

DOI: 10.5846/stxb201806061269

黄朗, 朱光玉, 康立, 胡松, 刘卓, 卢侃. 湖南栎类天然次生林幼树更新特征及影响因子. 生态学报, 2019, 39(13): - .

Huang L, Zhu G Y, Kan L, Hu S, Liu Z, Lu K. Regeneration characteristics and related factors affecting saplings in *Quercus* spp. natural secondary forests in Hunan Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): - .

湖南栎类天然次生林幼树更新特征及影响因子

黄 朗¹, 朱光玉^{1,3,*}, 康 立², 胡 松¹, 刘 卓¹, 卢 侃¹

1 中南林业科技大学 林学院, 长沙 410004

2 贵州省植物园, 贵阳 550004

3 南方森林资源经营与监测国家林业局重点实验室, 长沙 410004

摘要:以湖南典型栎类天然次生林为研究对象, 基于 51 块样地的调查数据, 采用 k-means 聚类分析划分林分类型, 研究湖南不同栎类天然次生林幼树更新特征, 分析了湖南不同栎类天然次生林幼树更新指标(幼树密度、幼树平均地径、平均高以及平均冠幅)与环境因子、林分因子的相关性, 旨在阐明环境因子、林分因子对幼树更新的影响, 以期为湖南不同栎类天然次生林的恢复与经营管理提供理论依据。结果表明: (1) 利用聚类分析可将研究区内栎类天然次生林划分为 5 个类型, 包括甜槠锥栗混交林(CC)、亮叶水青冈多脉青冈混交林(FC)、石栎樟树混交林(LC)、枹栎甜槠混交林(QC)、青冈栎混交林(CG)。(2) 不同类型栎类天然次生林更新幼树优势种分化明显, 物种丰富度差异显著($P < 0.05$)。5 种不同栎类次生林幼树密度均未超过 500 株/ hm^2 , 更新情况较差; 幼树数量差异显著($P < 0.05$), 为亮叶水青冈多脉青冈混交林 > 石栎樟树混交林 > 青冈栎混交林 > 枹栎甜槠混交林 > 甜槠锥栗混交林; 生长情况差异显著($P < 0.05$), 为青冈栎混交林 > 亮叶水青冈多脉青冈混交林 > 枹栎甜槠混交林 > 甜槠锥栗混交林 > 石栎樟树混交林。(3) 相关分析结果显示, 不同类型次生林幼树更新的主要影响因子存在差异。甜槠锥栗混交林中幼树密度与腐殖质厚度呈显著负相关($P < 0.05$); 幼树平均高与灌木盖度呈显著正相关($P < 0.05$); 幼树平均地径与草本盖度、灌木盖度呈显著正相关($P < 0.05$)。亮叶水青冈多脉青冈混交林中幼树密度与海拔、腐殖质厚度、枯落物厚度呈显著正相关($P < 0.05$), 与草本盖度呈极显著正相关($P < 0.01$); 幼树平均地径与郁闭度呈显著负相关($P < 0.05$); 幼树平均高、幼树平均冠幅与坡位呈显著正相关($P < 0.05$)。石栎樟树混交林中幼树密度与坡向、土壤厚度呈显著正相关($P < 0.05$), 其余因子对幼树生长无显著影响。枹栎甜槠混交林中幼树密度与郁闭度、乔木密度呈极显著正相关($P < 0.01$), 与坡位呈显著负相关($P < 0.05$); 幼树平均冠幅与坡度呈显著负相关($P < 0.05$)。青冈栎混交林中幼树平均地径与土壤厚度呈显著正相关($P < 0.05$), 与乔木密度呈极显著正相关($P < 0.01$); 幼树平均冠幅与灌木盖度呈显著正相关($P < 0.05$)。

关键词: 栎类天然次生林; 更新特征; 环境因子; 林分因子

Regeneration characteristics and related factors affecting saplings in *Quercus* spp. natural secondary forests in Hunan Province, China

HUANG Lang¹, ZHU Guangyu^{1,3,*}, KANG Li², HU Song¹, LIU Zhuo¹, LU Kan¹

1 Forestry College, Central South University of Forest & Technology, Changsha 410004, China

2 Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China

3 Key Laboratory of State Forestry Administration on Forest Resources Management and Monitoring in Southern Area, Changsha 410004, China

Abstract: *Quercus* forest is a typical forest type in Hunan Province, which plays an important role in water and soil conservation, and maintaining ecological stability. However, most of the natural regeneration of *Quercus* forest in Hunan is poor, because of limited research on *Quercus* regeneration mechanisms, and ineffective management. Based on field investigation data, we analyzed typical *Quercus* natural secondary forests in Hunan, and used K-means cluster analysis to

基金项目: 国家自然科学基金(31570631), 国家林业局项目(1692016-06)

收稿日期: 2018-06-06; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zgyl111999@163.com

classify forest types. In this research, we studied sapling regeneration characteristics of different *Quercus* natural secondary forests in Hunan and examined the correlation of the sapling regeneration index (density, average ground diameter, average height, and average crown width of saplings) with environmental and stand factors in different *Quercus* natural secondary forests in Hunan. This study aimed to provide a theoretical basis for the restoration and management of natural secondary forests of different *Quercus* species in Hunan Province. The results showed that the natural secondary forest of *Quercus* could be divided into five types by cluster analysis, including *Castanopsis eyrie*–*Castanea henryi* mixed forest (CC), *Fagus lucida*–*Cyclobalanopsis multinervis* mixed forest (FC), *Lithocarpus glaber*–*Cinnamomum bodinieri* mixed forest (LC), *Quercus serrata*–*Castanopsis eyrie* mixed forest (QC), and *Cyclobalanopsis glauca* mixed forest (CG). The dominant species and species richness of the regeneration forests of different types of *Quercus* secondary forests were significantly different ($P < 0.05$). The sapling density in five different secondary forests of *Quercus* was < 500 trees/hm², and sapling regeneration was poor. The number of saplings of different *Quercus* secondary forests was significantly different ($P < 0.05$), in the order of FC $>$ LC $>$ CG $>$ QC $>$ CC. The sapling growth status in different forests was significantly different ($P < 0.05$), and in the sequence of CG $>$ FC $>$ QC $>$ CC $>$ LC. The results of the correlation analysis showed that there were differences in the main factors affecting sapling regeneration in different types of secondary forests. In CC, there was a significant negative correlation between the sapling density and humus thickness ($P < 0.05$), a significant positive correlation between the average sapling height and shrub coverage ($P < 0.05$), and a significant positive correlation between the average sapling basal diameter and herbaceous and shrub coverage ($P < 0.05$). In FC, there was a significant positive correlation between sapling density and altitude, humus thickness, and litter thickness ($P < 0.05$), and a very significant positive correlation with herbaceous coverage ($P < 0.01$), a significant negative correlation between average ground diameter and canopy density ($P < 0.05$), and the average sapling height and crown width were significantly positively correlated with the slope position ($P < 0.05$). In LC, there was a significant positive correlation between sapling density and slope direction and soil thickness ($P < 0.05$), whereas the other factors had no significant effect on sapling growth. In QC, sapling density was extremely positively correlated with canopy and tree density ($P < 0.01$), and negatively correlated with slope position ($P < 0.05$), and the average sapling crown width was negatively correlated with slope ($P < 0.05$). In CG, the average sapling diameter was significantly positively correlated with soil thickness ($P < 0.05$), and had an extremely significant positive correlation with tree density ($P < 0.01$), and the average sapling crown width was positively correlated with shrub coverage ($P < 0.05$).

Key Words: *Quercus* natural secondary forest; regeneration characteristics; environmental factors; stand factors

森林天然更新是森林生态系统自我繁衍的恢复手段,对未来森林群落结构的变化、功能的实现及生物多样性的丰富具有重要影响^[1]。森林天然更新主要受到环境因子(地形因子^[2]、土壤因子^[3]、枯落物^[4]等)与林分因子(林分年龄^[1]、林分密度^[5]、林分郁闭度^[6]、灌草盖度^[7]等)等生境因子的影响。康冰等^[8]研究表明林分密度、海拔、坡度是影响秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新的主导因素。O'Brien^[9]等认为林下灌木盖度对幼龄植株的更新有阻碍作用,而林冠层盖度却对幼苗更新产生促进作用。李霄峰^[10]等研究发现林分枯落物厚度的增加降低了林下幼苗的存活率。可以看出,影响林分天然更新的因子众多,森林类型或更新树种不同,影响林分天然更新的关键因子也不同^[11-12],同时对于相同的林分其立地的差异也会导致其更新不一致^[13-14]。有研究发现植株幼龄阶段比成年个体更容易受生境因子影响,是决定天然更新成功与否的关键阶段^[15-16]。因此,了解林分幼龄植株的生长现状,研究各影响因子与林分幼龄植株更新之间的关系,探究影响幼龄植株更新的关键因子、其不同树种结构和复杂立地对天然次生林幼树更新的影响,具有重要的理论与实际意义。

栎类(*Quercus* spp.)面积占中国天然林总面积的14%,是我国天然林的主要组成部分,其在涵养水源、保持水土以及维持生态稳定等方面发挥了重要作用,具有很高的研究价值。栎类林是湖南的一种典型林分类型,以中幼龄林为主。近十几年来,由于对湖南栎类天然林的更新特征、更新机制缺乏研究,经营方式不合理或不经营,大部分湖南栎类天然林更新状况不佳,部分栎类次生林甚至有退化的趋势。湖南是亚热带栎类天然次生林的典型分布区,亚热带栎类天然次生林,树种组成结构与所处立地条件不尽相同,影响林分天然更新的关键因子也有差异。因此,本研究以湖南典型栎类天然次生林为研究对象,进行标准地调查,采用k-means聚类分析,依据各样地乔木优势树种的重要值以及各样地经纬度划分林分类型;分析不同类型栎类次生林树

种组成和更新特征;采用单因素方差分析,分析各林分类型幼树更新特征差异;采用 Pearson 相关分析,分别林分类型探讨各生境因子对幼树更新的影响,以期为湖南栎类天然次生林的恢复与生态经营管理提供理论依据。

1 研究区概况

湖南省(24°38′—30°08′N,108°47′—114°15′E)地处中国中南部,长江中游,东西宽 667 km,南北长 774 km;土地总面积约为 21.18 万 hm^2 ,其中林地面积 1300 万 hm^2 ,森林覆盖率 59.57%,活立木蓄积 5.05 亿 m^3 ;海拔 24—2099 m,大部分地区海拔高度在 100 m 至 800 m 之间。湖南属大陆性中亚热带季风湿润气候,全省年平均气温为 16—18℃ 之间,年日照时数为 1300—1800 h,无霜期长达 260—310 d;年平均降水量在 1200—1700 mm 之间,雨量充沛,水热充足。土壤主要以红壤和黄壤为主,其次为紫色土和冲积土^[17]。研究区内主要植被,乔木主要由甜槠(*Castanopsis eyrei*)、锥栗(*Castanea henryi*)、亮叶水青冈(*Fagus lucida*)、多脉青冈(*Cyclobalanopsis multinervis*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、枹栎(*Quercus serrata*)、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、樟树(*Cinnamomum bodinieri*)、厚皮香(*Ternstroemia gymnanthera*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)等物种组成;灌木主要由鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*)、山茶(*Camellia japonica*)、箬竹(*Indocalamus tessellatus*)、细枝柃(*Eurya loquaiana*)、尖连蕊茶(*Camellia cuspidata*)等物种组成;草本层主要由兰草(*Eupatorium fortunei* Turcz.)、麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)等构成。

2 研究方法

2.1 数据来源

2015 年 12 月—2016 年 8 月分别在湖南省平江县芦头林场、桑植县八大公山自然保护区、益阳市龙虎山林场、郴州市五盖山林场、宁乡市青羊湖林场五个地方进行外业调查,运用典型抽样技术在具有代表性的典型地段设立样地进行调查。设置了 20 m × 30 m 的以栎类为主要优势群落的固定样地 51 块,采用十分法计算各样地树种组成,其栎类树种组成系数的最小值为 5、最大值为 10、平均值为 6.5、标准差为 1.7,样地均为栎类次生林。对样地内胸径 5 cm 以上的乔木进行每木检尺,记录树种、树高、胸径、冠幅、郁闭度及坐标等;依据每木检尺结果,每个样地选取三株林分平均木,采用生长锥钻取其髓心,将三株林分平均木年龄的均值记作林分年龄;利用 GPS 测定样地的地理坐标和海拔,同时记录坡位、坡向、坡度、土壤厚度、枯落物厚度、腐殖质厚度、灌木覆盖度及草本覆盖度等基本情况。记录样地内所有幼树(阔叶树种:1 m ≤ H ≤ 3 m;针叶树种:0.3 m ≤ H ≤ 3 m)^[18]种名、地径、高、平均冠幅以及坐标。

2.2 数据处理

采用 Excel 2013 对实验数据进行处理,计算各样地乔木、幼树重要值以及反应幼树更新状况的 4 个指标:幼树密度、幼树平均地径、幼树平均高以及幼树平均冠幅^[16,19];根据 51 个样地各主要乔木树种重要值以及各样地经纬度,利用 R 语言对其进行 k-means 聚类分析,划分林分类型;采用 SPSS 23.0 软件对数据进行统计分析,采用单因素方差分析法(ANOVA)检验不同林分类型幼树更新指标的差异($\alpha = 0.05$);运用 Pearson 相关分析法对不同林分类型幼树更新指标与环境因子以及林分因子进行相关分析。

乔木物种重要值 = [相对高度(%) + 相对密度(%) + 相对显著度(%)] / 3^[20];

幼树物种重要值 = [相对频度(%) + 相对密度(%) + 相对盖度(%)] / 3^[8]重要值取值范围在 0—100%。

3 结果与分析

3.1 林分类型划分

本研究采用 k-means 聚类分析法,根据 51 块样地上的乔木优势树种的重要值以及各样地经纬度在 R 软件上对各样地林分进行类型划分。本文聚类分析的分类数标准为精度 ≥ 0.95,即合并后的因子水平信息要包

含合并前的因子水平信息的 95%, 合并后因子水平信息损失要 < 5%^[21-22]。聚类分析分类数对应的精度如表 1:

表 1 聚类分类数对应精度

Table 1 Clustering classification number corresponding precision

聚类数 Clustering number	精度/% Accuracy	聚类数 Clustering number	精度/% Accuracy
2	74.6	4	92.2
3	87.4	5	96.8

由聚类分析结果可知, 将 51 块样地的林分聚为 5 类时, 合并后的因子水平信息要包含合并前的因子水平信息的 96.8%, 满足研究的要求。故将 51 块样地的林分共划分为 5 个林分类型: 甜槠锥栗混交林(CC)、亮叶水青冈多脉青冈混交林(FC)、石栎樟树混交林(LC)、枹栎甜槠混交林(QC)、青冈栎混交林(CG)。5 个林分类型分布于湘西北(FC)、湘东北(CC)、湘中(LC、CG)以及湘南(QC)。5 种林分类型样地基本情况如表 2:

表 2 5 种林分类型样地基本情况

Table 2 Basic factors for sample plots of five forest types

林分类型 Forest type	CC	FC	LC	QC	CG
分布区域 Distribution area	芦头林场	八大公山自然保护区	龙虎山林场	五盖山林场	青阳湖林场
样地数 Plot number	13	9	6	10	13
海拔 Altitude/m	900—1040	1427—1638	80—98	1010—1330	80—240
均值 Mean/m	965	1499	92	1222	175
坡度 Slope/(°)	17—45	27—45	11—15	17—35	28—45
均值 Mean/(°)	29	36	12	27	36
土壤类型 Soil type	黄棕壤	黄棕壤	黄壤	黄棕壤	红壤
土壤厚度 Soil thickness/cm	52—95	45—92	53—61	43—80	75—93
均值 Mean/cm	77	74	58	60	81
腐殖质层厚度 Humus thickness/cm	8—25.5	7—20	4.0—5.5	5.0—13.0	10.0—20.0
均值 Mean/cm	14.1	12.1	5	7.9	14.2
枯落物厚度 Litter thickness/cm	1.9—4.5	3.0—6.0	1.0	2.0—5.0	2.0—4.0
均值 Mean/cm	3.0	4.0	1.0	3.5	2.6
郁闭度 Canopy density	0.69—0.90	0.75—0.88	0.86	0.73—0.86	0.63—0.86
均值 Mean	0.80	0.83	0.86	0.78	0.75
乔木密度 Tree density/(株/hm ²)	736—2388	961—1730	2367—4118	882—1914	722—1837
均值 Mean/(株/hm ²)	1475	1270	3439	1226	1113
草本盖度 Herbaceous coverage/%	0—50	2—15	2—16	3—36	2—38
均值 Mean/%	9	6	6	12	9
灌木盖度 Shrub coverage/%	1—55	0—58	12—35	3—43	2—20
均值 Mean/%	16	20	17	24	9
林分年龄(年) Stand age/year	24—75	36—72	22—25	30—75	21—46
均值(年) Mean/year	46	49	23	49	29

CC: 甜槠锥栗混交林 *Castanopsis eyrie*—*Castanea henryi* mixed forest; FC: 亮叶水青冈多脉青冈混交林 *Fagus lucida*—*Cyclobalanopsis multinervis* mixed forest; LC: 石栎樟树混交林 *Lithocarpus glaber*—*Cinnamomum bodinieri* mixed forest; QC: 枹栎甜槠混交林 *Quercus serrata*—*Castanopsis eyrie* mixed forest; CG: 青冈栎混交林 *Cyclobalanopsis glauca* mixed forest

3.2 不同林型乔木幼树更新特征

3.2.1 不同林型乔木幼树物种组成及特征值

根据 51 个样地内更新幼树调查数据,统计分析湖南 5 种不同林分类型栎类天然混交林更新幼树物种组成及物种特征值,见表 3。

表 3 不同栎类次生林乔木幼树种类组成、特征值

Table 3 Species composition, important values of arbor saplings in different *Quercus* secondary forests

林型 Forest type	树种 Tree species	相对频度/% Relative frequency	相对盖度/% Relative coverage	相对密度/% Relative density	重要值/% Important value
CC	黄樟 <i>Cinnamomum porrectum</i>	23.08	30.49	36.99	30.19
	长叶石砾 <i>Lithocarpus harlandii</i>	19.23	17.09	22.32	19.55
	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	15.38	19.09	14.36	16.28
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	9.62	0.88	9.33	6.61
	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	7.69	3.50	3.50	4.90
	青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	5.77	3.05	5.27	4.69
	香粉叶 <i>Lindaera pulcherrima</i>	1.92	11.10	0.63	4.55
	大叶青冈 <i>Cyclobalanopsis jenseniana</i>	5.77	2.73	2.85	3.78
	厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i>	1.92	3.32	0.78	2.01
	锥栗 <i>Castanea henryi</i>	1.92	2.16	1.10	1.73
	山矾 <i>Symplocos caudata</i>	1.92	1.94	0.67	1.51
	香叶树 <i>Lindera communis</i> Hemsl.	1.92	1.83	0.63	1.46
	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	1.92	1.66	0.78	1.45
	红豆杉 <i>Taxus chinensis</i>	1.92	1.16	0.78	1.29
	多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	13.33	34.17	34.75	27.42
	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	8.33	6.44	8.48	7.75
	齿缘吊钟花 <i>Enkianthus serrulatus</i>	8.33	8.74	6.08	7.72
	亮叶水青冈 <i>Fagus lucida</i>	6.67	6.86	2.99	5.51
	三桠乌药 <i>Lauraceae. obtusiloba</i> Bl.	6.67	4.24	3.03	4.64
	大叶山矾 <i>Symplocos grandis</i>	6.67	3.61	3.52	4.60
	绿叶甘櫨 <i>Lindera fruticosa</i>	3.33	4.65	5.22	4.40
	黄杉 <i>Pseudotsuga sinensis</i> Dode	5.00	0.81	7.30	4.37
	黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>	5.00	3.76	3.51	4.09
	长叶石砾 <i>Lithocarpus harlandii</i>	6.67	2.59	2.86	4.04
	吊钟花 <i>Fuchsia hybrida</i> Voss.	6.67	2.53	2.51	3.90
FC	四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i> var. <i>chinensis</i>	5.00	4.74	1.62	3.79
	山矾 <i>Symplocos caudata</i>	3.33	3.13	4.43	3.63
	华中八角 <i>Illicium fargesii</i>	1.67	4.56	4.12	3.45
	天目紫茎 <i>Stewartia gemmata</i>	1.67	3.57	0.51	1.92
	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	1.67	1.65	2.17	1.83
	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i> Miq.	1.67	1.40	2.35	1.81
	华西花楸 <i>Sorbus wilsoniana</i> Schneid.	1.67	1.45	1.81	1.64
	楝木 <i>Swida macrophylla</i> (Wall.)	1.67	0.70	1.14	1.17
	青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	1.67	0.19	0.57	0.81
	茶条果 <i>Symplocos ernestii</i>	1.67	0.08	0.57	0.77
	云南桤叶树 <i>Clethra delavayi</i> Franch.	1.67	0.12	0.45	0.75
	石砾 <i>Lithocarpus glaber</i> (Thunb.) Nakai	31.58	83.55	67.17	60.77
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	26.32	7.67	19.26	17.75
LC	樟树 <i>Cinnamomum bodinieri</i> Levl.	21.05	4.98	9.70	11.91
	大叶青冈 <i>Cyclobalanopsis jenseniana</i>	10.53	3.04	2.59	5.38

续表

林型	树种	相对频度/%	相对盖度/%	相对密度/%	重要值/%
Forest type	Tree species	Relative frequency	Relative coverage	Relative density	Important value
QC	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	5.26	0.49	0.65	2.13
	青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	5.26	0.26	0.65	2.06
	山矾 <i>Symplocos caudata</i>	8.16	23.28	14.47	15.31
	吊钟花 <i>Fuchsia hybrida</i> Voss.	6.12	16.60	14.32	12.35
	黄樟 <i>Cinnamomum porrectum</i>	12.24	10.78	11.38	11.47
	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	10.20	8.92	11.04	10.05
	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i> Miq.	10.20	6.25	7.68	8.04
	长叶石砾 <i>Lithocarpus harlandii</i>	6.12	8.47	7.49	7.36
	枹栎 <i>Quercus serrata</i> Thunb.	8.16	3.53	6.22	5.97
	槭树 <i>Acer</i>	6.12	2.22	3.20	3.85
	栲树 <i>Castanopsis fargesii</i>	2.04	3.47	3.87	3.13
	薄叶润楠 <i>Machilus leptophylla</i>	4.08	3.35	1.73	3.05
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	6.12	0.38	2.60	3.04
	黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>	2.04	3.53	3.09	2.89
	树参 <i>Dendropanax dentiger</i>	4.08	1.92	2.47	2.82
	青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	4.08	1.94	1.86	2.63
	金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	4.08	0.67	2.11	2.29
	亮叶水青冈 <i>Fagus lucida</i>	2.04	1.03	0.65	1.24
	桤木 <i>Alnus cremastogyne</i>	2.04	0.60	0.91	1.19
	樟树 <i>Cinnamomum bodinieri</i> Levl.	2.04	0.54	0.65	1.08
	青冈栎 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	54.17	90.94	90.48	78.53
	多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	12.50	3.73	3.76	6.67
CG	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	12.50	1.26	2.22	5.33
	南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	8.33	2.05	1.91	4.10
	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	8.33	1.43	1.05	3.61
	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	4.17	0.58	0.58	1.78

从表 3 可以看出,不同类型栎类次生林更新幼树优势种差异较大,物种丰富度差异显著。CC 林下更新幼树有 14 种,分属于 6 科 11 属。优势树种为黄樟(*Cinnamomum porrectum*),重要值大于 30%;其次为长叶石砾(*Lithocarpus harlandii*)与甜槠(*Castanopsis eyrei*),重要值均大于 15%。FC 林下更新幼树有 22 种,分属于 12 科 15 属。优势树种为多脉青冈(*Cyclobalanopsis multinervis*),重要值为 27.42%;其次为鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)、齿缘吊钟花(*Enkianthus serrulatus*)和亮叶水青冈(*Fagus lucida*),重要值均大于 5%。LC 林下更新幼树有 6 种,分属于 3 科 4 属。优势树种为石砾(*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nakai),在更新幼树中占明显优势,重要值为 60.77%;其次为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和樟树(*Cinnamomum bodinieri* Levl.),重要值均大于 10%。QC 林下更新幼树有 18 种,分属于 10 科,16 属。优势树种为山矾(*Symplocos caudata*)、吊钟花(*Fuchsia hybrida* Voss.)、黄樟和甜槠,重要值均大于 10%;其次为交让木(*Daphniphyllum macropodum* Miq.)、长叶石砾和枹栎(*Quercus serrata* Thunb.),重要值均大于 5%。CG 林下更新幼树有 6 种,分属于 5 科 5 属。优势树种为青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*),在更新幼树中占明显优势,重要值为 78.53%;其次为多脉青冈和杉木,重要值均大于 5%。5 种栎类次生林更新幼树的共有种为青冈栎,出现频率较高的树种有杉木、山矾、细叶青冈以及长叶石砾等。

3.2.2 不同林型乔木幼树数量特征和生长状况

本文采用 4 个更新指标分别反映各林分类型幼树数量特征(幼树密度)和生长情况(幼树平均地径、平均高以及平均冠幅)。由图 1 可以看出,5 种不同栎类次生林幼树密度均未超过 500 株/hm²,更新情况较差。5

种不同栎类次生林幼树密度大小顺序为:亮叶水青冈多脉青冈混交林>石栎樟树混交林>青冈栎混交林>枹栎甜槠混交林>甜槠锥栗混交林,差异显著。青冈栎混交林幼树平均地径、平均高最大,其平均冠幅仅次于亮叶水青冈多脉青冈混交林,表明该林型幼树生长情况较好,亮叶水青冈多脉青冈混交林次之,石栎混交林最差。

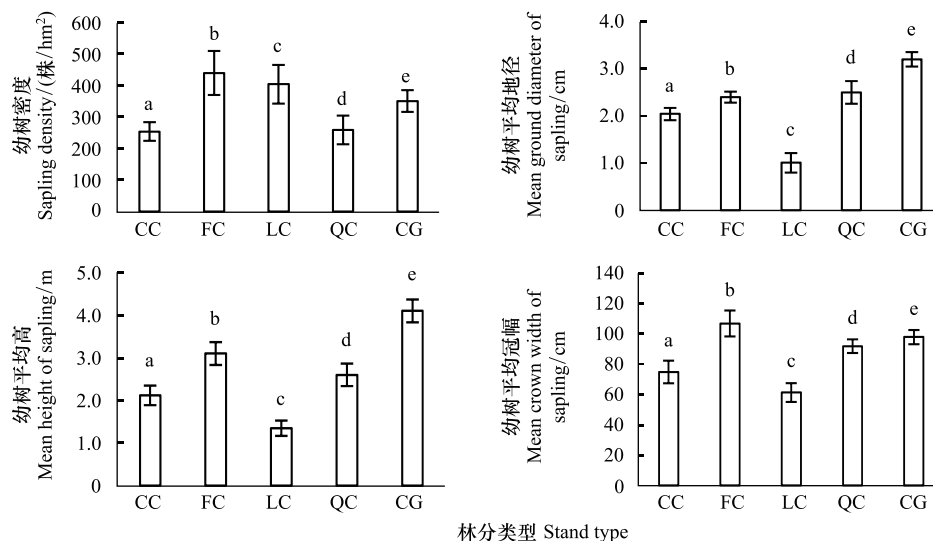


图1 不同栎类次生林幼树更新指标特征(均值±标准误)

Fig.1 Features of saplings regeneration index in different *Quercus* secondary forests (mean±SE)

柱状图顶部字母的不同表示不同林型间更新指标存在显著性差异($P < 0.05$)

3.3 不同栎类次生林幼树更新影响因子相关性分析

分别以不同类型栎类次生林的海拔(x_1)、坡度(x_2)、坡向(x_3)、坡位(x_4)、土壤厚度(x_5)、腐殖质厚度(x_6)、枯落物厚度(x_7)等环境因子和林分年龄(x_8)、郁闭度(x_9)、乔木密度(x_{10})、草本盖度(x_{11})、灌木盖度(x_{12})等林分因子为自变量,以幼树密度(y_1)、幼树平均高(y_2)、幼树平均地径(y_3)、幼树平均冠幅(y_4)为因变量进行相关性分析,所得结果如表4。

表4结果显示,5种林分类型中除了林分年龄与4个更新指标均无显著关联外,其余7个环境因子、4个林分因子与4个更新指标的部分指标有显著相关性,但各个林分类型间与4个更新指标显著相关的因子存在差异。CC中幼树密度与腐殖质厚度显著负相关,其余各环境因子对幼树生长影响不大;幼树平均高与灌木盖度呈显著正相关;幼树平均地径与草本盖度、灌木盖度呈显著正相关。FC中幼树密度与海拔、腐殖质厚度、枯落物厚度呈显著正相关,与草本盖度呈极显著正相关;坡位对幼树平均高、幼树平均冠幅产生显著正影响;幼树平均地径与郁闭度呈显著负相关。LC中幼树密度与坡向、土壤厚度呈显著正相关,其余因子对幼树生长无显著影响。QC中幼树冠幅、幼树密度分别与坡度、坡位呈显著负相关;幼树密度与郁闭度、乔木密度呈极显著正相关。CG中幼树平均地径与土壤厚度呈显著正相关,与乔木密度呈极显著正相关;幼树平均冠幅与灌木盖度呈显著正相关。

4 结论与讨论

4.1 林分类型划分

栎类林是湖南的一种典型森林类型,其在湖南的分布具有明显的地带性差异与地域性特点^[23]。为了揭示湖南不同地区、不同类型栎类次生林的天然更新规律,本研究采用k—means聚类分析,将51个样地栎类次生林划分为5个林分类型,分别为:甜槠锥栗混交林(CC)、亮叶水青冈多脉青冈混交林(FC)、石栎樟树混交林(LC)、枹栎甜槠混交林(QC)、青冈栎混交林(CG)。聚类精度达到96.8%,说明聚类分析划分的林分类型与野外调查所观察到的类型非常一致。

表 4 不同栎类次生林幼树更新指标与影响因子间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between sapling regeneration indexes of different <i>Quercus</i> secondary forests and influence factors													
林型 Forest type	更新指标 Regeneration indexes	环境因子 Environmental factor							林分因子 Stand factors				
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂
CC	y ₁	-0.34	0.19	-0.35	0.22	-0.44	-0.65 *	0.04	-0.16	-0.48	0.26	0.28	-0.22
	y ₂	0.26	-0.47	-0.07	-0.22	0.27	0.23	-0.35	-0.14	0.32	0.38	0.45	0.63 *
	y ₃	0.24	-0.09	-0.01	-0.13	0.33	0.09	-0.04	0.26	0.24	0.04	0.61 *	0.59 *
	y ₄	0.379	-0.31	0.08	-0.37	0.14	0.52	-0.00	0.04	0.10	0.14	0.18	0.44
FC	y ₁	0.76 *	0.19	-0.47	0.58	-0.56	0.78 *	0.70 *	0.28	-0.02	0.14	0.87 **	-0.38
	y ₂	0.29	0.19	-0.42	0.66 *	-0.16	0.52	0.02	-0.27	-0.58	0.08	0.07	0.26
	y ₃	0.25	0.18	-0.36	0.50	-0.20	0.29	-0.11	-0.04	-.67 *	-0.01	-0.05	0.28
	y ₄	0.30	-0.06	-0.55	0.81 **	-0.06	0.51	0.39	-0.09	-0.23	0.27	0.25	0.18
LC	y ₁	.a	.a	0.88 *	-0.34	0.88 *	.a	.a	0.06	.a	0.23	0.21	-0.56
	y ₂	.a	.a	-0.47	0.35	-0.47	.a	.a	0.34	.a	-0.34	-0.02	-0.24
	y ₃	.a	.a	-0.19	0.16	-0.19	.a	.a	0.23	.a	-0.56	-0.16	-0.51
	y ₄	.a	.a	0.03	0.34	0.03	.a	.a	-0.08	.a	-0.58	0.40	-0.46
QC	y ₁	-0.58	-0.09	0.27	-0.71 *	0.44	0.48	0.55	0.36	0.74 *	0.78 **	0.62	-0.60
	y ₂	-0.27	-0.00	-0.15	-0.47	0.57	0.17	0.50	0.62	0.09	0.05	0.16	-0.46
	y ₃	-0.20	-0.10	-0.14	-0.31	0.40	0.15	0.12	0.54	-0.04	-0.25	0.07	-0.24
	y ₄	0.60	-0.70 *	0.18	0.38	0.12	-0.25	-0.08	-0.28	-0.38	-0.38	-0.18	0.17
CG	y ₁	-0.05	-0.31	0.07	-0.33	-0.18	0.29	-0.17	-0.37	-0.21	-0.15	-0.37	-0.43
	y ₂	-0.02	0.48	-0.48	0.368	0.67 *	0.29	-0.24	-0.16	0.43	0.69 **	-0.11	0.08
	y ₃	0.10	0.44	-0.53	0.35	0.35	0.04	-0.30	-0.39	-0.08	0.46	-0.19	0.40
	y ₄	0.15	0.23	-0.12	0.10	0.29	-0.06	-0.20	-0.61	0.22	0.38	0.06	0.59 *

x₁:海拔 Altitude;x₂:坡度 Slope;x₃:坡向 Slope aspect;x₄:坡位 Slope position;x₅:土壤厚度 Soil thickness;x₆:腐殖质厚度 Humus thickness;x₇:枯落物厚度 Litter thickness;
x₈林分年龄 Stand age;x₉郁闭度 Canopy density;x₁₀乔木密度 Tree density;x₁₁草本盖度 Herbaceous coverage;x₁₂灌木盖度 Shrub coverage;y₁幼树密度 Sapling density;y₂
幼树平均高 Mean height of sapling;y₃幼树平均地径 Mean ground diameter of sapling;y₄幼树平均冠幅 Mean crown width of sapling ; * :P < 0.05(双尾); * * :P < 0.01
(双尾);a.:由于至少有一个变量为常量,因此无法进行计算

4.2 栎类次生林乔木幼树物种组成及特征值

有研究表明,气候条件是决定植物类型或生活型分布的主要因素^[24]。本研究显示,5种栎类次生林林下更新幼树物种丰富度与幼树物种组成差异较大。这与康冰^[25]的研究结果相似,主要是因为5种栎类次生林空间分布区域不同,各区域气候条件、立地因子存在差异,各林分主要建群种的种类、林分结构以及微环境不同,从而导致更新物种产生较大的分化。在石栎樟树混交林(LC)和青冈栎混交林(CG)中,更新幼树石栎、青冈栎占明显优势,重要值均占其所在林分类型的60%以上,且二者皆为乔木层优势树种,可能是由于,其乔木层物种组成相对简单,主要优势栎类树种占绝对优势,其余树种没有与优势种形成明显的竞争关系。其余3种栎类次生林,乔木层物种组成相对复杂,物种丰富度较大,更新幼树的优势种不明显。尤其是枹栎甜槠混交林(QC),更新幼树的优势树种有山矾、吊钟花、黄樟和甜槠,重要值均大于10%,形成了明显的竞争关系。

4.3 栎类次生林乔木幼树数量特征及生长状况

从乔木幼树数量特征与生长状况来看,5种不同栎类次生林幼树密度均未超过500株/hm²,更新情况较差;不同栎类次生林乔木幼树数量及生长情况差异显著。亮叶水青冈多脉青冈混交林(FC)更新幼树的株数密度最大,幼树平均地径、平均高以及平均冠幅长势较好,说明该林分类型处于较为健康的演替阶段。甜槠锥栗混交林(CC)和枹栎甜槠混交林(QC)处于演替后期,更新能力不足,导致两种栎类次生林的幼树更新密度较小。石栎樟树混交林(LC)与青冈栎混交林(CG)处于演替初期,幼树更新密度较大,但石栎樟树混交林(LC)幼树平均地径、平均高以及平均冠幅均明显小于其他栎类次生林,这主要是因为石栎樟树混交林(LC)的乔木株数密度过大,导致其林下更新幼树生长空间不足,难以存活。

4.4 不同栎类次生林幼树更新影响因子相关分析

幼树的生长发育受林分的光照、温度、水分和土壤条件等因子的影响,而环境因子(地形因子、土壤因子、枯落物)、林分因子(年龄结构、密度因子、灌木盖度)与这些生境因子密切相关,间接的影响更新幼树的生长^[26]。相关分析结果显示,栎类次生林幼树更新是各个影响因子相互作用的结果,不同类型次生林幼树更新的主要影响因子存在差异。

甜槠锥栗混交林(CC)中幼树密度与腐殖质厚度呈显著负相关,说明腐殖质对该林分类型的幼树生长有阻碍作用,这与董丽^[27]的研究结果一致。幼树平均高与灌木盖度呈显著正相关,幼树平均地径与草本盖度、灌木盖度呈显著正相关。这是由于灌木盖度与幼树密度呈微弱的负相关,随着灌木盖度的增大,幼树数量减少,更新幼树间对有限资源的竞争减弱,有利于幼树株高和地径的生长。

亮叶水青冈多脉青冈混交林(FC)中幼树密度与海拔、腐殖质厚度、枯落物厚度呈显著正相关,这是由于海拔高度的变化导致林分中光热条件也发生了变化,随着海拔高度的增加林分温度降低湿度加大,土壤微生物活动受阻,有机质分解较慢,导致腐殖质、枯落物厚度增加,更适合林分中幼树的生长,使其数量增加^[28]。坡位对幼树株高产生显著正影响,对幼树冠幅产生极显著正影响。坡位对于树木的生长的影响不是孤立的,常常和坡向、坡度等因子综合在一起起作用^[29],亮叶水青冈多脉青冈混交林所处的研究地点山坡坡度较大(平均坡度大于 36° ,表2),而山脊或靠近山脊的上坡相对而言比较平坦开阔,山脊的土壤较山坡土壤深厚肥沃,使得山脊的幼树比山坡的幼树生长的更好。幼树平均地径与郁闭度呈显著负相关,这是因为高郁闭度森林的林下光照不足和光质改变,不利于林下幼树的生长,JS Denslow^[30]、于飞^[31]等研究也证实了这一点。草本盖度与幼树密度呈极显著正相关,亮叶水青冈多脉青冈混交林的草本盖度在2%—15%之间(表2),说明在这个范围内,草本盖度的增加对幼树的生长起促进作用。

石栎樟树混交林(LC)中幼树密度与坡向、土壤厚度呈显著正相关外,其余各个影响因子对幼树更新未产生显著影响,说明坡向、土壤厚度是影响该林分类型幼树生长的主要因子,阳光越充足且土壤越深厚肥沃的环境下更适合林分中幼树的生长。

枹栎甜槠混交林(QC)中幼树密度、幼树冠幅分别与坡位、坡度呈显著负相关,说明林分中幼树适合生长在地势平坦土壤肥沃的下坡位。郁闭度与幼树密度呈显著正相关、乔木密度与幼树密度呈极显著正相关,在882—1914株/hm²范围内(表2),随着乔木密度的增加,林分郁闭度也随之增加,林分中幼树密度呈增加趋势。这主要是因为不同林分乔木密度、郁闭度所产生的森林群落内光热条件的异质性,直接影响到林下幼树的生长发育^[32]。

青冈栎混交林(CG)幼树平均地径与土壤厚度呈显著正相关,这是由于随着土壤厚度的增加,土壤中有机质含量越多,土壤越肥沃,更适合林下幼树的生长发育。乔木密度对幼树平均地径产生极显著正影响,幼树平均地径随乔木密度的增加而增长。由于乔木密度与幼树密度呈微弱的负相关,随着乔木密度的增加,幼树数量减少,更新幼树间对有限资源的竞争减弱,有利于更新幼树的生长^[33]。幼树平均冠幅与灌木盖度呈显著正相关,说明在一定范围内,灌木盖度对林下幼树的生长有促进作用。但幼树密度与灌木盖度呈微弱的负相关,这与甜槠锥栗混交林(CC)中研究结果一致,说明林下幼树与灌木之间存在着竞争,随着灌木盖度的增加,幼树生长空间减少,导致幼树数量减少。

参考文献(References):

- [1] 张树梓,李梅,张树彬,张志东,黄选瑞. 塞罕坝华北落叶松人工林天然更新影响因子. 生态学报, 2015, 35(16): 5403-5411.
- [2] 郭有燕,张文辉,周建云,何景峰,李彦华. 黄土高原丘陵区文冠果天然种群实生苗更新特征. 林业科学, 2015, 51(2): 11-17.
- [3] Tranquillini W. Physiological Ecology of the Alpine Timberline--Tree Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps. Berlin, Heidelberg: Springer, 1979: 334-334.
- [4] 王贺新,李根柱,于冬梅,陈英敏. 枯枝落叶层对森林天然更新的障碍. 生态学杂志, 2008, 27(1): 83-88.
- [5] Nilson K, Lundqvist L. Effect of stand structure and density on development of natural regeneration in two *Picea abies* Stands in Sweden.

- Scandinavian Journal of Forest Research, 2001, 16(3): 253-259.
- [6] 徐振邦, 代力民, 陈吉泉, 王战, 戴洪才, 李昕. 长白山红松阔叶混交林森林天然更新条件的研究. 生态学报, 2001, 21(9): 1413-1420.
- [7] Dobrovolný L. Potential of natural regeneration of *Quercus robur* L. in floodplain forests in the southern part of the Czech Republic. Journal of Forest Science, 2014, 60(12): 534-539.
- [8] 康冰, 王得祥, 李刚, 高妍夏, 张莹, 杜焰玲. 秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新特征. 生态学报, 2012, 32(9): 2738-2747.
- [9] O'Brien M J, O'Hara K L, Erbilgin N, Wood D L. Overstory and shrub effects on natural regeneration processes in native *Pinus radiata* stands. Forest Ecology and Management, 2007, 240(1/3): 178-185.
- [10] 李霄峰, 胥晓, 王碧霞, 黄允优, 王志峰, 李俊钰. 小五台山森林落叶层对天然青杨种群更新方式的影响. 植物生态学报, 2012, 36(2): 109-116.
- [11] 马姜明, 刘世荣, 史作民, 张远东, 缪宁. 川西亚高山暗针叶林恢复过程中岷江冷杉天然更新状况及其影响因子. 植物生态学报, 2009, 33(4): 646-657.
- [12] 肖之强, 石明, 代俊, 马晨晨, 成梅, 张月仙, 骆桃进, 杜凡. 滇中雕翎山半湿润常绿阔叶林木本植物幼苗更新特征. 西南林业大学学报, 2017, 37(3): 53-58.
- [13] 薛瑶芹, 张文辉, 马莉薇, 马闯, 周建云. 不同生境下栓皮栎伐桩萌苗的生长特征及在种群更新中的作用. 林业科学, 2012, 48(7): 23-29.
- [14] Iwański M, Rudawska M. Ectomycorrhizal colonization of naturally regenerating *Pinus sylvestris* L. seedlings growing in different micro-habitats in boreal forest. Mycorrhiza, 2007, 17(5): 461-467.
- [15] Du X J, Guo Q F, Gao X M, Ma K P. Seed rain, soil seed bank, seed loss and regeneration of *Castanopsis fargesii* (Fagaceae) in a subtropical evergreen broad-leaved forest. Forest Ecology and Management, 2007, 238(1/3): 212-219.
- [16] 韩广轩, 王光美, 毛培利, 张志东, 于君宝, 许景伟. 山东半岛北部黑松海防林幼龄植株更新动态及其影响因素. 林业科学, 2010, 46(12): 158-164.
- [17] 朱光玉, 徐奇刚, 吕勇. 湖南栎类天然次生林林分空间结构对灌木物种多样性的影响. 生态学报, 2018, 38(15): 5404-5412.
- [18] 亢新刚. 森林经理学(第四版). 北京: 中国林业出版社, 2011: 105-105.
- [19] 朱凯月, 王庆成, 吴文娟. 林隙大小对蒙古栎和水曲柳人工更新幼树生长和形态的影响. 林业科学, 2017, 53(4): 150-157.
- [20] 白晓航, 张金屯. 小五台山森林群落优势种的生态位分析. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3815-3826.
- [21] 康立. 含固定效应的多形立地指数模型构建与应用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
- [22] 臧润国, 井学辉, 丁易, 成克武, 白志强, 张新平, 郭仲军, 张炜银. 新疆阿尔泰山小东沟林区木本植物群落数量分类、排序及其环境解释. 林业科学, 2010, 46(2): 24-31.
- [23] 朱光玉, 罗小浪. 湖南栎类天然混交林优势木树高曲线哑变量模型研究. 林业资源管理, 2017, (4): 22-29.
- [24] 陈飞. 气候变化与云南松分布、结构和演变趋势的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [25] 康冰, 刘世荣, 王得祥, 张莹, 刘红茹, 杜焰玲. 秦岭山地典型次生林木本植物幼苗更新特征. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3123-3130.
- [26] 迪玮峙, 康冰, 高妍夏, 张莹, 杜艳玲. 秦岭山地巴山冷杉林的更新特征及影响因子. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(6): 71-78.
- [27] 董丽. 灵空山辽东栎-油松林建群种空间分布格局及其与环境的关系[D]. 太原: 山西大学, 2014.
- [28] 李俊清. 森林生态学. 北京: 高等教育出版社, 2006: 93-95.
- [29] 区余端, 苏志尧, 李镇魁, 林义辉. 地形因子对粤北山地森林不同生长型地表植物分布格局的影响. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1107-1113.
- [30] Denslow J S, Sandra G G. Variation in stand structure, light and seedling abundance across a tropical moist forest chronosequence, panama. Journal of Vegetation Science, 2000, 11(2): 201-212.
- [31] 于飞, 王得祥, 史晓晓, 魏丽婧, 黄雅昆, 张洪武. 不同生态条件下松栎混交林 3 种优势乔木种群的更新规律. 西北植物学报, 2013, 33(5): 1020-1026.
- [32] 康冰, 王得祥, 崔宏安, 迪玮峙, 杜焰玲. 秦岭山地油松群落更新特征及影响因子. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1659-1667.
- [33] 欧芷阳, 庞世龙, 谭长强, 郑威, 何琴飞, 申文辉. 林分结构对桂西南蚬木种群天然更新的影响. 应用生态学报, 2017, 28(10): 3181-3188.