

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.06.006

不同品种榿树针叶-土壤 C、N、P 生态化学计量特征研究

原雅楠, 李正才*, 王 斌, 张雨洁, 黄盛怡

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400)

摘要: [目的] 探讨品种对榿树针叶-土壤化学计量的影响, 为榿树的合理经营管理提供科学依据。[方法] 以浙江诸暨树龄 300 a 左右的不同品种雌榿树(实生雌榿树圆榿、嫁接良种香榿)和实生雄榿树为研究对象, 通过野外采集不同品种榿树针叶样品及 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤样品, 分析不同品种榿树针叶-土壤 C、N、P 含量及化学计量特征变化。[结果] (1) 圆榿和雄榿树叶片-土壤 C、N、P 化学计量特征均无显著差异, 雌雄异株对榿树化学计量特征无显著影响; (2) 香榿、圆榿和雄榿树土壤有机碳(SOC)、土壤全氮(STN)含量差异不显著, 0~20 cm 土层香榿 SOC、STN 含量最高, 20~40、40~60 cm 土层圆榿 SOC、STN 含量最高; 香榿 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤全磷(STP)含量(2.9、1.5、0.9 g·kg⁻¹)均显著高于圆榿和雄榿树; (3) 香榿、圆榿和雄榿树土壤 C:N 较 C:P、N:P 稳定, 香榿 C:P、N:P 显著低于圆榿和雄榿树; (4) 香榿针叶全碳(LTC)含量(533.0 g·kg⁻¹)显著高于圆榿(502.8 g·kg⁻¹)和雄榿树(502.7 g·kg⁻¹), C:N 与 LTC 含量变化趋势一致; 香榿针叶全氮(LTN)含量(18.5 g·kg⁻¹)显著低于圆榿(23.2 g·kg⁻¹)和雄榿树(23.2 g·kg⁻¹), N:P 与 LTN 含量变化趋势一致; (5) 整体上榿树针叶和土壤 C、N、P 含量及化学计量相关性不显著。[结论] 本研究中, 雌雄异株对榿树化学计量特征无显著影响, 施肥等人为经营活动对榿树林地土壤 P 含量影响显著。

关键词: 榿树; 生态化学计量; 品种; 土壤; 针叶

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)06-0049-08

生态化学计量学综合生物学、化学和物理学的基本原理, 利用生态过程中多重化学元素的平衡关系, 为研究 C、N、P 等营养元素在生态系统过程中的耦合关系提供了一种综合方法, 能更好地解释生态系统各组分(植物、土壤等)养分比例的调控机制^[1-2]。土壤作为植物立地和生长的基础, 为植物生长发育提供所需的养分, 其 C、N、P 含量调控着植物的生长, 并影响植物群落的组成、结构和功能^[3-4]。作为植物光合作用的主要器官, 叶片与土壤元素之间作用密切, 叶片的养分含量状况较好地反映了土壤养分的供给能力^[5]。研究植物叶片与

其生境土壤营养元素的生态化学计量特征, 对于揭示植物对营养元素的需求和土壤的养分供给能力以及植物对环境的适应性都具有重要的意义^[6]。

目前, 一些学者对较大尺度下不同群落或树种的植物-土壤的化学计量特征进行了研究, 表明不同森林类型或树种的植物-土壤 C、N、P 化学计量相关性存在差异^[7]; 一些学者对不同林龄、立地条件植物-土壤化学计量的变化特征进行研究, 探讨了植物在不同发育阶段或不同环境下的养分限制因素和养分利用的策略^[8-9]; 但鲜有研究关注同一植物不同品种叶片-土壤化学计量的变化特征。榿树

收稿日期: 2020-02-20 修回日期: 2020-06-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2017YFC0505403)

* 通讯作者: 李正才. E-mail: lizccaf@126.com

(*Torreya grandis* Fort. et Lindl.) 为常绿乔木, 雌雄异株, 是我国榿属 (*Torreya* Arn.) 植物中重要的一种。目前, 对榿树资源的分布^[10]、种群结构与动态^[11]等研究较深入, 更多研究集中于香榿 (*T. grandis* cv. 'Merrilli') 的栽培技术管理^[12]、林地养分^[13]等。大多数榿树处于野生状态, 其种内性状变异复杂, 有很多自然变异类型 (如圆榿 (*T. grandis* cv. 'Dielsii')、芝麻榿、米榿等); 但目前对榿树品种的研究较少, 对不同品种榿树生态化学计量特征的研究更欠缺。本文以浙江诸暨香榿国家森林公园百年以上不同品种雌榿树 (实生雌榿树 (圆榿)、嫁接的雌榿树香榿) 以及实生雄榿树为研究对象, 探讨品种差异对榿树 C、N、P 生态化学计量特征的影响, 以期为提高榿树林地养分利用率以及经营管理提供科学依据。

1 研究地概况

研究地位于浙江省诸暨市赵家镇宣家村的香榿国家森林公园 (29°21'~29°59' N, 119°53'~120°32' E), 该地区属于亚热带季风气候, 四季分明, 雨水丰沛, 日照充足, 年平均气温 16.3℃, 年平均降水量约 1 373.6 mm, 年平均日照时数约 1 887.6 h。研究区属于低山丘陵地貌, 土壤类型为

微酸性红壤。诸暨香榿国家森林公园为国内规模最大的香榿古树聚集地, 树龄 100 a 以上的榿树达 4 200 多株, 500 a 以上的古树 1 600 余株, 1 000 a 以上的古树 200 余株, 以雌株为主。

2 材料与方法

2.1 样株选择和样品采集

2018年9月中旬, 通过查阅资料、农户访问和实地调查, 分别选取环境因子基本一致、树龄 300 a 左右的实生雌榿树 (实生结果圆榿)、雄榿树 (实生不结果) 和香榿 (嫁接的榿树) 各 6 株, 共 18 棵样株为研究对象, 对样株胸径、树高等基本特征进行测定, 同时在树冠东、南、西、北 4 个方位和上、中、下 3 个部位采集适量针叶, 每个样株采集的针叶均匀混合后装入袋中, 带回实验室。同时在离开树体 50~100 cm 的树冠下 (东、南、西、北 4 个方位), 随机挖取 4 个土壤剖面 (避开粗根系), 分别采集 0~20、20~40、40~60 cm 土层土样, 去掉可见植物根系、残体和碎石, 分别标号后带回实验室, 自然风干备用。所有调查样株分布在半径为 500 m 的范围内, 以保证环境因子基本一致, 试验具有可比性^[14]。样地基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

Table 1 General information of sample plots

品种 Varieties	平均胸径 Mean DBH/cm	平均树高 Height/m	平均坡度 Slop(°)	平均海拔 Altitude/m	经营状况 Management situation	分布 Distribution
香榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Merrilli'	98.2	11	18	543	3月地表撒施化肥(N:P ₂ O ₅ :K ₂ O比例15%:15%:15%), 9月地表撒施化肥和有机肥, 每年化肥总施用量为0.7 kg·m ⁻² , 有机肥总施用量为7.5 kg·m ⁻² , 垦覆深度30 cm	单株分布
圆榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Dielsii'	70.1	19	30	496	除采果用于育苗外, 无人经营	单株分布
雄榿树 Male <i>T. grandis</i>	74.3	16	25	477	无人经营	单株分布

2.2 样品处理及测定

将采集的榿树针叶 105℃ 杀青, 60℃ 烘干后磨碎, 备用; 自然风干后的土样分别过 2.00、0.25、0.15 mm 筛, 备用。土壤有机碳 (SOC) 和针叶全碳 (LTC) 含量采用重铬酸钾外加热法测定; 土壤全氮 (STN) 用浓硫酸消煮, 采用凯氏定氮法测定; 土壤全磷 (STP) 用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮, 钼锑抗比色法测定。植物样品首先用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 之后针叶全氮 (LTN) 用凯氏定氮法测定, 针叶全磷 (LTP) 用钼锑抗比色法测定^[15]。

2.3 数据处理

试验数据用 Microsoft Office Excel 2010 进行初步整理, 采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA)、双因素方差分析 (Two-way ANOVAs) 和多重比较 (LSD), 显著性水平设为 0.05。

3 结果与分析

3.1 榿树土壤 C、N、P 含量及 C:N:P 生态化学计量特征

由双因素方差分析 (表 2) 可知: 品种对 STP 含量影响极显著, 品种和土层间的交互作用极显著

影响 STP。从表 3 可见: 0~20 cm 土层香榿 SOC、STN 含量最高, 20~40 cm 和 40~60 cm 土层圆榿 SOC、STN 含量最高。香榿不同土层 STP (2.9、1.5、0.9 g·kg⁻¹) 含量均显著高于圆榿和雄榿树。整体上, 圆榿和雄榿树 SOC、STN 和 STP 含量均无显著差异。

由表 2 可见, 土壤深度极显著影响 SOC、

STN、STP。从不同土层 (表 3) 可知: 各土层 SOC 含量为 11.2~26.4 g·kg⁻¹, STN 含量为 1.0~2.4 g·kg⁻¹, STP 含量为 0.3~2.9 g·kg⁻¹, SOC、STN 和 STP 含量均表现为 0~20 cm 土层 > 20~40 cm 土层 > 40~60 cm 土层, 随着土层的加深含量逐渐减小。

表 2 品种和土层对榿树土壤和针叶 C、N、P 含量及化学计量的方差分析

Table 2 The correlation between each element in leaves, breaches, and roots of *T. grandis*

项目 Item	因素 Factors	F(P)					
		C	N	P	C:N	C:P	N:P
土壤 Soil	品种 Varieties	2.312 (0.111)	2.529 (0.091)	75.492 (< 0.001)	4.430 (0.018)	44.488 (< 0.001)	54.018 (< 0.001)
	土层 Layers	28.135 (< 0.001)	29.258 (< 0.001)	22.301 (< 0.001)	2.001 (0.147)	0.001 (0.999)	0.669 (0.517)
	品种+土层 Varieties+Layers	0.867 (0.491)	1.118 (0.360)	10.871 (< 0.001)	1.430 (0.240)	0.047 (0.996)	0.242 (0.913)
针叶 Leave	品种 Varieties	7.415 (0.006)	7.596 (0.005)	0.568 (0.578)	12.704 (< 0.001)	0.872 (0.438)	3.753 (0.048)

表 3 榿树不同土层的 C、N、P 含量

Table 3 Content of C, N and P of the various soil layers of *T. grandis*

项目 Item	土层 Layers/cm	香榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Merrilli'	圆榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Dielsii'	雄榿树 Male <i>T. grandis</i>
SOC/(g·kg ⁻¹)	0~20	26.4 ± 3.5 Aa	24.9 ± 3.4 Aa	24.9 ± 7.4 Aa
	20~40	16.2 ± 5.2 Ab	19.2 ± 4.8 Ab	14.0 ± 5.8 Ab
	40~60	11.6 ± 4.2 Bb	16.8 ± 2.5 Ab	11.2 ± 6.6 Bb
STN/(g·kg ⁻¹)	0~20	2.4 ± 0.3 Aa	2.3 ± 0.4 Aa	2.2 ± 0.6 Aa
	20~40	1.4 ± 0.6 Ab	1.7 ± 0.3 Ab	1.4 ± 0.5 Ab
	40~60	1.0 ± 0.4 Bb	1.6 ± 0.2 Ab	1.2 ± 0.5 ABb
STP/(g·kg ⁻¹)	0~20	2.9 ± 0.8 Aa	0.6 ± 0.3 Ba	0.6 ± 0.1 Ba
	20~40	1.5 ± 0.6 Ab	0.5 ± 0.3 Ba	0.3 ± 0.1 Bb
	40~60	0.9 ± 0.3 Ab	0.4 ± 0.2 Ba	0.3 ± 0.1 Bb

注: 同行不同大写字母代表不同品种榿树间差异显著 ($p < 0.05$), 同列不同小写字母代表同一品种不同土层间差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

Notes: Different capital letters in the same line indicate significant difference among different varieties at 0.05 level, and different lowercase letters in the same row indicate significant difference among different layers at 0.05 level. The same as below.

从表 4 可见: 香榿、圆榿和雄榿树三者 C:P 整体表现为圆榿 > 雄榿树 > 香榿, 香榿 C:P (9.6、11.3、12.3) 和 N:P (0.9、0.9、1.1) 显著低于圆榿和雄榿树。由双因素方差分析 (表 2) 可知: 品种对 C:N 影响显著, 极显著影响 C:P、N:P, 而品种和土层交互作用下化学计量比保持稳定。

从不同土层 (表 4) 可知: 各土层 C:P 为 9.6~50.8, C:N 为 8.7~12.6, N:P 为 0.9~5.0。C:N、C:P 和 N:P 比在不同土层的空间变异性小。土层深度对化学计量比均无显著影响, 土层深度和品种交互作用对土壤化学计量特征也无显著影响 (表 2)。

3.2 不同品种榿树针叶 C、N、P 含量及化学计量特征

从图 1 可知: 香榿针叶 LTC、LTN 含量分别为 533.0、18.5 g·kg⁻¹, 圆榿针叶 LTC、LTN 含量分别为 502.8、23.2 g·kg⁻¹, 雄榿树针叶 LTC、LTN 含量分别为 502.7、23.2 g·kg⁻¹。香榿 LTC 含量显著高于圆榿和雄榿树, LTN 含量显著低于雄榿树圆榿和雄榿树, 而圆榿和雄榿树 LTC、LTN 含量差异均不显著。3 种榿树 LTP 含量分别为 2.0、1.9、2.1 g·kg⁻¹, 差异不显著。由方差分析 (表 2) 可知: 品种对榿树 LTC 和 LTN 含量影响显著, 对 C:N 影响极显著。

香榿针叶 C:N、N:P 分别为 29.2、9.1, 圆榿

表4 不同品种榿树不同土层的C、N、P化学计量变化
Table 4 Content of C, N and P of the various soil layers of *T. grandis*

项目 Item	土层 Layers/cm	香榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Merrilli'	圆榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Dielsii'	雄榿树 Male <i>T. grandis</i>
C:N	0~20	10.8 ± 0.6 Aa	10.8 ± 0.8 Aa	11.0 ± 1.0 Aa
	20~40	12.6 ± 3.6 Aa	11.0 ± 1.5 Aa	9.9 ± 1.4 Aa
	40~60	11.3 ± 0.4 Aa	10.3 ± 0.9 Aa	8.7 ± 2.3 Ba
C:P	0~20	9.6 ± 2.6 Ba	50.8 ± 21.9 Aa	44.2 ± 9.0 Aa
	20~40	11.3 ± 2.7 Ba	49.3 ± 20.6 Aa	43.9 ± 12.1 Aa
	40~60	12.3 ± 1.4 Ba	49.3 ± 15.8 Aa	43.4 ± 13.6 Aa
N:P	0~20	0.9 ± 0.2 Ba	4.7 ± 2.0 Aa	4.0 ± 0.5 Aa
	20~40	0.9 ± 0.1 Ba	4.6 ± 2.1 Aa	4.4 ± 0.9 Aa
	40~60	1.1 ± 0.1 Ba	4.8 ± 1.5 Aa	5.0 ± 1.2 Aa

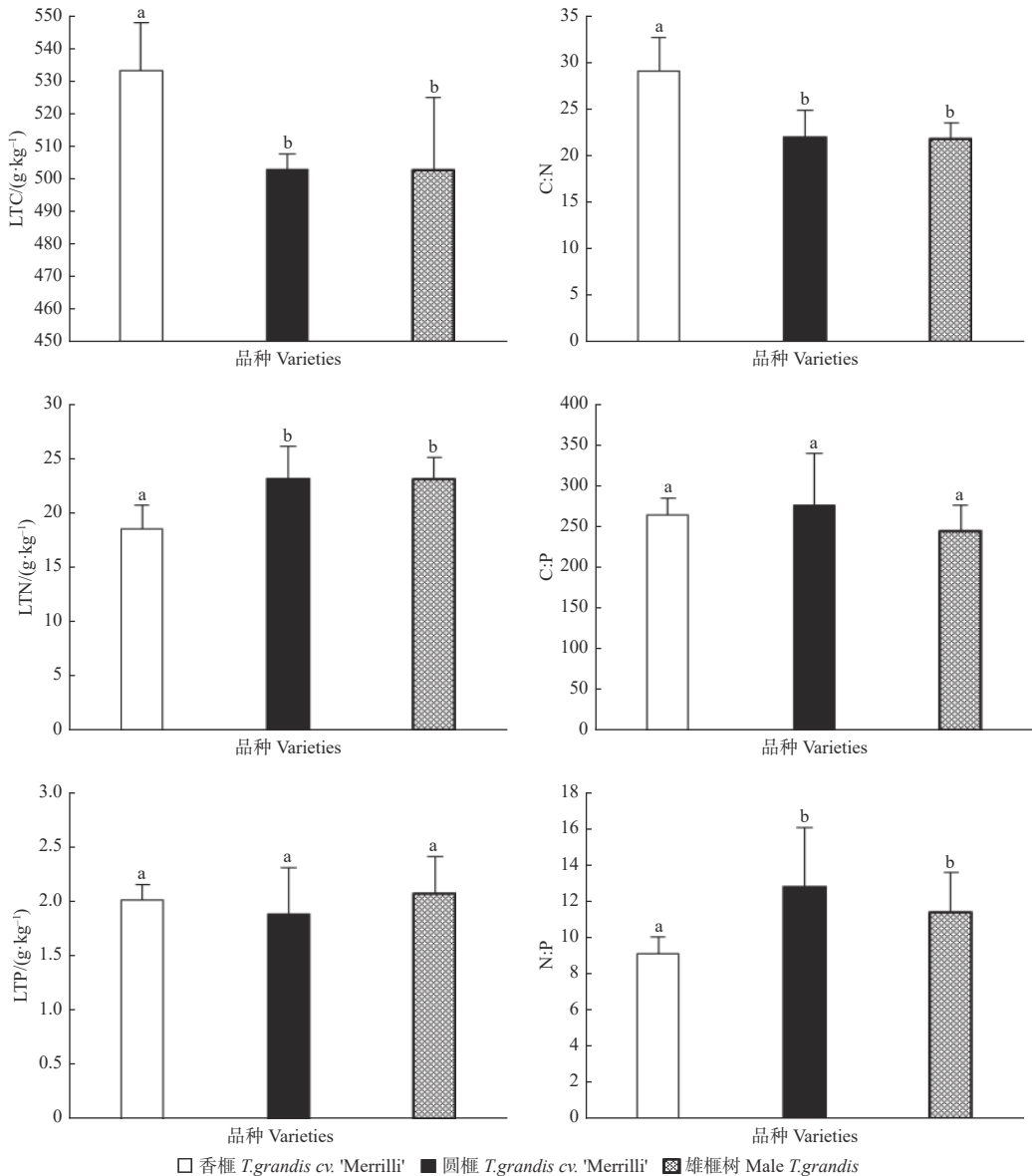


图1 不同品种榿树针叶C、N、P含量及化学计量变化

Fig. 1 The Stoichiometric Characteristics of C, N, and P in leaves of different varieties of *T. grandis*

C:N、N:P 分别为 22.0、12.8, 雄榿树 C:N、N:P 分别为 21.6、11.4。香榿针叶 C:N 显著高于圆榿和雄榿树, 与 LTC 含量变化趋势一致; 香榿针叶 N:P 显著低于圆榿和雄榿树, 与 LTN 含量变化一致。3 种榿树 C:P 分别为 264.0、277.3、245.3, 差异不显著。

3.3 不同品种榿树土壤与针叶 C、N、P 含量化学计量特征相关性

从相关分析结果 (表 5) 可知: 香榿 LTN 与

不同土层 SOC、STN 和 STP 均呈负相关关系, 相关系数为-0.631~-0.327; LTP 与 0~20 cm 土层 STN 显著负相关, 相关系数为-0.836。整体上, 榿树 LTC、LTN、LTP 与土壤 SOC、STN、STP 呈不显著相关。

由表 6 可知: 仅圆榿针叶 C:N 与土壤 40~60 cm 土层的 C:N 显著相关, 相关系数为 0.883。整体上, 不同品种榿树针叶 C:N、C:P、N:P 和土壤 C:N、C:P、N:P 呈不显著相关。

表 5 榿树针叶与土壤 C、N、P 含量的相关性

Table 5 The correlation between each element in leaves and soil of *T. grandis*

土层 Layers/cm	项目 Item	香榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Merrilli'			圆榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Dielsii'			雄榿树 Male <i>T. grandis</i>		
		LTC	LTN	LTP	LTC	LTN	LTP	LTC	LTN	LTP
0~20	SOC	0.717	-0.342	-0.696	-0.311	-0.497	-0.673	-0.451	-0.032	0.080
	STN	0.491	-0.535	-0.836*	0.053	-0.260	-0.786	-0.299	0.055	0.225
	STP	0.012	-0.538	-0.412	0.748	-0.253	0.005	0.039	0.359	0.170
20~40	SOC	0.146	-0.631	-0.295	0.284	-0.567	-0.515	-0.049	0.638	-0.128
	STN	-0.204	-0.450	-0.479	-0.102	-0.641	-0.534	0.135	0.671	0.030
	STP	-0.137	-0.445	-0.401	0.758	0.049	-0.166	0.341	0.588	0.005
40~60	SOC	0.244	-0.401	-0.462	-0.053	-0.319	-0.299	0.279	0.628	-0.127
	STN	0.203	-0.364	-0.425	-0.107	0.219	-0.474	0.484	0.648	-0.044
	STP	0.223	-0.327	-0.547	0.823*	0.118	-0.163	0.579	0.537	0.022

注: * $p < 0.05$ 。下同。

Note: * $p < 0.05$. The same as below.

表 6 榿树针叶与土壤 C:N、C:P、N:P 比相关性分析

Table 6 The correlation between C:N, C:P, N:P in leaves and soil of *T. grandis*

土层 Layers/cm	项目 Item	针叶 Leaf									
		香榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Merrilli'			圆榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Dielsii'			雄榿树 Male <i>T. grandis</i>			
		C:N	C:P	N:P	C:N	C:P	N:P	C:N	C:P	N:P	
土壤 Soil	0~20	C:N	-0.192	0.084	0.306	0.317	-0.398	-0.495	-0.361	0.258	0.286
		C:P	-0.224	0.169	0.368	-0.261	0.438	0.475	-0.232	-0.062	0.018
		N:P	-0.232	0.169	0.370	-0.311	0.480	0.537	-0.186	-0.262	-0.130
	20~40	C:N	0.315	-0.157	-0.482	0.209	0.258	0.101	-0.697	0.470	0.593
		C:P	0.382	-0.072	-0.497	0.203	0.459	0.272	-0.693	0.215	0.417
		N:P	0.081	0.402	0.207	0.079	0.381	0.272	-0.588	0.003	0.230
	40~60	C:N	0.238	0.275	-0.152	0.883*	-0.113	-0.537	-0.413	0.099	0.209
		C:P	0.444	-0.050	-0.517	0.180	0.245	0.109	-0.596	0.241	0.382
		N:P	0.324	-0.107	-0.403	-0.071	0.248	0.239	-0.568	0.348	0.468

4 讨论

4.1 不同品种榿树土壤 C、N、P 含量及其化学计量特征

土壤 C、N、P 化学计量特征不仅反映土壤系

统功能的变异性, 且是土壤有机质构成、土壤质量状况和养分供给能力的重要表现指标^[16]。本研究中, 3 种榿树 0~20、20~40 cm 土层 SOC 含量无显著差异, 香榿 40~60 cm 土层 SOC、STN 含量显著低于圆榿。这可能是因为香榿林地长期施复合

肥,一定程度上对土壤结构造成破坏作用,从而减小了土壤深层的总有机碳含量^[17],且香榧林地的垦覆、锄草等人为管理,造成土壤的严重搅动,翻耕使得土壤有机质充分暴露在有氧环境中,促使土壤矿物质化,从而导致更多的C、N的排放。香榧和圆榧0~20 cm土层SOC、STN含量显著高于20~40、40~60 cm土层,与吕金林等^[18]研究报道一致。土壤P素作为一种沉积的矿质,在土壤中的迁移率很低,全磷的垂直变化较稳定^[19]。香榧各土层STP含量均显著高于圆榧和雄榧树,P元素供应充足,这可能是由于香榧林地长期施入磷肥,导致香榧土壤C:P和N:P显著低于圆榧和雄榧树。

香榧、圆榧和雄榧树土壤C:N较C:P、N:P稳定,这与C、N元素含量对同一环境因素变化的响应基本同步有关,作为结构性成分,二者的积累和消耗过程存在相对稳定的比值^[20]。除40~60 cm土层香榧和圆榧C:N显著高于雄榧树外,香榧、圆榧和雄榧树其他土层的C:N均无显著差异,一定程度上反映出不同品种榧树土壤氮素矿化能力与有机质的分解速率相近;同时,表层土壤C:N能够很好地指示土壤供N状况^[21]。本研究结果表明,香榧、圆榧和雄榧树土壤N供应能力基本一致,较高的C:P是P有效性低的一个指标^[22],香榧、圆榧和雄榧树土壤C:P和N:P均表现为圆榧>雄榧树>香榧,且圆榧和雄榧树N:P也显著高于香榧,表明二者土壤可利用P低,与其STP含量少表现一致。出现这种现象的原因可能是研究区凋落物较少且岩石风化过程漫长,P元素积累缓慢。

4.2 不同品种榧树针叶C、N、P含量及其化学计量特征

本研究中,香榧LTC含量显著高于圆榧和雄榧树,这与C在多数植物体内含量很高且变异较小不一致^[23],这可能因为研究地对香榧的施肥、除草等人为经营,有利于植物的光合作用,从而固定更多的C。香榧LTN含量显著低于圆榧,与陈佳妮等^[24]报道香榧LTN含量高于榧树的结果不同,研究结果的差异可能因为试验的时间不同,其研究选择在4—5月榧树开花后,而本研究在榧树果实成熟的9月,更多的N用于果实生长发育。香榧深层的STN含量显著低于圆榧也可能是造成该现象的原因。植物P含量一方面反映了植物对P元素的利用效率,另一方面反映土壤P元素的供应能力^[25]。3种榧树LTP含量表现为雄榧树>香榧>

圆榧,这与香榧林地STP含量显著高于圆榧和雄榧树表现并不一致。有研究认为,林地N肥施入促进土壤磷酸酶活性,进而提高土壤中植物可利用性P含量^[26],进而有利于植物对P的吸收,增加植物P含量;然而,香榧林地P含量显著高于圆榧和雄榧树,而香榧LTP含量与圆榧和雄榧树并无显著差异,这可能是植物的生物增长速率大于植物P元素吸收速率时,会产生“生物量稀释作用”,植物叶片P含量表现为无显著变化甚至减少^[27-28]。

叶片C:N和C:P一定程度能反映植物的养分利用效率^[29]。香榧针叶C:N显著高于圆榧和雄榧树,且C:P也较高,说明香榧有较高的养分利用效率。很多研究将植物叶片N:P比作为限制因子判断的指标,N:P<14受N限制,N:P>16受P限制,位于二者中间N、P共同限制或均不限制^[30]。本研究中,3种榧树N:P分别为9.1、12.8和11.4,小于受N限制的阈值(14.0)。土壤是陆地植物生长最重要的基质,其N:P可用作N饱和的诊断指标,并常被用于确定养分限制的阈值^[31]。本研究中,3种榧树土壤N:P远小于14.0,造成香榧土壤N:P小的主要原因是STP含量高,因此,单纯靠阈值判断植物养分限制存在局限性,更应结合林地实际情况。

4.3 榧树针叶-土壤C、N、P化学计量相关性分析

诸多研究表明,叶片的养分含量状况能较好地反应土壤养分的供给能力,植物叶片与土壤C、N、P含量及化学计量比有一定的相关性。李喜霞等对红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)林的研究表明,LTN、LTP含量与STN、STP显著相关($p < 0.05$)^[32];邓成华等^[33]研究发现,油茶(*Camellia oleifera* Abel.)LTP含量与STP含量显著正相关,且土壤C:N、C:P、N:P与叶片C:N、C:P呈显著正相关,叶片N:P与土壤C:P、N:P呈显著正相关($p < 0.05$);顾大形等^[34]对四季竹(*Oligostachyum lubricum* (Wen) King f.)的研究表明,STN含量分别与LTN含量、叶片N:P呈极显著正相关($p < 0.01$)。这与土壤为植物提供生长所需养分,植物通过光合作用,然后以植物残体的形式返还给土壤有很强关系^[35];但也有一些研究表明,植物-土壤C、N、P化学计量特征相关性较小。靖磊等^[36]对杨树(*Populus* spp.)的研究表明,LTC、LTN、LTP含量及其比值与土壤之间相关关系并不显著;

姜沛沛等对刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis* Koidz.) 的研究中发现,LTN、LTP 含量与 STN、STP 含量均无显著关系,且环境因子对叶片和土壤 N、P 影响较大^[37]。本研究中,榿树 LTC、LTN 和 LTP 含量以及化学计量特征与 STC、STN、STP 含量及化学计量特征的相关关系并不显著,这可能因为当地榿树树龄较大,植物有较强的内稳性。本研究结果与姜沛沛等^[37]、张藤子等^[8]发现油松 (*P. tabulaeformis* Carr.) 植物养分与土壤养分含量及化学特征相关关系较弱的结果一致。

5 结论

本研究中,实生榿树圆榿和雄榿树针叶-土壤化学计量特征均无差异,雌雄异株对实生榿树化学计量特征无显著影响;香榿林地土壤 P 含量显著高于圆榿和雄榿树,施肥等人为经营管理对榿树林地土壤 P 含量影响较大。榿树针叶-土壤 C、N、P 含量及化学计量相关关系较弱。

参考文献:

[1] 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.

[2] Yu Q, Chen Q S, Elser J J, *et al.* Linking stoichiometric homeostasis with ecosystem structure, functioning and stability[J]. *Ecology Letters*, 2010, 13(11): 1390-1399.

[3] 阎恩荣,王希华,郭明,等.浙江天童常绿阔叶林、常绿针叶林与落叶阔叶林的C:N:P化学计量特征[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 48-57.

[4] 刘海霞,许斌杰,范新峰,等.植物—土壤反馈机制研究综述[J]. *青岛农业大学学报:自然科学版*, 2014, 31(2): 142-147.

[5] Müller M, Oelmann Y, Schickhoff U, *et al.* Himalayan treeline soil and foliar C : N : P stoichiometry indicate nutrient shortage with elevation[J]. *Geoderma*, 2017, 291(1): 21-32.

[6] 李从娟,雷加强,徐新文,等.塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤C、N、P的化学计量特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(18): 5760-5767.

[7] 张萍,章广琦,赵一娉,等.黄土丘陵区不同森林类型叶片-凋落物-土壤生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2018, 38(14): 5087-5098.

[8] 张藤子,李亚楠,韩飞燕,等.辽西两种油松混交林土壤及油松叶片C:N:P化学计量特征[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(10): 196-202.

[9] Fan H B, Wu J P, Liu W F, *et al.* Linkages of plant and soil C:N:P stoichiometry and their relationships to forest growth in subtropical plantations[J]. *Plant and Soil*, 2015, 392(1/2): 127-138.

[10] 程晓建,黎章矩,喻卫武,等.榿树的资源分布与生态习性[J]. *浙江林学院学报*, 2007, 24(4): 383-388.

[11] 江波,周先容,尚进,等.中国特有植物巴山榿树的种群结构与动态[J]. *生态学报*, 2018, 38(3): 1016-1027.

[12] 方丽梅.香榿发展前景及其丰产生态栽培技术[J]. *现代农业科技*,

2018, 723(13): 162-163.

[13] 张雨洁,王斌,李正才,等.不同树龄香榿土壤有机碳特征及其与土壤养分的关系[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(8): 149-157.

[14] 原雅楠,李正才,王斌,等.榿树种内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.

[15] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社, 2000.

[16] 曹娟,闫文德,项文化,等.湖南会同3个林龄杉木人工林土壤碳、氮、磷化学计量特征[J]. *林业科学*, 2015, 51(7): 1-8.

[17] 张雨洁,王斌,李正才,等.施肥措施对古香榿林地土壤活性有机碳和养分的影响[J]. *林业科学研究*, 2019, 32(2): 91-97.

[18] 吕金林,闫美杰,宋变兰,等.黄土丘陵区刺槐、辽东栎林地土壤碳、氮、磷生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2017, 37(10): 3385-3393.

[19] 刘兴沼,周国逸,张德强,等.南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中N、P的化学计量特征[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 64-71.

[20] Agren G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities[J]. *Annual review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2008, 39(1): 153-170.

[21] 张春华,王宗明,居为民,等.松嫩平原玉米带土壤碳氮比的时空变异特征[J]. *环境科学*, 2011, 32(5): 1407-1414.

[22] 赵维俊,刘贤德,金铭,等.祁连山青海云杉林叶片—枯落物—土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J]. *土壤学报*, 2016, 53(2): 477-489.

[23] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.

[24] 陈佳妮,廖亮,黄增冠,等.香榿与榿树叶片光合特性及其光保护机制的比较[J]. *林业科学*, 2015, 51(10): 134-141.

[25] 杨幸,王平,高大威,等.云南药山自然保护区黄背栎林和巧家五针松林生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2019, 39(11): 4021-4028.

[26] Marklein A R, Houlton B Z. Nitrogen inputs accelerate phosphorus cycling rates across a wide variety of terrestrial ecosystems[J]. *New Phytologist*, 2012, 193(3): 696-704.

[27] Yan Z B, Guan H Y, Han W X, *et al.* Reproductive organ and young tissues show constrained elemental composition in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Annals of Botany*, 2016, 117(3): 431-439.

[28] Zhang Q F, Xie J S, Lyu M K, *et al.* Short-term effects of soil warming and nitrogen addition on the N:P stoichiometry of *Cunninghamia lanceolata*, in subtropical regions[J]. *Plant and Soil*, 2017, 411(1-2): 395-407.

[29] 刘万德,苏建荣,李帅锋,等.云南普洱季风常绿阔叶林演替系列植物和土壤C、N、P化学计量特征[J]. *生态学报*, 2010, 30(23): 6581-6590.

[30] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of Nutrient limitation[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441-1450.

[31] 朱秋莲,邢肖毅,张宏,等.黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(15): 4674-4682.

[32] 李喜霞,杜天雨,魏亚伟,等.阔叶红松林生态化学计量学特征及其对纬度梯度的响应[J]. *生态学报*, 2018, 38(11): 3952-3960.

[33] 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.

[34] 顾大彤,陈双林,黄玉清,等.土壤氮磷对四季竹叶片氮磷化学计量特征和叶绿素含量的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(12): 1219-1225.

[35] 王维奇,徐玲琳,曾从盛,等.河口湿地植物活体-枯落物-土壤的

碳、氮、磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7119-7124. 6530-6538.

[36] 靖磊, 周延, 吕德, 等. 洞庭湖湿地3个林龄杨树人工林叶与土壤碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报, 2018, 38(18):

[37] 姜沛沛, 曹扬, 陈云明, 等. 陕西省3种主要树种叶片、凋落物和土壤N、P化学计量特征[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 443-454.

Stoichiometric Characteristics of C, N and P in Leaves of *Torreya grandis* Varieties and Soils

YUAN Ya-nan, LI Zheng-cai, WANG Bin, ZHANG Yu-jie, HUANG Sheng-yi

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To examine the effects of cultivar and dioecy on stoichiometry of *Torreya grandis* and provide data for management of *T. grandis* stands. [Method] The female (*T. grandis* cv. ‘Dielsii’ and *T. grandis* cv. ‘Merrilli’) and male *T. grandis* with age of about 300 years were selected from *T. grandis* National Forest Park in Zhuji of Zhejiang Province. The leaf and soil samples (0-20, 20-40 and 40-60 cm) of different *T. grandis* species were collected in the field to analyze the C, N, P contents and their stoichiometric characteristics. [Result] (1) There was no significant difference in C, N, P contents and stoichiometric characteristics between *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ and male *T. grandis*. Dioecy had no significant effects on the stoichiometry of *T. grandis*. (2) There was no significant difference in C and N contents among *T. grandis*. The C and N contents in 0-20 cm soil layer of *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ stand and in 20-40 and 40-60 cm soil layer of *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ stand were the highest. The content of P in soil of *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ stand (2.9, 1.5 and 0.9 g·kg⁻¹) was significantly higher than that in *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ stand and male *T. grandis* stand. (3) C:N in soil of *T. grandis* stand were more stable than C:P and N:P. The C:P and N:P in soil of *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ stand was significantly lower than that in *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ and male *T. grandis* stands. (4) The C content in *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ leaves (533.0 g·kg⁻¹) was significantly higher than that in *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ leaves (502.8 g·kg⁻¹) and male *T. grandis* leaves (502.7 g·kg⁻¹). The change trend of C:N and C content in leaves was the same. The N content in leaves of *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ (18.5 g·kg⁻¹) was significantly lower than that of *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ s leaves (23.2 g·kg⁻¹) and male *T. grandis* leaves (23.2 g·kg⁻¹). The change trend of N:P and leaf N content was same. (5) On the whole, there was no significant correlation between C, N, P contents and stoichiometric characteristics in leaves of *T. grandis* and soils. [Conclusion] Dioecy of *T. grandis* shows no significant effect on the stoichiometric characteristics of tree. Fertilization and other management activities have a significant impact on soil P content in soil of *T. grandis* stand.

Keywords: *Torreya grandis*; stoichiometry; varieties; soil; leaves

(责任编辑: 金立新)