

不同树龄香榧叶片与土壤碳氮磷生态化学计量特征

刘亚群¹, 胡德胜², 柏明娥¹

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 桐庐县林业技术推广中心, 浙江 桐庐 311500)

摘要:以浙江省诸暨市 20、100 和 500 a 树龄的香榧 *Torreya grandis* ‘Merrillii’ 为研究对象, 分析了香榧叶片和土壤全碳 (C)、全氮 (N)、全磷 (P) 的生态化学计量特征及其相关性。结果表明: 不同树龄香榧叶片 C、N、P 含量的平均值分别为 437.38、23.16 和 2.25 g·kg⁻¹, C : N、C : P、N : P 的平均值分别为 19.18、197.73、10.37, 叶片 C 含量和 C : N 随树龄的增加先上升后又有所下降, 叶片 N 含量和 N : P 随树龄的增加先下降后又有所上升, 叶片 P 含量和 C : P 基本保持稳定, 不同树龄香榧叶片 C、N、P 含量及化学计量比差异不显著 ($P>0.05$); 不同树龄香榧土壤 C、N、P 含量的平均值分别为 28.66、3.02 和 3.12 g·kg⁻¹, 土壤 C、N、P 含量随树龄的增加总体呈上升趋势; 土壤 C : N、C : P、N : P 平均值分别为 9.42、9.96、1.06, 不同树龄土壤 C : N 基本保持稳定, 而 C : P、N : P 均随树龄的增加而下降。相关性分析结果表明, 香榧叶片 N 含量与 C : N、叶片 P 含量与 C : P 呈极显著负相关 ($P<0.01$), 土壤 C 含量与土壤 N 含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 土壤 P 含量与土壤 N : P 呈显著负相关 ($P<0.05$); 叶片 C、N、P 含量与土壤 C、N、P 含量的相关性不显著, 土壤 C : N 与叶片 N 含量呈显著正相关, 与叶片 C : N 呈显著负相关。综合分析认为, 香榧叶片和土壤中的 N、P 含量均高于我国土壤 N、P 含量的平均水平, 相较 N、P 而言, 由于土壤中有机的矿化速率高, 不利于 C 的积累, 建议在对香榧的养分管理中应以增施有机碳肥为主, 尤其是新造香榧林。

关键词: 香榧; 树龄; 叶片; 土壤; 生态化学计量

中图分类号: S791.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2023) 03-0030-08

Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Content in Leaves and Soil of Different Aged *Torreya grandis* ‘Merrillii’

LIU Ya-qun¹, HU De-sheng², BAI Ming-e¹

(1. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 2. Tonglu Forestry Extension Center of Zhejiang, Tonglu 311500, China)

Abstract: In late August 2021, 20-, 100- and 500-year *Torreya grandis* ‘Merrillii’ (3 trees each) were selected in Zhuji, Zhejiang province to collect samples of branch, leaves and soil. Determinations were implemented on their carbon, nitrogen and phosphorus content. The results show that average contents of C, N and P in different aged *T. grandis* ‘Merrillii’ leaves were 437.38, 23.16 and 2.25 g/kg. The average values of C : N, C : P and N : P were 19.18, 197.73 and 10.37. Leaf C content and C:N increased first and then decreased with the increase of tree age, while leaf N content and N : P decreased first and then increased, leaf P content and C : P remained stable. The contents of C, N and P and stoichiometric ratio of different aged *T. grandis* ‘Merrillii’ leaves had no significant differences ($P>0.05$). The average soil C, N and P contents of different aged trees were 28.66, 3.02 and 3.12 g/kg. Soil C, N and P contents generally increased with the increase of tree age. The average values of soil C : N, C : P and N : P were

收稿日期: 2022-12-13; 修回日期: 2023-03-15

基金项目: 浙江省省院合作重点项目 (2018SY09)

作者简介: 刘亚群, 高级工程师, 从事林业土壤与植物研究; E-mail: liuyaquin2005@aliyun.com。通信作者: 柏明娥, 研究员, 从事森林资源培育技术研究; E-mail: baiminge66@163.com。

9.42, 9.96 and 1.06. Soil C : N remained stable of different aged trees, while soil C : P and N : P decreased with the increase of tree age. Correlation analysis showed that leaf N content had extremely significant negative relation with C : N, as well as leaf P content with C : P ($P < 0.01$), while soil C content had extremely significant positive relation with soil N ($P < 0.01$), and soil P content significant negative relation with soil N : P ($P < 0.05$). Leaf C, N, P contents were not significantly correlated with soil C, N, P ones. Soil C : N had evident positive relation with leaf N, and significant negative relation with leaf C : N. Comprehensive analysis showed that the content of N and P in *T. grandis* 'Merrillii' leaves and soil were higher than the average level in China. Soil C was not easy to accumulate due to the high rate of mineralization of organic matter. It is suggested that the nutrient management of *T. grandis* 'Merrillii' should mainly increase the application of organic carbon fertilizer, especially in the new forest.

Key words: *Torreya grandis* 'Merrillii'; tree-ages; leaves; soil; ecological stoichiometry

碳(C)、氮(N)、磷(P)是地球上所有生命化学组成的基础,是构成蛋白质、糖类和遗传物质等生物大分子的基本元素,它们的相互作用及与外界环境的关系共同决定着植物的营养水平和生长发育过程^[1]。生态化学计量学正是研究生态过程中多重化学元素平衡关系的一门新型学科^[2]。目前,国内外学者利用生态计量学方法在种群动态、森林演替、碳循环以及不同群落或树种及土壤C、N、P化学计量特征等方面开展了较多的研究^[3-6]。植物C、N、P化学计量特征与植物的生长速率、群落多样性、凋落物分解速率等具有重要关系^[7-9]。叶片作为蒸腾作用和光合反应的核心场所,它的化学计量特征可用于表征全株状况^[10],而土壤是植物生长和发育的基础,土壤C、N、P含量及其化学计量比是评价土壤质量的重要指标,土壤化学计量特征可以不同程度地影响植物叶片C、N、P含量及其化学计量比^[11-12]。因此,对以不同物种为优势种的特定生态系统的植物-土壤化学计量特征的研究,对于揭示植物-土壤物质循环过程中的养分迁移规律以及植物养分的限制状况和植物对环境的适应机制等方面都具有重要意义。

香榧 *Torreya grandis* 'Merrillii' 为我国特有的珍稀干果树种,至今已有 1 000 多年的栽培历史^[13],是浙江省近年来具有较高经济效益的珍稀干果树种和木本油料树种。为指导香榧的高产栽培管理,促进香榧产业的健康稳定发展,研究人员对香榧的良种选育、苗木繁殖、经营管理、病虫害防治等方面已进行了大量研究^[13-17]。原雅楠等^[18-20]就榧树 *T. grandis* 种内、林地土壤以及榧树针叶-土壤C、N、P生态化学计量特征等方面进行了研究,探讨了品种和土壤养分对榧树C、N、P生态化学计量特征的影响,为提高榧树林地养分利用率及经营管理提供了较好的研究基础。为更系统、更全面地了解香榧叶片和土壤C、N、P的生态化学计量特征及其变化规律,揭示香榧在不同生长阶段对养分的吸收和土壤养分的供应能力,本文以浙江省诸暨市 20、100 和 500 a 树龄的香榧为研究对象,分析了不同树龄香榧叶片和土壤C、N、P含量及化学计量特征,探讨香榧人工林生态系统中香榧叶片-土壤化学计量比之间的相互关系,为揭示香榧的养分利用效率及限制因子,提高土壤养分管理水平提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地位于浙江省诸暨市东北部赵家镇相泉村的香榧种植基地,地理位置为 120°30'30" E, 29°43'35" N, 属亚热带季风气候区,四季分明,雨水较多,光照充足,具有典型的丘陵山地气候特征,年平均气温为 16.3 °C,年平均降水量为 1 373.6 mm,相对湿度约为 82%,年平均日照时数约为 1 887.6 h。土壤类型为酸性红壤,质地为砂壤土。基地总面积约为 15 hm²,分布有 20~500 a 树龄不等的已结实香榧,其中 100 a 树龄以上的香榧为历史种植保留下来的古香榧树,20 a 树龄的为 21 世纪初种植的香榧树。

1.2 样品采集与处理

2021 年 8 月下旬,根据当地香榧资源调查资料和农户访问,分别选取树龄为 20、100 和 500 a 左右的香榧树各 3 株作为采样植株,用高枝剪采集树冠中部东、南、西、北 4 个方位当年生带叶枝条各 500 g,摘取枝条上的叶片混匀后作为该株的叶片样品。同时在每株采样植株树冠下方距离树干 1 m 左右取 3 个点采集 0~40 cm 土层土壤各 500 g,混匀后作为该样株的土壤样品。叶片样品带回实验室后,依次用自来水和去离子水清洗干净,

105 ℃杀青 30 min, 然而 65 ℃烘干至恒质量, 经粉碎机粉碎, 过 40 目筛后备用。土壤样品依次经风干、去杂、研磨, 过 20 目筛后备用。采样植株的基本信息和土壤基本理化性质见表 1、表 2。

表 1 采样植株基本信息
Tab. 1 Information of sampled *T. grandis* 'Merrillii' tree

树龄/a	海拔/m	坡度/(°)	坡向	平均树高/m	平均基径/cm	郁闭度	经营状况
20	290	15	东北	2.5	15.5	0.60	每年施肥 2 次, 春季施一次 N、P、K 三元复
100	311	20	东北	6.0	98.5	0.80	合肥(总养分≥45%), 每株 0.75~1.2 kg, 秋
500	340	20	东北	15.5	115.5	0.85	季采果后施一次畜禽有机肥, 每株 25~35 kg

表 2 采样地土壤基本理化性质
Tab. 2 Physical and chemical properties of sampled soil

树龄/a	水解性氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH
20	179.00±23.90	248.00±65.02	290.67±52.31	39.08±8.09	5.34±1.06
100	280.67±50.77	446.00±78.56	238.33±30.24	35.79±10.67	4.69±0.46
500	228.33±51.78	357.33±64.14	450.67±155.35	47.59±16.33	5.02±0.44

1.3 指标测定

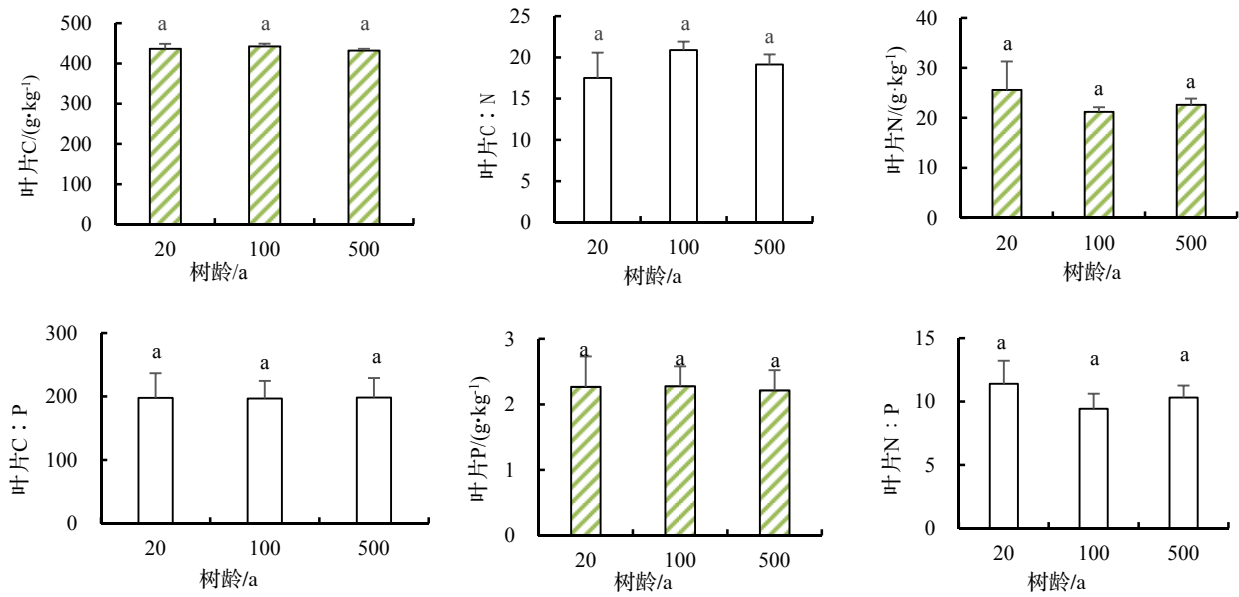
土壤有机碳和叶片全碳含量采用重铬酸钾外加热法测定(LY/T 1237—1999); 土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定(LY/T 1228—2015); 土壤全磷含量采用钼锑抗比色法测定(LY/T 1232—2015)。叶片样品使用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 采用全自动定氮仪测定全氮含量、钼锑抗比色法测定全磷含量(NY/T2017—2011)。每个样品重复测定 3 次, 取 3 次的平均值作为该样品的测定值。

1.4 数据处理

试验数据利用 Microsoft Excel 2003 进行统计和制图, 采用 SPSS 17.0 软件对不同树龄香榧叶片和土壤 C、N、P 含量及化学计量比进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和显著性检验(LSD 检验), 采用双变量相关分析(Bivariate)方法分析香榧叶片和土壤 C、N、P 含量及化学计量比之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 不同树龄香榧叶片 C、N、P 含量及化学计量特征



注: 图柱上不同小写字母表示不同树龄间的差异显著 ($P<0.05$); 下同。

图 1 不同树龄香榧叶片 C、N、P 含量及化学计量比

Fig. 1 Stoichiometric characteristics of C, N and P in leaves of different aged *T. grandis* 'Merrillii'

由图 1 可知, 不同树龄香榧叶片 C、N、P 含量分别介于 $432.63 \sim 436.70$ 、 $21.23 \sim 25.60$ 、 $2.21 \sim 2.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值分别为 437.38 、 23.16 、 $2.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。叶片 C 含量随香榧树龄的增加先升高后降低, 以 100 a 树龄香榧叶片 C 含量为最大, 500 a 树龄香榧叶片 C 含量为最小; 叶片 N 含量随树龄的增加先降低后又有所上升, 以 20 a 树龄香榧叶片 N 含量为最大, 100 a 树龄香榧叶片 N 含量为最小; 叶片 P 含量在不同树龄段几乎保持稳定。方差分析结果表明, 叶片 C、N、P 含量在不同树龄香榧间均无显著差异 ($P>0.05$)。

香榧叶片的 C:N、C:P、N:P 分别介于 $17.51 \sim 20.88$ 、 $196.95 \sim 198.33$ 、 $9.42 \sim 11.39$, 平均值分别为 19.18 、 197.73 、 10.37 , 叶片 C:N 随树龄的增加先升高后降低, 以 100 a 树龄香榧叶片 C:N 为最大, 叶片 C:P 在不同树龄段几乎保持稳定, N:P 随树龄的增加稍有下降。方差分析结果表明, 叶片 C:N、C:P、N:P 在不同树龄间的差异均不显著 ($P>0.05$)。

2.2 不同树龄香榧土壤 C、N、P 含量及化学计量特征

由图 2 可知, 不同树龄香榧土壤 C、N、P 含量分别介于 $22.67 \sim 35.79$ 、 $2.39 \sim 3.72$ 、 $1.81 \sim 4.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值分别为 28.66 、 3.02 、 $3.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤 C、N 含量均随香榧树龄的增加先升高后降低, 其中, 以 100 a 树龄香榧的土壤 C、N 含量为最大, 但 C 含量在三者间的差异不显著 ($P>0.05$), 100 a 树龄香榧的土壤 N 含量显著高于 20 a 树龄 ($P<0.05$), 而与 500 a 树龄香榧的土壤 N 含量差异不显著; 土壤 P 含量随树龄的增加而增加, 500 a 树龄香榧的土壤 P 含量显著高于 20 a 树龄香榧的土壤 P 含量 ($P<0.05$)。

土壤 C:N、C:P、N:P 分别介于 $9.30 \sim 9.49$ 、 $6.64 \sim 12.42$ 、 $0.72 \sim 1.32$, 平均值分别为 9.42 、 9.96 、 1.06 , 土壤 C:N 在不同树龄间几乎没有变化, 3 个树龄香榧的土壤 C:N 差异均不显著 ($P>0.05$), 土壤 C:P、N:P 均随树龄的增加而下降, 500 a 树龄香榧的土壤 C:P、N:P 均显著低于 20 和 100 a 树龄香榧的土壤 C:P、N:P ($P<0.05$)。

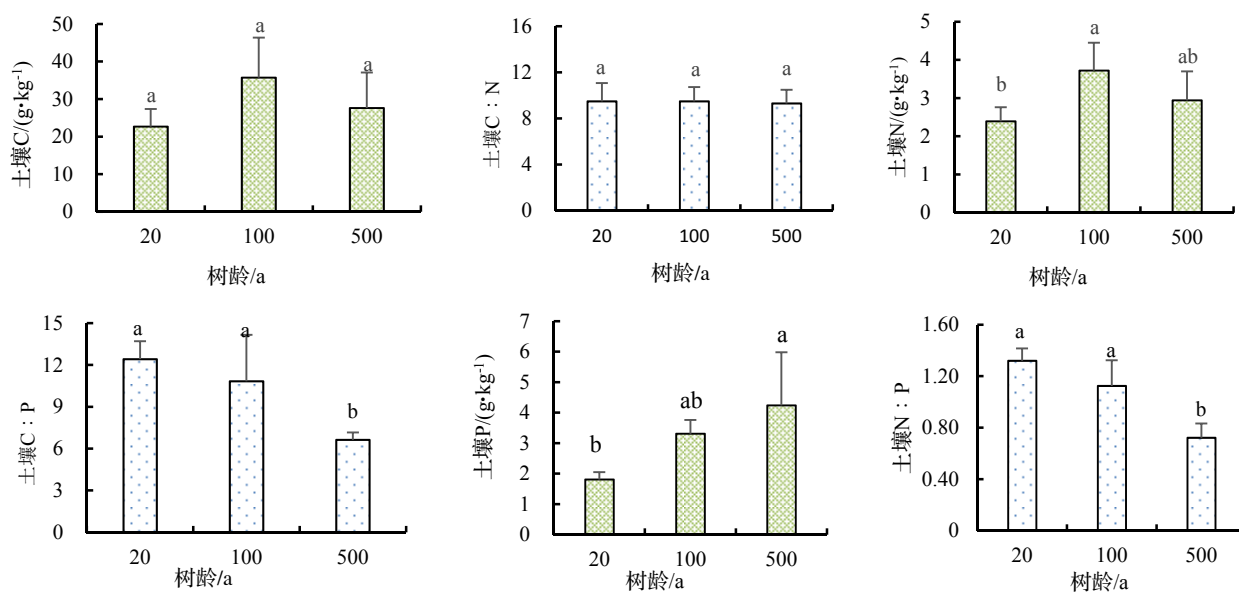


图 2 不同树龄香榧土壤 C、N、P 含量及化学计量比

Fig. 2 Stoichiometric characteristics of C, N and P in soil of different aged *T. grandis* 'Merrillii'

2.3 香榧叶片和土壤 C、N、P 含量及化学计量比的相关性

香榧叶片 C、N、P 含量及化学计量比的相关系数如表 3。由表 3 可知, 香榧叶片 C 含量与叶片 N、P 含量和叶片 N:P 呈正相关, 而与叶片 C:N、C:P 呈负相关, 但相关性均不显著 ($P>0.05$); 叶片 N 含量与叶片 P 含量和叶片 N:P 呈正相关, 而与叶片 C:N 和叶片 C:P 呈负相关, 且与叶片 C:N 的相关性达极显著水平 ($P<0.01$), 相关系数为 -0.965 ; 叶片 P 含量与叶片 C:N、C:P 和 N:P 均呈负相关, 且与叶片 C:P 的相关性达极显著水平 ($P<0.01$), 相关系数为 -0.989 ; 叶片 C:N 与叶片 C:P 呈正相关, 与叶片 N:P 呈负相关,

叶片 C : P 与叶片 N : P 呈正相关, 相关性未达显著水平 ($P>0.05$)。

表 3 香榧叶片 C、N、P 含量及化学计量比的相关系数
Tab. 3 Correlation coefficient of C, N, P content in leaves of *T. grandis* ‘Merrillii’ and their stoichiometric ratio

香榧叶片	C	N	P	C : N	C : P	N : P
C	1					
N	0.362	1				
P	0.236	0.531	1			
C : N	-0.115	-0.965**	-0.508	1		
C : P	-0.130	-0.448	-0.989**	0.450	1	
N : P	0.031	0.439	-0.520	-0.451	0.591	1

注: **表示极显著相关 ($P<0.01$), *表示显著相关 ($P<0.05$); 下同。

香榧土壤 C、N、P 含量及化学计量比的相关系数如表 4。由表 4 可知, 香榧土壤 C、N 含量除与土壤 N : P 呈负相关外, 与土壤 P 含量和土壤 C : N、C : P 均呈正相关, 且土壤 C 含量与 N 含量的相关性达极显著水平 ($P<0.01$), 相关系数为 0.942; 土壤 P 含量与土壤 C : N 呈正相关, 而与土壤 C : P 和 N : P 呈负相关 ($P<0.05$), 且与土壤 N : P 的相关性达显著水平 ($P<0.05$), 相关系数为 -0.764; 土壤 C : N 与 C : P、N : P 呈正相关, 但相关性不显著; 土壤 C : P 与 N : P 呈极显著正相关 ($P<0.01$), 相关系数为 0.907。

表 4 香榧土壤 C、N、P 含量及化学计量比的相关系数
Tab. 4 Correlation coefficient of C, N, P content in soil of *T. grandis* ‘Merrillii’ and their stoichiometric ratio

香榧土壤	C	N	P	C : N	C : P	N : P
C	1					
N	0.942**	1				
P	0.589	0.630	1			
C : N	0.580	0.281	0.176	1		
C : P	0.218	0.057	-0.619	0.461	1	
N : P	-0.030	-0.079	-0.764*	0.057	0.907**	1

香榧叶片与土壤 C、N、P 含量及化学计量比的相关系数如表 5。由表 5 可知, 香榧叶片 C 含量与土壤 C、N 含量和土壤 C : N、C : P、N : P 呈正相关, 相关系数为 0.04 ~ 0.413, 与土壤 P 含量呈负相关, 相关系数为 -0.272, 但相关性均未达显著水平 ($P>0.05$); 叶片 N 含量与土壤 C、N、P 含量均呈不显著负相关 ($P>0.05$), 相关系数为 -0.087 ~ -0.226, 而与土壤 C : N、C : P、N : P 呈正相关, 且与土壤 C : N 的相关性达显著水平 ($P<0.05$), 相关系数为 0.681; 叶片 P 含量与土壤 C、N、P 含量和土壤 C : N、C : P 呈正相关, 相关系数为 0.002 ~ 0.446, 而与土壤 N : P 呈负相关, 相关系数为 -0.174, 相关性均未达显著水平 ($P>0.05$); 叶片 C : N 与土壤 C、N、P 含量呈不显著正相关 ($P>0.05$), 相关系数为 0.094 ~ 0.358, 而与土壤 C : N、C : P、N : P 呈负相关, 且与土壤 C : N 的相关性达显著水平 ($P<0.05$), 相关系数 -0.667; 叶片 C : P 与土壤 C、P 含量和 C : N 呈负相关, 而与土壤 N 含量和土壤 C : P、N : P 呈正相关, 但相关性均不显著 ($P>0.05$); 叶片 N : P 与土壤 C、N、P 含量均呈负相关, 而与土壤 C : N、C : P、N : P 呈正相关, 但相关性均未达显著水平 ($P>0.05$)。

表 5 香榧叶片和土壤 C、N、P 含量及化学计量比的相关系数
Tab. 5 Correlation coefficient of C, N, P content in leaves and soil of *T. grandis* ‘Merrillii’ and their stoichiometric ratio

香榧土壤	香榧叶片					
	C	N	P	C : N	C : P	N : P
C	0.145	-0.087	0.150	0.094	-0.117	-0.216
N	0.040	-0.351	0.015	0.358	0.005	-0.330
P	-0.272	-0.226	0.177	0.151	-0.223	-0.399
C : N	0.347	0.681*	0.446	-0.667*	-0.385	0.213
C : P	0.413	0.389	0.002	-0.319	0.089	0.405
N : P	0.237	0.123	-0.174	-0.071	0.238	0.332

3 讨论

3.1 香榧叶片 C、N、P 含量及化学计量特征

叶片 C、N、P 化学计量特征与植物的生长、物种对外界环境的适应性及种群分布等都有很大关系^[21-22], 通常 C 在大多数植物中含量稳定^[23]。本研究中不同树龄香榧叶片 C 含量的平均值为 $437.38 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 稍低于全球陆生植被叶片的平均值 ($461.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[24], 与中国草地生态系统 213 个物种叶片的平均值 ($438 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 较接近^[25], 但与原雅楠等^[19]的研究结果 (香榧针叶碳含量平均为 $533 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 有一定差异。造成这种差异的原因是否与香榧品种、生长环境等不同有关尚需进一步分析论证^[26]。本研究中香榧叶片 C 含量随林龄的增加先增加后又有所降低, 以 100 a 树龄香榧叶片 C 含量为最高, 但总体保持稳定, 各树龄间的差异不显著, 这与其它植物的研究结果相一致^[27]。香榧叶片 N、P 含量的平均值分别为 23.16、2.25 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 均高于全球陆生植物叶片 N、P 含量的平均值 (20.1 和 1.8 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[28]和中国陆生植物叶片 N、P 含量的平均值 (20.2 和 1.46 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[29], 尤其是 P 元素, 较前两者分别高出 25.00% 和 54.11%, 说明香榧叶片的 N 和 P 含量较为丰富。本研究结果与原雅楠等^[18]对不同品种榧树各器官的氮含量和磷含量的研究结果较接近。

叶片的 C:N、C:P、N:P 表示植物吸收营养元素时所能同化 C 的能力和植物对 N、P 的利用效率^[2]。香榧叶片 C:N、C:P 的平均值分别为 19.18、197.73, 均低于全球的平均值 (22.5 和 232)^[30], 且相关性分析表明, 叶片 N、P 含量与 C:N、C:P 呈极显著负相关。香榧叶片 N:P 的平均值为 10.37, 小于 14, 据 Koerselman 等^[31]的研究发现植物叶片 $N:P < 14$ 表示生长受 N 限制, 叶片 $N:P > 16$ 表示受 P 限制, 而 N:P 在 14~16 之间时, 表示受二者的共同限制或均不限制, 但也有研究表明当植物叶片中的 $N > 20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $P > 1 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 不受 N、P 元素的限制^[32]。养分限制的生态化学计量学标准在不同的生态系统存在差异, 在不同物种上的表现也不一致, 我国植物叶片的 N:P 平均水平为 16.3, 普遍表现为 P 限制^[33]。由于本研究的取样具有一定的区域性, 香榧具体受哪种元素限制及限制的阈值等尚需结合施肥试验进行进一步的研究和论证。同时, 研究发现不同林龄香榧叶片的 C、N、P 含量及化学计量比虽有差异, 但差异均未达显著水平, 说明香榧叶片的 C、N、P 含量及化学计量比具有相对稳定的生态特征, 这也反映出香榧对外界环境长期的生态适应性。

3.2 香榧土壤 C、N、P 含量及化学计量特征

土壤中的 C、N、P 等营养元素主要来源于有机质与凋落物的分解、根系残体及其分泌物以及岩石和矿物质的风化等, 凋落物量、外界环境及人类经营活动等共同决定了土壤 C、N、P 的含量^[27], 树龄对土壤理化性质的影响显著^[34]。本研究中不同树龄香榧 0~40 cm 土层土壤 C、N、P 含量平均分别为 28.66、3.08、3.12 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 均高于我国 0~10 cm 土壤的 C、N、P 含量的平均值 (24.56、1.88、0.78 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[35], 说明研究区土壤中积累了较为丰富的 C、N、P 等营养元素, 特别是 P 元素含量明显偏高, 这可能与当地农户的施肥种类及施肥量有关, 且树龄 100 a 以上香榧古树的土壤 C、N、P 含量要高于低林龄段土壤相应含量, 这可能是由于随着林龄的增加, 林下调落物不断增加, 凋落物的分解和养分归还, 使得土壤中的养分不断积累。相关性分析结果也表明, 香榧土壤 C 含量与土壤 N 含量呈极显著正相关, 与土壤 P 含量呈正相关。

土壤化学计量比 C:N、C:P、N:P 是反映土壤有机质组成及土壤养分有效性的关键指标^[2]。本研究中不同树龄香榧土壤 C:N 的平均值为 9.42, 低于我国土壤 C:N 的平均值 11.9^[27], 说明香榧林地土壤有机质的矿化速率高, 相对地不利于土壤 C 的积累, 且不同树龄香榧土壤 C:N 相对稳定, 说明土壤中有机碳的利用效率并没有随香榧树龄的增加而改变。不同树龄香榧土壤 C:P、N:P 的平均值分别为 9.96 和 1.06, 远低于我国土壤的平均值 136 和 8.2^[27], 且土壤 C:P、N:P 均随树龄的增加而下降, 说明随着林龄的增加土壤可利用的 P 增加。相关性分析表明, 香榧土壤 C:P、N:P 与土壤 P 含量呈负相关或显著负相关, 土壤 P 在不同林龄间的变化是引起土壤 C:P、N:P 变化的主要原因。

3.3 香榧叶片-土壤 C、N、P 化学计量的相关性

已有大量研究表明, 多数植物叶片的 C、N、P 含量及计量比与土壤 C、N、P 含量及计量比的相关性不显

著,而认为植物叶片的 C、N、P 计量比是由物种自身的属性特征和物种的环境适应性所决定的,而不是由土壤养分限制引起的^[36]。本研究中香榧叶片的 C、N、P 含量与土壤 C、N、P 含量没有表现出明显的相关性,除叶片 N 含量与土壤 C:N 呈极显著正相关和叶片 C:N 与土壤 C:N 呈极显著负相关外,大多呈不显著正相关或负相关,表明香榧叶片养分含量及计量比具有内稳性。这与原雅楠等^[20]对榧树的研究发现针叶 C、N、P 含量及化学计量特征与土壤 C、N、P 含量及化学计量特征的相关性不显著相一致。

4 结论

香榧叶片的 C、N、P 含量及化学计量比在不同树龄间均无显著差异,具有相对稳定的生态特征,而香榧土壤 N、P 含量与 C:P、N:P 在不同树龄间有显著差异,土壤 P 在不同树龄间的变化是引起土壤 C:P、N:P 变化的主要原因。香榧叶片的 C、N、P 含量与土壤 C、N、P 含量的相关性均不显著,叶片 N 与土壤 C:N 和叶片 C:N 与土壤 C:N 具有显著相关性。综合分析认为本研究中香榧叶片和土壤中的 N、P 含量均高于我国平均水平,相较 N、P 而言,由于土壤中有机的矿化速率高,不利于 C 的积累,建议在对香榧的养分管理中应以增施有机碳肥为主,合理增施氮磷肥,尤其是新造香榧林。

参考文献:

- [1] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 2-6.
- [2] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [3] ANDERSON T, ELSER J J, HESSEN D O. Stoichiometry and population dynamics[J]. Ecol Lett, 2004, 7(9): 884-900.
- [4] URABE J, KYLE M, MAKINO W, et al. Reduced light increases herbivore production due to stoichiometric effects of light: nutrient balance[J]. Ecology, 2002, 83(3): 619-627.
- [5] 蒋龙, 徐振锋, 吴福忠, 等. 亚热带 3 种典型常绿森林土壤和植物叶片碳氮磷化学计量特征[J]. 应用与环境生物学报, 2019, 25(4): 759-767.
- [6] 杨慧敏, 王冬梅. 草-环境系统植物碳氮磷生态化学计量学及其对环境因子的响应研究进展[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 244-252.
- [7] 陈安娜, 王光军, 陈婵, 等. 亚热带不同林龄杉木林叶-根-土氮磷化学计量特征[J]. 生态学报, 2018, 38(11): 4031-4036.
- [8] 白雪娟, 曾全超, 安韶山, 等. 黄土高原不同人工林叶片-凋落叶-土壤生态化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3823-3830.
- [9] 姜沛沛, 曹扬, 陈云明. 陕西省森林群落乔灌木叶片和凋落物 C、N、P 生态化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(2): 365-372.
- [10] 王淳, 冀盼盼, 刘璇, 等. 华北落叶松不同器官碳氮磷化学计量特征[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(11): 176-181.
- [11] 邓成华, 吴龙龙, 张雨婷, 等. 不同林龄油茶人工林土壤-叶片碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9152-9161.
- [12] 李慧, 王百田, 刘海. 晋西黄土区不同森林树种及其林地土壤养分含量的变化[J]. 林业科学研究, 2016, 29(4): 587-595.
- [13] 黎章矩, 程晓建, 戴文圣, 等. 香榧品种起源考证[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(4): 443-448.
- [14] 胡文翠, 张迟, 厉锋, 等. 香榧良种‘朱岩榧’的选育[J]. 果树学报, 2021, 38(3): 455-458.
- [15] 严邦祥, 陈祖海, 陈慧玲, 等. 香榧大苗定砧嫁接技术试验[J]. 林业科技, 2021, 46(3): 4-6, 14.
- [16] 宋其岩, 毛传亮, 陈友吾, 等. 香榧主要病虫害发生情况调查[J]. 浙江林业科技, 2021, 41(2): 79-84.
- [17] 张雨洁, 王斌, 李正才, 等. 施肥措施对古香榧林地土壤活性有机碳和养分的影响[J]. 林业科学研究, 2019, 32(3): 87-93.
- [18] 原雅楠, 李正才, 王斌, 等. 榧树种内 C、N、P 生态化学计量特征研究[J]. 林业科学研究, 2019, 32(6): 73-79.
- [19] 原雅楠, 李正才, 王斌, 等. 不同品种榧树针叶-土壤 C、N、P 生态化学计量特征研究[J]. 林业科学研究, 2020, 33(6): 49-56.
- [20] 原雅楠, 李正才, 王斌, 等. 不同林龄榧树林地土壤碳氮磷化学计量特征[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38(5): 1050-1057.
- [21] SISTLA S A, SCHIMEL J P. Stoichiometric flexibility as a regulator of carbon and nutrient cycling in terrestrial ecosystems under change[J]. New Phytol, 2012, 196(1): 68-78.
- [22] NIKLAS K J, OWENS T, REICH P B, et al. Nitrogen/phosphorus leaf stoichiometry and the scaling of plant growth[J]. Ecol Lett, 2005, 8(6): 636-642.
- [23] 孙美美, 关晋宏, 岳军伟, 等. 黄土高原西部针叶林植物器官与土壤碳氮磷化学计量特征[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 202-208.
- [24] ELSER J J, FAGAN W F, DENNO R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs[J]. Nature, 2000, 408(6812): 578-580.

- [25] HE J S, FANG J, WANG Z, et al. Stoichiometry and largescale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China[J]. *Oecologia*, 2006, 149: 115–122.
- [26] 王振南, 杨惠敏. 植物碳氮磷生态化学计量对非生物因子的响应[J]. *草业科学*, 2013, 30 (6): 927–934.
- [27] 叶柳欣, 张勇, 蒋仲龙, 等. 不同林龄杨梅叶片与土壤的碳、氮、磷生态化学计量特征[J]. *安徽农业大学学报*, 2019, 46 (3): 454–459.
- [28] REICH P B, OLEKSYN J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude[J]. *Proc Nat Acad Sci US A*, 2004, 101: 11001–11006.
- [29] HAN W, FANG J, GUO D, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. *New Phytol*, 2005, 168: 377–385.
- [30] GUSEWELL S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance [J]. *New Phytol*, 2004, 2 (164): 243–266.
- [31] KOERSELMAN W, MEULEMAN A F M. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation[J]. *J App Ecol*, 1996, 33 (6): 1441–1450.
- [32] 宋思梦, 周扬, 张健. 不同立地类型杉木人工林叶片的碳氮磷生态化学计量特征[J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2021, 49 (6): 38–53.
- [33] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索[J]. *植物生态学报*, 2005, 29 (6): 1007–1019.
- [34] 雷丽群, 卢立华, 农友, 等. 不同林龄马尾松人工林土壤碳氮磷生态化学计量特征[J]. *林业科学研究*, 2017, 30 (6): 954–960.
- [35] TIAN H, CHEN G, ZHANG C, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data[J]. *Biogeochemistry*, 2010, 98 (1/3): 139–151.
- [36] 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等. 生态化学计量学特征及其应用研究进展[J]. *生态学报*, 2013, 33 (18): 5484–5492.

[illegible]

浙江东阳：赋能“林长+”激活新“森”态

浙江省东阳市高度重视林长制工作，迭代创新机制，赋能“林长+”，激活新“森”态，全面推进林长制。

一是落实“林长+林农创富”机制，助力乡村振兴。聚焦“一亩山万元钱”，把林长制与乡村振兴有机结合，助推林下经济、木本粮油、竹木制造、花卉苗木、森林康养五大产业。二是创新“林长+碳汇”机制，助力生态保护。为进一步推动东阳林业发展新格局，先行先试，出台了全国首个县级林业碳中和建设规划，创建了东阳市主要树种组碳计算方法和模型，建立起高粒度的四级林业碳汇本底账户，有序推进林业碳汇数字化管理和森林增汇示范工程，争创林业增汇试点县。三是设立“林长+技术专员+林管员”机制，助力基层服务。东阳市因地制宜，实行三级技术林长制模式，向各乡镇（街道）派驻林业专家，“传、帮、带”乡镇一级林业工作者，推进基层林业工作队伍业务能力提升，提高林业技术队伍服务基层、服务林农的能力。四是健全“林长+智治”机制，助力智能管理。以林长制为总牵引，健全林业数据库，完善林业“一张图”，加快各类数据落地上图，实现“应落尽落”。推广使用“林业智治”“防火码”“数字森防平台”等应用，使用覆盖率达100%。五是探索“林长+警长+检察官”机制，助力高效执法。创新“林长+警长+检察官”机制，积极探索形成部门联动、有效追责、层层监管的涉林执法链条，不断健全全市林业行政执法网格化管理，以“林长制”促“林长治”。

<http://www.forestry.gov.cn>