ, Zhang CY. 2000. The research on the similarity of *Quercus mongolica* community in different sites. *Chinese Bulletin of Botany*, **17**(6): 554-558.]

张彩虹, 朱教君, 闫巧玲, 等. 2009. 长白山北坡原始林与次生林植物物种多样性比较及影响因素分析. 东北林业大学学报, **37**(11): 52-55. [Zhang CH, Zhu JJ, Yan QL, *et al*. 2009. Comparison of plant species diversity and factors influencing species diversity of primeval and secondary forests on the Northern slope of Changbai Mountains, China. *Journal of Northeast Forestry University*, **37**(11): 52-55.]

张春雨, 赵秀海, 夏富才. 2008. 长白山次生林树种空间分布及环境解释. 林业科学, **44**(8): 1-8. [Zhang CY, Zhao XH, Xia FC. 2008. Spatial distribution of tree species and environmental interpretations of secondary forest in Changbai Mountains. *Scientia Silvae Sinicae*, **44**(8): 1-8.]

张建宇, 王文杰, 杜红居, 等. 2018. 大兴安岭呼中地区 3 种林分的群落特征、物种多样性差异及其耦合关系. 生态学报, **38**(13): 4684-4693. [Zhang JY, Wang WJ, Du HJ, *et al*. 2018. Differences in community characteristics, species diversity, and their coupling associations among three forest types in the Huzhong area, Daxinganling mountains. *Acta Ecologica Sinica*, **38**(13): 4684-4693.]

张丽鹏, 杨雨春, 赵珊珊, 等. 2014. 环境因子对长白山区天然核桃楸林生长的影响. 中国农学通报, **30**(4): 34-41. [Zhang LP, Yang YC, Zhao SS, *et al*. 2014. The impact of environmental factors on the growth of *Juglans mandshurica* in natural forest of Changbai Mountains. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, **30**(4): 34-41.]

周秋静, 韩文斌, 赵常明, 等. 2019. 神农架天然针阔混交林的物种组成和群落结构. 生态学杂志, **38**(1): 17-24. [Zhou JQ, Han WB, Zhao CM, *et al*. 2019. Species composition and community structure of natural mixed needle- and broad-leaved forest in Shennongjia. *Chinese Journal of Ecology*, **38**(1): 17-24.]

周以良. 1997. 中国东北植被地理. 北京: 科学出版社. [Zhou YL. 1997. Vegetation Geography in Northeast China. Beijing: Science Press.]

Ares A, Neill AR, Puettmann KJ. 2010. Understory abundance, species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands. *Forest Ecology and Management*, **260**: 1104-1113.

Bo J, Jianhua W, Jin S, *et al*. 2016. Characters and species diversity of *Torreya fargesii* Franch. community in the Jinfo Mountains. *Journal of Landscape Research*, **8**: 71-74.

Ewa SK. 2018. Species diversity across the successional gradient of managed Scots pine stands in oligotrophic sites (SW Poland). *Journal of Forest Science*, **58**: 345-356.

Gamfeldt L, Tord S, Bagchi R, *et al*. 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*, **4**: 1340.

Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, **75**: 3-35.

Huang J, Ma K, Huang J. 2017. Species diversity distribution patterns of Chinese endemic seed plants based on geographical regions. *PLoS ONE*, **12**: e0170276.

Lomolino MV. 2001. Elevation gradients of species density: Historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, **10**: 3-13.

Rota E, Caruso T, Bargagli R. 2014. Community structure, diversity and spatial organization of enchytraeids in Mediterranean urban holm oak stands. *European Journal of Soil Biology*, **62**: 83-91.

Salahuddin, Boris R, Muhammad R, *et al*. 2018. Root order-based traits of Manchurian walnut & larch and their plasticity under interspecific competition. *Scientific Reports*, **8**: 9815.

Shankar U, Tripathi AK. 2017. Rainforests north of the Tropic of Cancer: Physiognomy, floristics and diversity in 'lowland rainforests' of Meghalaya, India. *Plant Diversity*, **39**: 20-36.

Shen ZH, Jin YX, Zhao ZE, *et al*. 2000. The structure and dynamics of the rare plant communities in subtropical mountain of China. *Acta Ecologica Sinica*, **20**: 800-807.

Song NQ, Zhang JT, Zhao FG. 2017. The PCA index for measuring functional diversity and its application to *Juglans mandshurica* communities in the Beijing mountains, China. *International Journal of Biomathematics*, **10**: 127-139.

Souza AF, Cortez LSR, Longhi SJ. 2012. Native forest management in subtropical South America: Long-term effects of logging and multiple-use on forest structure and diversity. *Biodiversity and Conservation*, **21**: 1953-1969.

Tilman D, Reich PB, Knops JMH. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, **441**: 629-632.

作者简介　罗　也,男,1991 年生,硕士,主要从事森林培育研究。E-mail: 1549348929@ qq.com

责任编辑　张　敏