

广东连州自然分布的 3 种植物体内及根际环境中 稳定性碳和氮同位素的分析

唐志信¹, 李春波¹, 陈伟霖², 龙连娣², 陶文琴², 缪绅裕^{2,①}

(1. 广东连州田心省级自然保护区, 广东 连州 513400; 2. 广州大学生命科学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 以广东连州自然分布的 3 种国家重点保护野生植物南方红豆杉 [*Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lév.) Cheng et L. K. Fu]、半枫荷 (*Semiliquidambar cathayensis* Chang) 和金荞麦 [*Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara] 为研究对象, 分析了根、茎和叶片及根际土壤和岩石的 C、N 含量和 C:N 比以及 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的差异; 在此基础上, 通过 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的散点图比较了 3 种植物生态位的差异。结果表明: 在同种植物中, 根、茎和叶片的 C 和 N 含量及 C:N 比总体高于根际土壤和岩石, 其中, 叶片中 C 和 N 含量均最高, 茎的 C:N 比最高; 而根际土壤和岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值总体高于根、茎和叶片。在供试的 3 种植物间, 根际土壤和岩石中 C 和 N 含量总体上无明显差异, 但根、茎和叶片中 C 和 N 含量以及根、茎和叶片及根际土壤和岩石的 C:N 比、 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值均有一定差异; 其中, 金荞麦根中 C 含量显著 ($P < 0.05$) 低于南方红豆杉和半枫荷, 其根、茎和叶片中 N 含量和 $\delta^{15}\text{N}$ 值均极显著 ($P < 0.01$) 高于后二者, 其根、茎和叶片的 C:N 比和 $\delta^{13}\text{C}$ 值均极显著低于后二者, 其根际土壤和岩石的 C:N 比和 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体上也低于后二者; 南方红豆杉和半枫荷的叶片中 C 和 N 含量以及茎和叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、根际土壤和岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值均存在显著差异, 但二者的整体差异相对较小。从散点图上看, 金荞麦的生态位远离南方红豆杉和半枫荷, 而后二者的生态位有交集。综合分析结果显示: 草本植物金荞麦与木本植物南方红豆杉和半枫荷的 C 和 N 含量以及 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的差异不仅与植物自身的生活型有关, 而且与各自生境中的光照和土壤因子等相关。另外, 供试 3 种植物的根、茎和叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变幅为 $-31.69\text{‰} \sim -26.46\text{‰}$, 符合 C_3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值范畴。

关键词: 南方红豆杉; 半枫荷; 金荞麦; 稳定性同位素; 碳; 氮

中图分类号: Q948 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)02-0076-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.02.10

Analyses on stable carbon and nitrogen isotopes in body and rhizosphere of three plants naturally distributed in Lianzhou of Guangdong TANG Zhixin¹, LI Chunbo¹, CHEN Weilin², LONG Liandi², TAO Wenqin², MIAO Shenyu^{2,①} (1. Tianxin Provincial Nature Reserves of Lianzhou, Guangdong, Lianzhou 513400, China; 2. School of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(2): 76-82

Abstract: Taking three national key preserved wild plants of *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lév.) Cheng et L. K. Fu, *Semiliquidambar cathayensis* Chang and *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara naturally distributed in Lianzhou of Guangdong as research objects, differences in C and N contents, C:N ratio, and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of their root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock were analyzed; on the basis, ecological niche differences in three plants were analyzed by using scatter diagram of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values. The results show that C and N contents and C:N ratio of root, stem and blade are generally higher than those of rhizosphere soil and rock in the same plant, in which, C and N contents in blade are the highest, C:N ratio of stem is the highest; while $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of

收稿日期: 2016-11-14

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(S2012010009714); 广东省自然保护区专项建设资金项目(粤财林[2013]106号)

作者简介: 唐志信(1965—), 男, 广东连州人, 大专, 林业工程师, 主要从事自然保护区资源管理等方面的研究。

①通信作者 E-mail: miaoshy@gzhu.edu.cn

rhizosphere soil and rock are generally higher than those of root, stem and blade. Among three tested plants, there is no significant difference in C and N contents in rhizosphere soil and rock in general, while there are some differences in C and N contents in root, stem and blade, as well as in C:N ratio, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock; in which, C content in root of *F. dibotrys* is significantly ($P < 0.05$) lower than that of *T. chinensis* var. *mairei* and *S. cathayensis*, while its N content and $\delta^{15}\text{N}$ value, and C:N ratio and $\delta^{13}\text{C}$ value of root, stem and blade are extremely significantly ($P < 0.01$) higher and extremely significantly lower than those of the latter two, respectively, and its C:N ratio and $\delta^{13}\text{C}$ value of rhizosphere soil and rock are lower than those of the latter two in general; there are significant differences in C and N contents in blade, $\delta^{13}\text{C}$ value of stem and blade, and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of rhizosphere soil and rock between *T. chinensis* var. *mairei* and *S. cathayensis*, but the overall differences are relatively small. Ecological niche of *F. dibotrys* is far from that of *T. chinensis* var. *mairei* and *S. cathayensis* in the scatter diagram, while there is intersection of ecological niche between the latter two. The comprehensive analysis results show that the differences in C and N contents and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values between herbaceous plant *F. dibotrys* and woody plant *T. chinensis* var. *mairei* and *S. cathayensis* are not only related with their life forms, but also with light, soil factors, etc. in their respective habitats. In addition, variation range of $\delta^{13}\text{C}$ value of root, stem and blade of three plants tested is -31.69% — -26.46% , which is in accord with $\delta^{13}\text{C}$ value range of C_3 plant.

Key words: *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lév.) Cheng et L. K. Fu; *Semiliquidambar cathayensis* Chang; *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara; stable isotope; carbon; nitrogen

稳定性同位素技术具有示踪、整合和指示等多项功能,该技术检测快速、结果准确,在生态学和地球化学循环等方面显示出独特的作用,已成为生态学研究的重要手段^[1]。C 和 N 是植物组织的重要组成部分,并在植物生理代谢过程中关系密切。植物组织的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值在很大程度上受生长环境的影响。Miao 等^[2]的研究结果表明:珠江口红树林湿地中不同种类植物因生境相同,其 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 组成有一定相似性,而不同生境中的同种植物则差异较大。利用稳定性 C、N 同位素技术能准确溯源药用植物的原产地;而对于珍稀濒危保护植物,则有助于深入了解不同生活型植物的环境适应性以及生物地球化学循环过程,为濒危植物种群的生存与发展研究奠定理论基础。

红豆杉科 (Taxaceae) 乔木种类南方红豆杉 [*Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lév.) Cheng et L. K. Fu] 为国家 I 级重点保护野生植物^[3], 目前对该种的研究主要集中在叶片精油、多糖提取和抗肿瘤活性^[4-6]、幼苗生长与光合生理节律^[7]、细根结构及 C 和 N 含量^[8] 等方面。金缕梅科 (Hamamelidaceae) 乔木种类半枫荷 (*Semiliquidambar cathayensis* Chang) 为国家 II 级重点保护野生植物^[3], 目前对该种的研究主要涉及种苗生长发育和培育技术^[9-11]、根化学成分^[12] 及药理活性^[13] 等方面。金荞麦 [*Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara] 为蓼科 (Polygonaceae) 多年生草本植物,也为国家 II 级重点保护野生植物^[3], 目

前对该种的研究主要集中在资源分布与遗传多样性、生长发育、人工栽培和质量控制^[14] 等方面。这 3 种植物均具有特定的药用价值,在广东连州田心省级自然保护区也均有自然分布。

为探讨不同生活型植物在不同生境以及相同生活型植物在相似生境中稳定性同位素的表现特征,兼顾珍稀濒危保护植物的药用价值和科研保护价值,作者以生境较为郁闭的南方红豆杉和半枫荷以及生境较为开阔的金荞麦为研究对象,对植株不同器官以及根际土壤和岩石中的 C、N 含量以及稳定性 C、N 同位素组成进行分析,并依据散点图分析其生态位差异,以期深入了解药用濒危植物的生态适应性,为濒危植物种群的生存与发展研究提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料南方红豆杉、半枫荷和金荞麦均采自广东连州田心省级自然保护区,具体地理坐标为东经 $112^{\circ}21'40''$ 、北纬 $25^{\circ}07'14''$ 。该保护区位于北回归线以北的南岭山脉中段南麓,属中亚热带季风气候;年均温 $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1 月均温 $8.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端低温 $-6.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 7 月均温 $28.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端高温 $39.8\text{ }^{\circ}\text{C}$; 年均降水量 $1\ 571.8\text{ mm}$, 年降水量的 82% 集中在 3 月至 8 月; 年均空气相对湿度 81.0%, 无霜期 298.7 d ^[15]。

3种植物的生境地相互邻近,其中,南方红豆杉和半枫荷为乔木,生长在郁闭度约0.85的林内地;金荞麦为草本,生长在路旁开阔地。

1.2 方法

1.2.1 样品采集及预处理 每种植物分别选择3株成熟个体作为样株,其中,南方红豆杉和半枫荷样株的胸径均为10 cm,金荞麦样株为开花个体。分别采集各样株的根、茎和叶片,其中,根样品为地面以下10 cm的主根,茎样品为地面以上10 cm的主茎,叶片样品为植株或枝条顶端以下第3枚成熟叶片;另外,在每一样株主根附近5 cm范围内分别采集岩石和土壤样品;每个样品鲜质量约20 g。

根、茎和叶片以及岩石样品分别洗净,土壤样品风干,均置于60 °C烘箱中处理24 h,冷却后粉碎、过筛(0.149 mm),备用^[2]。

1.2.2 样品测定 参考文献[2],分别用Vario PYO cube型元素分析仪(德国Elementar公司)和IsoPrime

100型同位素质谱仪(英国IsoPrime公司)测定各样品中的C和N含量以及C:N比和稳定性同位素组成。测定过程在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室完成。

1.3 数据处理及分析

采用EXCEL 2007软件进行数据处理和绘图;采用SPSS 17.0数据统计分析软件对实验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并且对样本进行t检验(双侧)。

2 结果和分析

2.1 3种植物不同部位及根际土壤和岩石中C含量的比较

广东连州自然分布的南方红豆杉、半枫荷和金荞麦的根、茎和叶片及根际土壤和岩石中C含量的比较结果见表1。

表1 广东连州自然分布的3种植物根、茎和叶片及根际土壤和岩石中C含量的比较($\bar{X} \pm SD, n=3$)¹⁾

Table 1 Comparison on C content in root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock of three plants naturally distributed in Lianzhou of Guangdong ($\bar{X} \pm SD, n=3$)¹⁾

植物 Plant	不同样品中的C含量/g · kg ⁻¹ C content in different samples				
	岩石 Rock	土壤 Soil	根 Root	茎 Stem	叶片 Blade
南方红豆杉 <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	12.3 ± 1.0Ab	31.4 ± 2.1Aa	404.9 ± 23.1Ab	420.8 ± 26.5Aa	542.1 ± 30.1Ab
半枫荷 <i>Semiliquidambar cathayensis</i>	2.8 ± 0.2Aa	23.1 ± 1.8Aa	401.0 ± 20.8Ab	411.6 ± 21.9Aa	485.2 ± 26.7Aa
金荞麦 <i>Fagopyrum dibotrys</i>	1.6 ± 0.1Aa	37.0 ± 2.0Aa	356.3 ± 24.3Aa	415.6 ± 22.7Aa	472.6 ± 23.5Aa

¹⁾ 同列中不同的大写和小写字母分别表示差异极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)。Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$) differences, respectively.

由表1可见:3种植物根、茎、叶片及根际土壤和岩石中的C含量差异明显,其中,植株不同部位中C含量明显高于根际土壤和岩石。从同种植物的不同部位看,均为叶片中C含量最高、根中C含量最低;而土壤与岩石相比,均为土壤中C含量明显高于岩石。整体上看,同种植物的5个样品按照C含量从低至高依次排序为岩石、土壤、根、茎、叶片。

从不同种类比较的结果(表1)可见:整体上看,南方红豆杉不同部位及根际土壤和岩石中C含量最高,其中,南方红豆杉和半枫荷根中C含量显著($P < 0.05$)高于金荞麦,南方红豆杉岩石和叶片中C含量显著高于半枫荷和金荞麦,其他样品间的C含量均无显著差异($P > 0.05$)。说明植株不同部位及根际环境(尤其是茎和土壤)中C含量在不同植物种类间差异不明显。

2.2 3种植物不同部位及根际土壤和岩石中N含量的比较

广东连州自然分布的南方红豆杉、半枫荷和金荞麦的根、茎和叶片及根际土壤和岩石中N含量的比较结果见表2。

由表2可见:3种植物根、茎、叶片及根际土壤和岩石中的N含量差异较大,其中,植株不同部位中N含量明显高于根际土壤和岩石。从同种植物的不同部位看,均为叶片中N含量最高、茎中N含量最低,且叶片中N含量与茎和根差异明显;而土壤与岩石相比,均为土壤中N含量高于岩石,其中,半枫荷和金荞麦根际土壤中N含量与岩石中N含量差异较大。整体上看,同种植物的5个样品按照N含量从低至高依次排序为岩石、土壤、茎、根、叶片。

从不同种类比较的结果(表2)可见:除岩石中的

N 含量外, 金荞麦不同部位及根际土壤中 N 含量均最高, 其中, 金荞麦根、茎和叶片中 N 含量极显著 ($P < 0.01$) 高于南方红豆杉和半枫荷, 南方红豆杉叶片中 N 含量则极显著高于半枫荷, 三者根际土壤和岩石中 N 含量以及南方红豆杉与半枫荷的根和茎中 N 含量

均无显著差异。说明草本的金荞麦与木本的南方红豆杉和半枫荷对 N 吸收和积累的能力及机制明显不同; 也可能与金荞麦与南方红豆杉和半枫荷的生境差异有关, 前者生长于空旷地中, 而后二者则分布于森林中。

表 2 广东连州自然分布的 3 种植物根、茎和叶片及根际土壤和岩石中 N 含量的比较 ($\bar{X} \pm SD, n=3$)¹⁾

Table 2 Comparison on N content in root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock of three plants naturally distributed in Lianzhou of Guangdong ($\bar{X} \pm SD, n=3$)¹⁾

植物 Plant	不同样品中的 N 含量/g · kg ⁻¹ N content in different samples				
	岩石 Rock	土壤 Soil	根 Root	茎 Stem	叶片 Blade
南方红豆杉 <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	1.0 ± 0.1Aa	1.1 ± 0.1Aa	7.9 ± 0.6Aa	6.9 ± 0.5Aa	23.5 ± 1.8Bb
半枫荷 <i>Semiliquidambar cathayensis</i>	0.1 ± 0.0Aa	1.6 ± 0.2Aa	8.3 ± 0.7Aa	6.2 ± 0.4Aa	14.5 ± 2.4Aa
金荞麦 <i>Fagopyrum dibotrys</i>	0.1 ± 0.0Aa	2.9 ± 0.3Aa	21.8 ± 1.5Bb	14.7 ± 1.1Bb	44.9 ± 3.9Cc

¹⁾ 同列中不同的大写和小写字母分别表示差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$)。Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$) differences, respectively.

2.3 3 种植物不同部位及根际土壤和岩石中 C:N 比的比较

广东连州自然分布的南方红豆杉、半枫荷和金荞麦的根、茎和叶片及根际土壤和岩石中 C:N 比的比较结果见图 1。

由图 1 可见, 3 种植物根、茎、叶片及根际土壤和岩石的 C:N 比均有较大差异, 其中, 仅半枫荷不同部位的 C:N 比均大于根际土壤和岩石, 南方红豆杉和金荞麦则根和茎的 C:N 比大于根际土壤和岩石。从

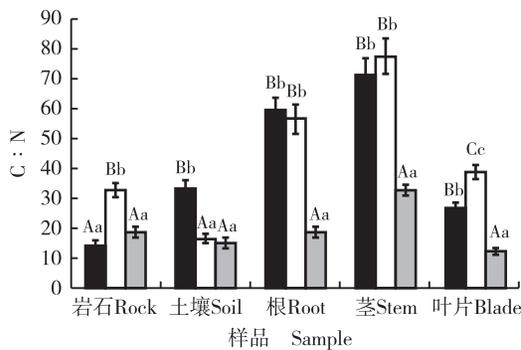
同种植物的不同部位看, 均为茎的 C:N 比最大, 叶片的 C:N 比最小; 而土壤与岩石相比, 南方红豆杉根际土壤的 C:N 比明显大于岩石, 但半枫荷和金荞麦根际土壤的 C:N 比则小于岩石。整体上看, 半枫荷植株不同部位及根际土壤和岩石中的 C:N 比差异最大, 而金荞麦植株不同部位及根际土壤和岩石的 C:N 比差异最小。

从不同种类的比较结果(图 1)可见: 供试的 3 种植物中, 半枫荷茎和叶片的 C:N 比均最大, 金荞麦各部位的 C:N 比均最小, 其中, 3 种植物叶片的 C:N 比均有极显著差异, 而金荞麦根和茎的 C:N 比则极显著小于南方红豆杉和半枫荷, 但后二者根和茎的 C:N 比无显著差异。从土壤与岩石的 C:N 比看, 半枫荷生境岩石的 C:N 比极显著大于南方红豆杉和金荞麦, 南方红豆杉根际土壤的 C:N 比则极显著大于半枫荷和金荞麦, 后二者间则均无显著差异。

2.4 3 种植物不同部位及根际土壤和岩石中 $\delta^{13}C$ 值的比较

广东连州自然分布的南方红豆杉、半枫荷和金荞麦的根、茎和叶片及根际土壤和岩石中 $\delta^{13}C$ 值的比较结果见图 2。

由图 2 可见: 3 种植物根、茎、叶片及根际土壤和岩石的 $\delta^{13}C$ 值总体上有较大差异, 其中, 半枫荷和金荞麦根际土壤和岩石的 $\delta^{13}C$ 值以及南方红豆杉根际土壤的 $\delta^{13}C$ 值均高于植株的不同部位。从同种植物的不同部位看, 供试 3 种植物叶片的 $\delta^{13}C$ 值均最低, 其中, 半枫荷和金荞麦的 $\delta^{13}C$ 值从根、茎、叶片依次降

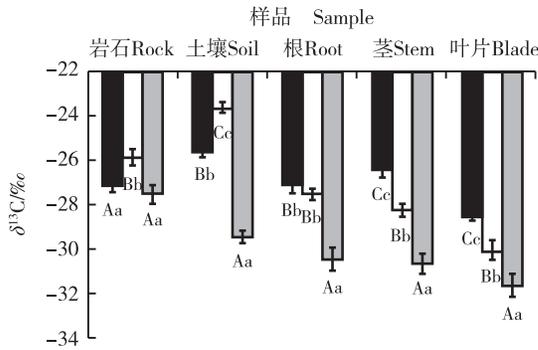


■: 南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lévl.) Cheng et L. K. Fu; □: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* Chang; ▨: 金荞麦 *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara. 不同的大写和小写字母分别表示不同植物间同类样品的 C:N 比差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$)。Different capitals and lowercases indicate the extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$) differences of C:N ratio of the same type of sample among different plants, respectively.

图 1 广东连州自然分布的 3 种植物根、茎和叶片及根际土壤和岩石中 C:N 比的比较 ($n=3$)

Fig. 1 Comparison on C:N ratio of root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock of three plants naturally distributed in Lianzhou of Guangdong ($n=3$)

低,而南方红豆杉的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则从茎、根、叶片依次降低。而土壤与岩石相比,南方红豆杉和半枫荷根际土壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均高于岩石,而金荞麦根际土壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则低于岩石。总体上看,由于植物叶片的光合作用,导致 ^{13}C 分馏,使得植物根、茎和叶片各器官的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均低于根际土壤或岩石。



■: 南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lévl.) Cheng et L. K. Fu; □: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* Chang; ▨: 金荞麦 *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara. 不同的大写和小写字母分别表示不同植物间同类样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$)。Different capitals and lowercases indicate the extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$) differences of $\delta^{13}\text{C}$ value of the same type of sample among different plants, respectively.

图2 广东连州自然分布的3种植物根、茎和叶片及根际土壤和岩石中 $\delta^{13}\text{C}$ 值的比较 ($n=3$)

Fig. 2 Comparison on $\delta^{13}\text{C}$ value of root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock of three plants naturally distributed in Lianzhou of Guangdong ($n=3$)

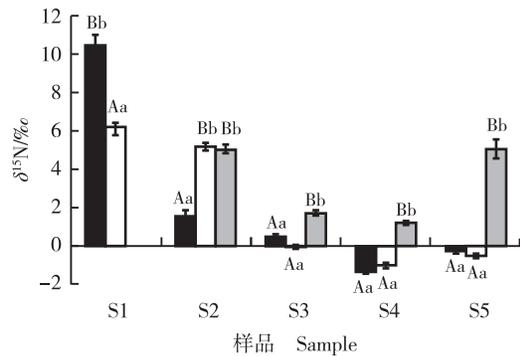
从不同种类的比较结果(图2)可见:3种植物茎和叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均有极显著差异,且南方红豆杉茎和叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均最大;南方红豆杉和半枫荷根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值无显著差异,但二者均极显著高于金荞麦;半枫荷根际土壤和岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均极显著高于南方红豆杉和金荞麦,而南方红豆杉和金荞麦根际土壤的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也有极显著差异,但二者岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异不显著。整体上看,金荞麦植株不同部位及根际土壤和岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均低于另2种植物。

2.5 3种植物不同部位及根际土壤和岩石中 $\delta^{15}\text{N}$ 值的比较

广东连州自然分布的南方红豆杉、半枫荷和金荞麦的根、茎和叶片及根际土壤和岩石中 $\delta^{15}\text{N}$ 值的比较结果见图3。

由图3可见:3种植物根、茎、叶片及根际土壤和岩石的 $\delta^{15}\text{N}$ 值总体上差异较大,其中,金荞麦叶片和根际土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值明显高于其根和茎;而南方红豆杉

和半枫荷根际土壤和岩石的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于各自的根、茎和叶片。从同种植物的不同部位看,金荞麦叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最高,而南方红豆杉和半枫荷均为根的 $\delta^{15}\text{N}$ 值最高,三者茎的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均最低。而土壤与岩石相比,南方红豆杉和半枫荷根际土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均低于岩石。整体上看,除金荞麦叶片外,3种植物各部位的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均低于其生境的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,其中,南方红豆杉植株各部位的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与其生境的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异明显。



■: 南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lévl.) Cheng et L. K. Fu; □: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* Chang; ▨: 金荞麦 *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara. S1: 岩石 Rock; S2: 土壤 Soil; S3: 根 Root; S4: 茎 Stem; S5: 叶片 Blade. 不同的大写和小写字母分别表示不同植物间同类样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$)。Different capitals and lowercases indicate the extremely significant ($P < 0.01$) and significant ($P < 0.05$) differences of $\delta^{15}\text{N}$ value of the same type of sample among different plants, respectively.

图3 广东连州自然分布的3种植物根、茎和叶片及根际土壤和岩石中 $\delta^{15}\text{N}$ 值的比较 ($n=3$)

Fig. 3 Comparison on $\delta^{15}\text{N}$ value of root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock of three plants naturally distributed in Lianzhou of Guangdong ($n=3$)

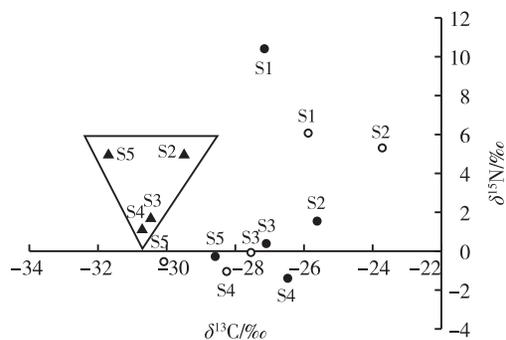
从不同种类的比较结果(图3)可见:与N含量的差异状况相似,金荞麦根、茎和叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 值也均极显著高于南方红豆杉和半枫荷,而后者间根、茎和叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 值无显著差异;金荞麦和半枫荷根际土壤的 $\delta^{15}\text{N}$ 值无显著差异,但均极显著高于南方红豆杉;此外,南方红豆杉生境岩石的 $\delta^{15}\text{N}$ 值则极显著高于半枫荷。

2.6 3种植物不同部位及根际土壤和岩石中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的散点图分析

以广东连州自然分布的南方红豆杉、半枫荷和金荞麦植株不同部位及根际土壤和岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为横坐标,以各样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为纵坐标绘制散点图,结果见图4。其中,金荞麦生境岩石的 $\delta^{15}\text{N}$ 值未检出,故缺失其数据点。

由图4可见:金荞麦各样品的数据点远离南方红豆杉和半枫荷(见图中的三角框部分),而南方红豆杉与半枫荷各样品的数据点互相交错,表明南方红豆杉与半枫荷在生态位方面较相似,但与草本植物金荞麦有较大差异。

由图4还可见:3种植物植株不同部位的数据点均分布在各自的土壤和岩石样品数据点的左下侧,表明植物的光合作用对 ^{13}C 和 ^{15}N 均有分馏作用,光合作用途径不同则分馏程度不同,使各种类不同器官的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值不同程度降低。



●: 南方红豆杉 *Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemée et Lévl.) Cheng et L. K. Fu; ○: 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* Chang; ▲: 金荞麦 *Fagopyrum dibotrys* (D. Don) Hara. S1: 岩石 Rock; S2: 土壤 Soil; S3: 根 Root; S4: 茎 Stem; S5: 叶片 Blade.

图4 广东连州自然分布的3种植物根、茎和叶片及其根际土壤和岩石中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的散点图

Fig. 4 Scatter diagram of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of root, stem and blade, and rhizosphere soil and rock of three plants naturally distributed in Lianzhou of Guangdong

3 讨 论

从C代谢途径看,陆生植物主要包括 C_3 和 C_4 植物2种类型。据报道,中国分布的478种 C_3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-33.50\text{‰} \sim -22.00\text{‰}$ (平均 -27.10‰)^[16],北方黄土区 C_4 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-10.5\text{‰} \sim -14.6\text{‰}$ (平均 -12.6‰)^[17]。本研究中,南方红豆杉不同部位的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-28.59\text{‰} \sim -26.46\text{‰}$ (平均 -27.39‰),半枫荷为 $-30.08\text{‰} \sim -27.52\text{‰}$ (平均 -28.62‰),金荞麦为 $-31.69\text{‰} \sim -30.44\text{‰}$ (平均 -30.94‰),均符合 C_3 植物特征。

叶片是对植物营养状况最敏感的器官,其营养动态变化可实时反映植物的养分状况。因植物叶片在光合作用过程中对 $\delta^{13}\text{C}$ 有分馏作用,因此, $\delta^{13}\text{C}$ 值可用

于评估植物体内营养及水分利用效率状况。冯虎元等^[18]认为,生境中光照条件或郁闭度的变化可影响叶片的气孔导度、向光性、叶绿素分布、光合作用羧化酶活性以及其他与光合作用相关的过程,进而影响植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。本研究中,除岩石样品外,金荞麦其他样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均极显著低于南方红豆杉和半枫荷。金荞麦为多年生草本植物,靠地下茎过冬,且生长于路旁开阔地,光照充分;而南方红豆杉和半枫荷均为乔木,生长在有一定郁闭度的森林内,光照度相对较低,生境中不同的光照条件是导致金荞麦与南方红豆杉和半枫荷的 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在差异的主要原因之一。此外,植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也受土壤含水量、气温、空气相对湿度、光照和大气 CO_2 浓度等环境因子的影响,即 C_3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值因受环境变化以及植物生理调节和响应的影响,在个体、种类和群落之间存在较大变异。

叶片的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在很大程度上也受植物生境的影响,并在一定时间和空间上揭示出与植物生理生态过程相关的气候环境信息^[19]。植物组织中 $\delta^{15}\text{N}$ 同位素比率与气候因子、土壤类型和有机物 $\delta^{15}\text{N}$ 值、N同化和N有效性密切相关^[20]。例如,在珠江口红树林湿地中,盐度高的珠海淇澳岛底泥的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于盐度低的广州南沙底泥,表明不同生境中的底泥相应值有显著差异^[2];外来植物无瓣海桑(*Sonneratia apetala* Buch.-Ham.)、互花米草(*Spartina alterniflora* Lois.)和拉关木[*Laguncularia racemosa* (Linn.) Gaertner f.]的根、茎和叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于本地红树植物桐花树[*Aegiceras corniculatum* (Linn.) Blanco]和卤蕨(*Acrostichum aureum* Linn.),体现出不同植物在同一生境下 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的差异^[2]。本研究中,金荞麦与南方红豆杉和半枫荷的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间的差异,也可能是生境因子(光照和土壤等)和植物自身差异的综合体现。

$\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 值散点图可用于表示不同生物在生态系统食物网结构中的营养生态位,能够在一定程度上体现不同生物各自的生态位宽度^[21]。不同生活型植物(草本植物金荞麦与木本植物南方红豆杉和半枫荷)可能因生境中光照强度等环境因子的差异,在生态位或营养元素(C、N等)的利用上差异显著,其生境土壤中不同营养元素的相关指标也有较大差别。由此可见,对于珍稀濒危植物而言,生境保护对于植物个体生存及种群规模发展均极为重要。此外,相似生活型的植物(如南方红豆杉和半枫荷)在生态适应

性方面较为一致,导致这些植物体内 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化的机制可能为:1)生境因子(光照、土壤因子等)通过叶片对稳定性同位素的分馏作用影响植物体内的 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 值;2)植物体内的主动运输过程导致不同种类间或同种植物不同器官间产生了稳定性同位素的分异。

由于未能对3种植物生境的温度、湿度和降水量等生态因子进行跟踪监测,因此,无法分析3种植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值与环境因子的具体相关性,该项工作可作为今后研究探索的方向之一。

致谢:中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室谢露华博士为本研究进行了各样品的分析测定,谨此表示感谢!

参考文献:

- [1] 林光辉. 稳定同位素生态学: 先进技术推动的生态学新分支[J]. 植物生态学报, 2010, 34(2): 119-122.
- [2] MIAO S Y, LONG L D, TAO W Q, et al. Composition of stable carbon and nitrogen isotopes in five wetland plants and sediments from the Pearl River estuary, South China [J]. Chemistry and Ecology, 2016, 32: 609-623.
- [3] 于永福. 中国野生植物保护工作的里程碑:《国家重点保护野生植物名录(第一批)》出台[J]. 植物杂志, 1999(5): 3-11.
- [4] WU M B, ZHANG F F, YU Z P, et al. Chemical characterization and *in vitro* antitumor activity of a single-component polysaccharide from *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 133: 294-301.
- [5] ZHAO C J, LI Z, LI C Y, et al. Optimized extraction of polysaccharides from *Taxus chinensis* var. *mairei* fruits and its antitumor activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 75: 192-198.
- [6] ZHAO C J, HE X, LI C Y, et al. A microwave-assisted simultaneous distillation and extraction method for the separation of polysaccharides and essential oil from the leaves of *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. Applied Sciences, 2016, 6: 19.
- [7] 肖 遥, 楚秀丽, 尹增芳, 等. 不同产地南方红豆杉各家系幼苗生长、光合生理与株高生长节律的差异分析[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(1): 34-42.
- [8] 刘艳艳, 林 晗, 巢 林, 等. 不同林龄南方红豆杉人工林细根结构及 C 和 N 含量比较与相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(3): 8-14.
- [9] 曹展波, 林小凡, 杨 桦, 等. 半枫荷实生苗生长规律及培育技术[J]. 南方林业科学, 2015, 43(5): 18-21.
- [10] 陈家标. 半枫荷扦插育苗技术[J]. 亚热带植物科学, 2015, 44(3): 345-348.
- [11] 王满莲, 白坤栋, 孔德鑫, 等. 种苗级别对半枫荷生长发育的影响[J]. 种子, 2016, 35(2): 69-72.
- [12] 卢海啸, 吴卓玲, 梁伟江, 等. 半枫荷根的化学成分研究[J]. 中药材, 2015, 38(12): 2543-2546.
- [13] 孙 静, 郑雪凌, 崔向珍, 等. 半枫荷抗乙型肝炎病毒的药理活性研究[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(10): 2391-2393.
- [14] 焦连魁, 曾 燕, 赵润怀, 等. 金荞麦资源研究进展[J]. 中国现代中药, 2016, 18(4): 519-525.
- [15] 缪绅裕, 黄金玲, 唐志信, 等. 广东连州田心保护区珍稀濒危保护植物研究[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2013, 12(5): 29-34.
- [16] 任书杰, 于贵瑞. 中国区域 478 种 C_3 植物叶片碳稳定性同位素组成与水分利用效率[J]. 植物生态学报, 2011, 35(2): 119-124.
- [17] 王国安, 韩家懋, 周力平, 等. 中国北方黄土区 C_4 植物稳定碳同位素组成的研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(12): 1174-1179.
- [18] 冯虎元, 安黎哲, 王勋陵. 环境条件对植物稳定碳同位素组成的影响[J]. 植物学通报, 2000, 17(4): 312-318.
- [19] 刘艳杰, 许 宁, 牛海山. 内蒙古草原常见植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 对环境因子的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(1): 235-243.
- [20] ROBINSON D. $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycles [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2001, 16: 153-162.
- [21] LAYMAN C A, ARRINGTON D A, MONTAÑA C G, et al. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? [J]. Ecology, 2007, 88: 42-48.

(责任编辑: 郭严冬)