

榿树种内 C、N、P 生态化学计量特征研究

原雅楠^{1,2}, 李正才^{1*}, 王 斌¹, 张雨洁¹, 黄盛怡¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

摘要: [目的] 探讨品种、雌雄异株对榿树化学计量的影响, 为榿树经营管理提供科学依据。 [方法] 以浙江省诸暨市香榿国家森林公园树龄 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植物样品和土壤样品, 分析不同品种榿树不同器官 C、N、P 含量及化学计量特征变化。 [结果] 研究表明: (1) 实生雌雄榿树 C、N、P 含量及化学计量特征无显著差异, 雌雄异株对榿树化学计量特征无显著影响; (2) 圆榿和雄榿树与香榿 C、N、P 含量及化学计量特征存在差异, 其中, 香榿叶 C 含量 ($533.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 显著高于圆榿 ($502.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和雄榿树 ($502.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 香榿根 P 含量 ($1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 显著高于圆榿 ($0.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和雄榿树 ($0.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。整体上香榿 C:N 比高于圆榿和雄榿树, 而 C:P 和 N:P 比低于二者; (3) 榿树不同器官 C、N、P 含量有一致的变化趋势, C、P 含量表现为叶 > 枝 > 根, 叶 N 含量显著高于根和枝。圆榿和雄榿树不同器官 C:N 和 C:P 比表现为根 > 枝 > 叶, N:P 比表现为根 > 叶 > 枝; 而香榿 C:N 比表现为枝 > 根 > 叶, C:P 比表现为根 > 枝 > 叶, N:P 比表现为叶 > 根 > 枝。 [结论] 雌雄异株对实生榿树化学计量特征无显著影响, 对实生榿树管理时可以不考虑雌雄差异, 人为经营显著影响榿树化学计量特征。

关键词: 榿树; 化学计量; 品种; 雌雄异株; 器官

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)06-0073-07

生态化学计量学从元素计量的角度出发, 阐述植物体各化学元素的分布和变化特征, 探讨生命运动的内在规律^[1-2]。C、N、P 对植物生长发育起着重要作用, 且元素的相互作用决定植物的生长代谢水平^[3]。一些学者对于较大尺度生态化学计量进行研究, 表明不同区域、不同生态系统类型的生态化学计量特征存在一定的差异^[4-5]。对小尺度(属、种、个体)生态化学计量特征。研究表明, 同属植物生态化学计量特征的差异反映其对外界环境变化的适应策略^[6]。开展不同品种植物生态化学计量特征的研究, 可为品种的选择、栽培和加工利用提供科学依据^[7]。植物养分含量受到环境中养分含量的制约, 研究植物各器官营养元素含量及变化特征, 对于揭示植物对营养元素的需求、不同器官营养元素的分配及植物对环境的适应能力具有重要的意义^[8]。

榿树(*Torreya grandis* Fort. et Lindl.), 我国特有

的珍稀树种, 雌雄异株。榿树种内性状变异复杂, 有许多自然变异类型(如芝麻榿、圆榿(*T. grandis* cv. 'Dielsii')、米榿等), 人工嫁接的香榿(*T. grandis* cv. 'Merrilli')性状稳定, 品质优良, 经济价值高^[9]。目前, 对榿树的研究多集中在香榿的栽培技术管理^[10]、林地土壤养分^[11]、施肥管理^[12]等方面。近几年基于育种的需求, 对榿树开展了一些相关研究, 沈登锋等^[13]研究发现, 不同品种榿树物理性质和化学成分均存在差异。同时雌雄异株的特性对榿树遗传多样性有重要贡献^[14]。但目前对榿树不同品种生态化学计量特征变化的研究还很欠缺, 品种差异、雌雄异株是否影响榿树的化学计量特征尚不清楚。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, 探讨品种对榿树 C、N、P 生态化学计量特征的影响, 以为当地榿树林地合

收稿日期: 2019-05-11 修回日期: 2019-07-11

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2017YFC0505403)

* 通讯作者: 李正才. E-mail: lizccaf@126.com

理经营管理提供科学依据。

1 研究地概况

研究地宣家村位于浙江省诸暨市赵家镇的香榧国家森林公园(29°21'~29°59'N, 119°53'~120°32'E),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。诸暨香榧国家森林公园为国内规模最大的香榧古树集聚地,树龄 100 a 以上的榧树达 4 200 余株,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,通过资料查阅、农户访问和实地调查,分别选取 6 株环境因子基本一致、树龄 300 a 左右的实生雌榧树(圆榧,除采果用于育苗外,

无人经营)、实生雄榧树(不结果,用于授粉,无人经营)和香榧(进行除草、施肥等人为管理)共 18 株样木,测定所选样株胸径、树高等基本特征,同时在树冠东、南、西、北 4 个方位和上、中、下 3 个部位采集适量枝条和针叶。在离开树体 50~100 cm 左右(东、南、西、北 4 个方位),随机挖取 5 个土壤剖面,采集 0~20 cm 土层土样,同时采集一定根样(直径小于 2 cm)。每个样株植物样品按不同器官装入袋中,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。所有调查样株分布在半径 500 m 范围内,以保证环境因子一致,具有可比性。样地基本情况见表 1。

2.2 样品处理及测定

将采集的植物样品枝、叶和根系分开,105℃杀青,60℃烘干后磨碎,备用;采集的土样自然风干后分别过 2、0.25、0.15 mm 筛,备用。有机碳含量采用重铬酸钾外加热法测定,全氮采用凯氏定氮法测定,全磷采用钼锑抗比色法测定。

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	土壤 C Soil C/(g·kg ⁻¹)	土壤 N Soil N/(g·kg ⁻¹)	土壤 P Soil P/(g·kg ⁻¹)
香榧 <i>T. grandis</i> cv. 'Merrilli'	98.2	11	18	543	26.4±3.5	2.4±0.3	2.9±0.8
圆榧 <i>T. grandis</i> cv. 'Dielsii'	70.1	19	30	496	24.9±3.4	2.3±0.4	0.6±0.3
雄榧树 Male <i>T. grandis</i>	74.3	16	25	477	24.9±7.4	2.2±0.6	0.6±0.1

2.3 数据处理

运用 Excel 2007 软件对数据进行整理和预处理,利用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差分析和双因素方差分析,以及相关分析(Pearson 检验)。

3 结果与分析

3.1 不同品种榧树根、枝和叶的 C、N、P 含量

由表 2 可以看出:不同品种比较,香榧各器官 C 含量高于圆榧和雄榧树各器官 C 含量,且枝和叶中达到显著水平。香榧根和枝中 N 含量与圆榧和雄榧树差异不显著,而叶 N 含量显著低于圆榧和雄榧树叶 N 含量。圆榧和雄榧树各器官 N 含量差异均不显著。香榧根、枝中 P 含量高于圆榧(0.9、1.8 g·kg⁻¹)和雄榧树(0.9、1.8 g·kg⁻¹),且根中达到显著水平,香榧叶中 P 含量高于圆榧而低于雄榧树。整体上,香榧 C、N、P 含量与圆榧和雄榧树存在差异,而圆榧和雄榧树 C、N、P 含量均无显著差异,实生榧树雌雄异株对其 C、N、P 无影响。由双因素方

差分析可知:品种仅对榧树 C 含量影响显著,品种和器官协同仅对 N 含量影响显著。

不同器官比较,榧树各器官 C 含量为 463.3~533.0 g·kg⁻¹,整体上表现为叶>枝>根,枝和叶 C 含量均显著高于根中 C 含量。各器官 N 含量为 11.7~23.2 g·kg⁻¹,3 种榧树根和枝中 N 含量无显著差异,而叶中 N 含量显著高于二者。各器官 P 含量为 0.9~2.1 g·kg⁻¹,表现为叶>枝>根,叶和枝 P 含量无显著差异,但均显著高于根中 P 含量。由方差分析可知:器官对 C、N、P 含量影响显著,且作为植物重要的养分储藏器官,叶 C、N、P 含量均最高。

3.2 不同品种榧树根、枝和叶 C、N、P 化学计量特征

由表 3 可以看出:不同品种比较,香榧与圆榧和雄榧树 C:N、C:P 和 N:P 比存在差异,而圆榧和雄榧树 C:N、C:P 和 N:P 比均无显著差异。香榧枝、叶 C:N 比高于圆榧和雄榧树,且叶中达到显著水平($p < 0.05$)。香榧根中 C:P 比显著低于圆榧和雄榧树,

表2 不同品种榿树根、枝、叶的 C、N、P 含量

Table 2 The contents of C, N, and P in leaves, breaches, and roots of different varieties of *T. grandis*

指标 Index	器官 Organ	榿树		
		香榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Merrilli'	圆榿 <i>T. grandis</i> cv. 'Dielsii'	雄榿树 Male <i>Torreya grandis</i>
C/ (g · kg ⁻¹)	根/Root	497.2 ± 36.1Ab	479.8 ± 21.5Ab	463.3 ± 10.4Ab
	枝/Stem	532.0 ± 11.9Aa	492.2 ± 12.0Bab	500.8 ± 17.2Ba
	叶/Leaf	533.0 ± 15.0Aa	502.8 ± 4.9Ba	502.7 ± 22.2Ba
N/ (g · kg ⁻¹)	根/Root	13.3 ± 3.7Ab	13.0 ± 3.2Ab	11.8 ± 2.6Ab
	枝/Stem	11.7 ± 1.3Ab	12.9 ± 1.3Ab	12.6 ± 1.6Ab
	叶/Leaf	18.5 ± 2.0Aa	23.2 ± 3.0Ba	23.2 ± 1.9Ba
P/ (g · kg ⁻¹)	根/Root	1.5 ± 0.3Ab	0.9 ± 0.2Bb	0.9 ± 0.1Bb
	枝/Stem	1.9 ± 0.3Aa	1.8 ± 0.3Aa	1.8 ± 0.3Aa
	叶/Leaf	2.0 ± 0.1Aa	1.9 ± 0.4Aa	2.1 ± 0.3Aa

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不同器官间差异显著($p < 0.05$)。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 organs at 0.05 level. The same below.

表3 不同品种榿树根、枝和叶的 C:N、C:P、N:P

Table 3 The ratios of C:N, C:P, and N:P in leaves, breaches and roots of different varieties of *T. grandis*

指标 Index	器官 Organ	榿树		
		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	根 Root	40.6 ± 14.7Aab	39.6 ± 13.6Aa	41.3 ± 10.0Aa
	枝 Stem	45.9 ± 5.9Aa	38.6 ± 4.6Ba	40.3 ± 4.3ABa
	叶 Leaf	29.2 ± 3.6Ab	22.0 ± 2.9Bb	21.8 ± 1.9Bb
C:P	根 Root	336.3 ± 78.7Aa	572.0 ± 164.0Ba	497.7 ± 60.4Ba
	枝 Stem	283.7 ± 55.0Aa	289.0 ± 70.9Ab	282.0 ± 49.2Ab
	叶 Leaf	264.1 ± 20.2Aa	277.2 ± 62.8Ab	245.3 ± 31.3Ab
N:P	根 Root	8.6 ± 1.6Aa	14.7 ± 2.6Ba	12.5 ± 2.7Ba
	枝 Stem	6.2 ± 0.5Ab	7.5 ± 1.6Ab	7.0 ± 0.9Ab
	叶 Leaf	9.1 ± 0.9Aa	12.8 ± 3.3Ba	11.4 ± 2.2Ba

枝、叶 C:P 比低于圆榿而高于雄榿树,差异不显著。香榿叶和根 N:P 比显著低于圆榿和雄榿树叶和根中 N:P,枝中 N:P 比无显著差异。由方差分析可知:品种对化学计量比影响较小,仅对 C:P 比影响显著,品种和器官协同作用下化学计量比保持相对稳定。

不同器官比较,各器官 C:N 比为 21.8 ~ 45.9,香榿各器官 C:N 比表现为枝 > 根 > 叶,圆榿和雄榿树各器官 C:N 比表现为根 > 枝 > 叶,圆榿和雄榿树叶中 C:N 比与枝和根 C:N 比差异显著,香榿叶 C:N 与枝 C:N 差异显著。各器官 C:P 比为 245.3 ~ 572.0,整体上表现为根 > 枝 > 叶,香榿各器官 C:P 比差异不显著,圆榿和雄榿树根中 C:P 比显著高于枝和叶。各器官 N:P 比为 6.2 ~ 14.7,香榿 N:P 比表现为叶 > 根 > 枝,而圆榿和雄榿树各器官 N:P 比表现根 > 叶 > 枝,根和叶 N:P 比无显著差异,但均显著高于枝 N:P 比。整体上,叶 C:N、C:P 比小于根和枝,这可能与叶中 C、N、P 含量均较高有关。由方差分析可知:器官对 C:N、C:P、N:P 比均有显著影响,

进一步反映器官对元素吸收的特异性。

3.3 榿树各器官 C、N、P 含量及生态化学计量比的相关性

从相关性分析(表 4、5)可以看出:榿树叶 C、N、P 含量与枝和根中 C、N、P 含量密切相关:叶 C 含量和根 C、P 以及枝 C 含量极显著正相关($p < 0.01$),相关系数分别为 0.609、0.677 和 0.733。叶 N 含量与枝 N 含量极显著正相关($p < 0.01$),而与枝 C 含量和根 P 含量呈极显著和显著负相关,相关系数分别为 0.630 和 -0.475。枝 P 含量和根 N、P 含量显著相关。

榿树各器官 C:N、C:P 和 N:P 比之间关系密切,枝 N:P 与根 C:P 和枝 C:P 达极显著相关($p < 0.01$),相关系数分别为 0.803 和 0.725。叶 C:N 与根 N:P 达到极显著负显著相关($p < 0.01$),相关系数为 -0.654,而与枝 C:N 存在极显著正相关($p < 0.01$),相关系数为 0.797。叶 N:P 与根 C:P、枝 N:P 和叶 C:N 均达极显著正相关($p < 0.01$)。

表4 榿树根、枝、叶 C、N、P 含量间的相关性

Table 4 The correlation between each element in leaves, breaches, and roots of *T. grandis*

指标 Index	根 C Root C	根 N Root N	根 P Root P	枝 C Stem C	枝 N Stem N	枝 P Stem P	叶 C Leaf C	叶 N Leaf N
根 N Root N	0.318							
根 P Root P	0.452	0.491 *						
枝 C Stem C	0.246	0.023	0.573 *					
枝 N Stem N	-0.070	0.456	-0.086	-0.372				
枝 P Stem P	0.131	0.554 *	0.546 *	-0.069	0.465			
叶 C Leaf C	0.609 **	0.247	0.677 **	0.733 **	-0.121	0.201		
叶 N Leaf N	-0.401	0.112	-0.475 *	-0.630 **	0.780 **	0.155	-0.534 *	
叶 P Leaf P	0.072	0.249	0.327	0.012	-0.030	0.366	0.255	-0.141

注: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ 。下同。

Note: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$. The same below.

表5 C:N、C:P、N:P 比相关性分析

Table 5 The correlation analysis between stoichiometric ratios

指标 Index	根 C:N Root C:N	根 C:P Root C:P	根 N:P Root N:P	枝 C:N Stem C:N	枝 C:P Stem C:P	枝 N:P Stem N:P	叶 C:N Leaf C:N	叶 C:P Leaf C:P
根 C:P Root C:P	0.520 *							
根 N:P Root N:P	-0.392	0.547 *						
枝 C:N Stem C:N	0.500 *	-0.206	-0.640 **					
枝 C:P Stem C:P	0.709 **	0.567 *	-0.056	0.511 *				
枝 N:P Stem N:P	0.388	0.803 **	0.465	-0.220	0.725 **			
叶 C:N Leaf C:N	0.166	-0.457	-0.654 **	0.797 **	0.211	-0.388		
叶 C:P Leaf C:P	0.459	0.518 *	0.066	0.080	0.518 *	0.510 *	0.004	
叶 N:P Leaf N:P	0.167	0.661 **	0.528 *	-0.538 *	0.170	0.610 **	-0.711 **	0.691 **

3.4 榿树叶片 C、N、P 含量及化学计量比与土壤相关性分析

由相关性分析(表6、7)可以看出:榿树叶、枝、根 C 含量均与土壤 P 含量达极显著正相关($p < 0.01$),相关系数分别为 0.665、0.662 和 0.662。叶 N 含量与土壤 P 含量极显著负相关($p < 0.01$),其相

关系数为 -0.738。根和枝 C:P、N:P 比与土壤 C:N 比显著负相关。叶 C:N 比与土壤 C:P 和 N:P 达极显著负相关($p < 0.01$),相关系数分别为 -0.707 和 -0.718;而叶 N:P 比与土壤 C:P 和 N:P 比呈极显著正相关($p < 0.01$)。根和枝 C:P、N:P 比与土壤 N:P 比均达到极显著正相关($p < 0.01$)。

表6 根、枝、叶和土壤 C、N、P 的相关性

Table 6 The Correlation between C, N and P contents in root, stem and leaves of *T. grandis* and soil

指标 Index	根 C Root C	根 N Root N	根 P Root P	枝 C Stem C	枝 N Stem N	枝 P Stem P	叶 C Leaf C	叶 N Leaf N	叶 P Leaf P
土壤 C Soil C	0.051	-0.353	0.053	0.051	-0.353	0.053	-0.015	-0.260	-0.201
土壤 N Soil N	0.095	-0.305	0.146	0.095	-0.305	0.146	0.095	-0.275	-0.264
土壤 P Soil P	0.662 **	-0.388	0.230	0.662 **	-0.388	0.230	0.665 **	-0.738 **	0.023

表7 根、枝、叶和土壤化学计量比的相关性

Table 7 The correlation between stoichiometric ratios of root, stem and leaves of *T. grandis* and soil

指标 Index	根 C:N Root C:N	根 C:P Root C:P	根 N:P Root N:P	枝 C:N Stem C:N	枝 C:P Stem C:P	枝 N:P Stem N:P	叶 C:N Leaf C:N	叶 C:P Leaf C:P	叶 N:P Leaf N:P
土壤 C:N Soil C:N	0.089	-0.482 *	-0.516 *	0.089	-0.482 *	-0.516 *	-0.085	-0.134	-0.057
土壤 C:P Soil C:P	0.066	0.221	0.211	0.066	0.221	0.211	-0.707 **	0.197	0.631 **
土壤 N:P Soil N:P	0.019	0.649 **	0.665 **	0.019	0.649 **	0.665 **	-0.718 **	0.214	0.653 **

4 讨论

4.1 不同品种榿树 C、N、P 化学计量差异

雌雄异株植物在物种多样性保护和维持生态系统稳定等方面有着积极作用^[15],在土壤干燥、养分贫瘠或未受人为因素干扰的生境中,雄株生长良好,个体数量较多;而雌株在湿润、肥沃、低海拔或受到干扰的生境中生长良好^[16]。但本研究中圆榿与雄榿树 C、N、P 含量以及化学计量比均无显著差异,实生榿树雌雄异株对其生态化学计量无显著影响。可能是因为研究区雄榿树因其较小的经济价值而被大量砍伐,仅留一部分用于授粉,单株分布,而圆榿也呈单株分布,同时圆榿和雄榿树基本一致的土壤环境也可能是造成该结果的原因。

本研究中,香榿 C、N、P 含量整体上高于圆榿和雄榿树,化学计量比也与二者存在差异,且榿树 C 含量与土壤 P 含量极显著正相关($p < 0.01$)。植物体化学元素主要来源于土壤,施肥可以改变土壤中的养分格局,进而影响植物的 N、P 吸收机制,改变植物器官化学计量的分配^[17]。大量研究表明,施肥对叶片 N、P 含量产生影响。不同配方施肥均显著提高无患子(*Sapindus mukorossi* Gaertn.) 叶片养分含量^[18]。长期施用不同肥料均显著提高红哺鸡竹(*Phyllostachys iridescens* C. Y. Yao) 叶片 C、N、P 含量^[19]。但本研究中香榿叶 N 含量 $18.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著低于圆榿和雄榿树叶 N 含量,这是因为榿树叶 N 含量与土壤 P 含量呈极显著负相关,香榿林地磷肥的施用降低其叶 N 含量,且 9 月仍处于榿树花芽分化的第一个阶段,此时的营养优先供应花芽的发育需求,导致叶片中的 N、P 含量下降^[20]。但也有研究表明,施肥并不影响植物养分含量。施肥增加了土壤全 N 和有效 N 含量,但对落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) 针叶 N 含量无明显影响^[21]。Son 等^[22]研究也发现,施肥对落叶松叶片 N 含量无显著影响。单施磷肥对杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 叶片 N 含量影响不显著^[23]。施肥对植物养分的影响与施肥种类、施肥量以及土壤背景值等有关;而对于无人管理的圆榿和雄榿树,其土壤养分的主要来源是枯落物。影响枯落物量的主要因素有环境因子、林分特征、树种组成等^[24]。研究表明,单一针叶树纯林因针叶树种特有的生物学特性,凋落物量较少,林地凋落物积累不足,林地土壤有机质含量较低^[25]。亚热带地区土壤总 P 含量

较高,但植物易利用的有效 P 含量较低,且易被矿化吸附固定和淋溶流失^[26]。而对林地有机无机肥配施,可以提高土壤全 P 及速效 P 含量^[27],且适量氮肥的施用会促进根系对 P 的吸收和利用^[28],因此,香榿根中 P 含量显著高于圆榿和雄榿树。

叶片 C:N 和 C:P 比在一定程度上能反应植物对营养的利用效率^[29]。香榿叶 C:N 比显著高于圆榿和雄榿树,且叶 C:P 比高于雄榿树略低于圆榿,表明香榿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 共同限制或者均不限制^[30]。本研究中,香榿、圆榿和雄榿树叶中 N:P 分别为 9.1、12.8 和 11.4,小于受 N 限制的阈值(14)。Yang 等^[31]研究表明,添加 N 对叶片 N 和 N:P 无显著影响,而 P 添加会提高叶片 P 含量,同时降低 N:P。施肥使得香榿叶片有较高 P 含量,进而 N:P 较小;而无人经营的圆榿和雄榿树生长受到 P 的限制,与一些学者对亚热带区植物的研究结果一致^[32]。同一地区相同物种受到不同的养分限制,依据统一的判定标准来诊断限制性养分存在偏差,应当结合施肥试验进行养分诊断。

4.2 榿树不同器官化学计量变化特征

不同品种榿树不同器官 C、N、P 含量变化基本一致,C 含量表现为叶 > 枝 > 根,根和枝中 N 含量无显著差异,而叶中 N 含量显著高于二者,P 含量叶 > 枝 > 根,与杨波等^[33]对扁桃不同品种不同器官间矿质元素有一致的变化趋势的研究结果一致。器官对榿树 C、N、P 含量及其化学计量比的影响极显著($p < 0.01$)。同一植物不同器官间的 C、N、P 含量不仅受植物的基本生理过程需求的影响,而且受相应器官组织结构和功能分化的影响^[34],进一步说明各器官对元素的吸收利用具有特异性。本研究榿树叶中 C、N、P 含量均高于枝和根,叶片既是植物的同化器官,也是植物重要的养分储存器官,而枝和根作为养分的吸收和传输通道,较少储存养分。香榿、圆榿和雄榿树叶 C 含量分别为 533.0 、 502.8 和 $502.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,均明显高于全球尺度的叶 C 含量 $461.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[35],表明榿树针叶有机物含量高,碳固持能力强。香榿、圆榿和雄榿树叶 N 含量分别为 18.5 、 23.2 、 $23.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,总体上高于中国区域叶 N 含量 ($19.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),施肥影响了香榿叶 N 含量。香榿、圆榿和雄榿树叶 P 含量分别为 2.0 、 1.9 、 $2.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,明显高于中国区域叶 P 含量 ($1.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

本研究中圆榧和雄榧树不同器官 C:N 和 C:P 比表现为根 > 枝 > 叶, N:P 比表现为根 > 叶 > 枝; 而香榧 C:N 比表现为枝 > 根 > 叶, C:P 比表现为根 > 枝 > 叶, N:P 比表现为叶 > 根 > 枝, 整体上叶的化学计量比都小于枝和根。生物体 C、N、P 比值与生长率有很强的关系, 在此基础上产生了生长速率理论, 即生物体的快速生长需要大量的蛋白酶, 也需要大量的核糖体 RNA 合成蛋白质, 由于核糖体 RNA 中含有大量的 P, 蛋白酶含有大量的 N, 从而使得生长率高的生物和新陈代谢快的器官有较低的 C:N、C:P 和 N:P 比^[36]。本研究结果与史军辉等^[29]的研究不同, 这是因为植物器官生态化学计量特征随着环境中养分分子的限制情况呈现相应的变化。

5 结论

本研究中, 雌雄异株对实生榧树 C、N、P 含量及生态化学计量特征无显著影响。因此, 对当地实生榧树进行管理时, 可以不考虑雌雄差异进行施肥, 促进古树复壮。圆榧和雄榧树与香榧 C、N、P 含量及化学计量特征有差异, 施肥对榧树化学计量特征产生影响。

参考文献:

[1] Elser J J, Sterner R W, Gorokhova E, *et al.* Biological stoichiometry from genes to ecosystems[J]. *Ecology Letters*, 2000, 3(6): 540 - 550.

[2] Wang J Y, Wang J N, Guo W H, *et al.* Stoichiometric homeostasis, physiology, and growth responses of three tree species to nitrogen and phosphorus addition[J]. *Trees*, 2018, 32(5): 1377 - 1386.

[3] 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.

[4] Han W, Fang J, Guo D, *et al.* Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. *New Phytologist*, 2005, 168(2): 377 - 385.

[5] 王晶苑, 王绍强, 李勿兰, 等. 中国四种森林类型主要优势植物的 C:N:P 化学计量学特征[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(6): 587 - 595.

[6] 陈美玲, 崔君滕, 邓 蕾, 等. 黄土高原两种针叶树种不同器官水碳氮磷分配格局及其生态化学计量特征[J]. *地球环境学报*, 2018, 9(1): 54 - 63.

[7] 刘 斌. 新疆红花主栽品种生态化学计量特征多样性研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2013.

[8] 刘 超, 王 洋, 王 楠, 等. 陆地生态系统植被氮磷化学计量研究进展[J]. *植物生态学报*, 2012, 36(11): 1205 - 1216.

[9] 黎章矩. 中国香榧[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 2 - 15.

[10] 余盛武, 蒋 敏, 吕赞薇, 等. 香榧高产高效栽培技术研究进展[J]. *花卉*, 2017(8): 97 - 98.

[11] 张雨洁, 王 斌, 李正才, 等. 不同树龄香榧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.

[12] 周智峰, 黄文斌, 钟子龙, 等. 不同施肥措施对初果期香榧林生长的影响[J]. *浙江林业科技*, 2015, 35(3): 83 - 86.

[13] 沈登峰, 曾燕如, 喻卫武, 等. 榧树种质资源的收集与种子理化性质的初步分析[J]. *浙江农林大学学报*, 2011, 28(5): 747 - 752.

[14] 董雷鸣, 沈登峰, 喻卫武, 等. 榧树雄株若干性状变异初探[J]. *浙江农林大学学报*, 2012, 29(5): 715 - 721.

[15] 胥 晓, 杨 帆, 尹春英, 等. 雌雄异株植物对环境胁迫响应的性别差异研究进展[J]. *应用生态学报*, 2015, 18(11): 2626 - 2631.

[16] Inoue M, Kiyoshi I, Masaaki C, *et al.* Nutrient deficiency promotes male-biased apparent sex ratios at the ramet level in the dioecious plant *Myrica gale* var. *tomentosa* in oligotrophic environments in bogs[J]. *Journal of Plant Research*, 2018, 131(6): 1 - 13.

[17] 徐福利, 赵亚芳, 张 潘, 等. 施肥对华北落叶松人工林根茎叶中氮磷含量的影响[J]. *林业科学*, 2014, 50(3): 139 - 143.

[18] 卫星杓, 戴腾飞, 刘诗琦, 等. 施肥对无患子叶片养分动态及产量的影响[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2018, 42(5): 21 - 28.

[19] 郭子武, 虞敏之, 郑连喜, 等. 长期施用不同肥料对红嘴鸡竹林叶片碳、氮、磷化学计量特征的影响[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(12): 2667 - 2671.

[20] 刘萌萌. 香榧营养元素的动态分析与营养诊断初步研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2014.

[21] 赵 琼, 刘兴宇, 胡亚林, 等. 氮添加对兴安落叶松养分分配和再吸收效率的影响[J]. *林业科学*, 2010, 46(5): 14 - 19.

[22] Son Y, lee I K, Ryu S R. Nitrogen and phosphorus dynamics in foliage and twig of pitch pine and Japanese larch plantations in relation to fertilization[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2000, 23(5): 697 - 710.

[23] 马亚娟. 施肥对杉木养分吸收特性及其碳、氮、磷生态化学计量规律的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.

[24] 凌 华, 陈光水, 陈志勤. 中国森林凋落量的影响因素[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2009, 4(4): 66 - 71.

[25] 杨承栋. 我国人工林土壤有机质的量和质下降是制约林木生长的关键因子[J]. *林业科学*, 2016, 52(12): 1 - 12.

[26] Yu S, He Z L, Stoffella P J, *et al.* Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(3): 619 - 628.

[27] 史 静, 张誉方, 张乃明, 等. 长期施磷对山原红壤磷库组成及有效性的影响[J]. *土壤学报*, 2014, 51(2): 351 - 359.

[28] 吉艳芝, 陈立新, 薛宝民, 等. 施肥对落叶松人工林植物养分及生理特性的影响[J]. *生态环境*, 2004, 13(2): 217 - 219.

[29] 史军辉, 马学喜, 刘茂秀, 等. 胡杨(*Populus euphratica*)枝叶根化学计量特征[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(1): 109 - 115.

[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 Ap-*

plied Ecology, 1996, 33(6): 1441–1450.

- [31] Yang H. Effects of nitrogen and phosphorus addition on leaf nutrient characteristics in a subtropical forest [J]. *Trees*, 2018, 32(2): 383–391.
- [32] 崔宁洁, 刘小兵, 张丹桔, 等. 不同林龄马尾松(*Pinus massoniana*)人工林碳氮磷分配格局及化学计量特征[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(2): 188–195.
- [33] 杨波, 车玉红, 徐叶挺, 等. 不同扁桃品种花和叶片矿物质营养元素含量分析[J]. *新疆农业科学*, 2013, 50(3): 466–470.
- [34] Minden V, Kleyer M. Internal and external regulation of plant organ stoichiometry [J]. *Plant Biology*, 2015, 16(5): 897–907.
- [35] 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.
- [36] 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.

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

YUAN Ya-nan^{1,2}, LI Zheng-cai¹, WANG Bin¹, ZHANG Yu-jie¹, HUANG Sheng-yi¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China;

2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: [Objective] To examine the effects of cultivar and dioecy on stoichiometry of *Torreya grandis*, and provide references for the management of *T. grandis* stands. [Method] 300-years-old female (*T. grandis* cv. ‘Dielsii’ and *T. grandis* cv. ‘Merrilli’) and male *T. grandis* in *T. grandis* National Forest Park located in Zhuji of Zhejiang Province were used as test materials. The plant and soil samples were collected from 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) The contents of C, N, P and their stoichiometric characteristics of *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ were significantly different from *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ and male *T. grandis*. Among them, the C content in *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ leaves ($533.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) was significantly higher than that in *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ ($502.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and male *T. grandis* ($502.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), and the P content in *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ roots ($1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) was significantly higher than that in *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ ($0.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and male *T. grandis* ($0.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). Generally, the C:N ratio of *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ was higher than that of *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ and male *T. grandis*, while the C:P and N:P ratios were lower. (3) The contents of C, N and P in different organs of *T. grandis* exhibited the same trend. The content of C and P displayed in the order of leaves > branches > roots, leaves were the highest, and the content of C in root and the content of P in branch were the lowest. And N content of leaves were significantly higher than of roots and branches. The C:N and C:P ratios of different organs of *T. grandis* cv. ‘Dielsii’ and male *T. grandis* were roots > branches > leaves, and the N:P ratio was roots > leaves > branches. The C:N ratio of *T. grandis* cv. ‘Merrilli’ was branches > roots > leaves, the C:P ratio was roots > branches > leaves, and the N:P was leaves > roots > branches. [Conclusion] Dioecy of *T. grandis* shows no significant effect on the stoichiometric characteristics of tree, so it can be ignored during the management. The stoichiometric characteristics of *T. grandis* is significantly affected by management measures.

Keywords: *Torreya grandis*; stoichiometry; varieties; dioecy; organs