

罗绪强,张桂玲,阮英慧,等. 雷公山自然保护区常见植物叶片营养元素含量及其化学计量特征[J]. 江苏农业科学,2019,47(11):309-312.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.11.070

雷公山自然保护区常见植物叶片营养元素含量及其化学计量特征

罗绪强^{1,2}, 张桂玲^{2,3}, 阮英慧¹, 刘兴^{1,2}, 杨鸿雁¹, 郑延丽¹

(1. 贵州师范学院地理与资源科学学院, 贵州贵阳 550018; 2. 中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州普定 562100;

3. 贵阳学院化学与材料工程学院, 贵州贵阳 550005)

摘要:为探讨自然保护区森林生态系统植物营养状况,以雷公山自然保护区森林生态系统 5 种常见植物为研究对象,分别对其叶片 6 种大量必需营养元素(N、S、P、K、Ca、Mg)含量进行了测定分析。结果表明,植物叶片元素含量 > 10 mg/g 的有 N、K 和 Ca,元素含量在 > 5 ~ 10 mg/g 的有 S,元素含量在 1 ~ 5 mg/g 的有 P 和 Mg,属 Ca > K > Mg 型。这些元素中,除 P 外均高于已报道的陆生高等植物所需元素的合适组织浓度,但仍全部处于世界陆生维管植物元素平均含量范围内。研究区植物具有低 P 和高 S、Ca 特点,大白杜鹃、合轴荚蒾、木姜子、中华卫矛、湖南悬钩子均属 P 制约型植物,Mg、N、Ca 含量在植物种间存在显著差异($P < 0.05$)。N 和 P、N 和 K、P 和 Ca、K 和 Ca 含量之间均具有显著或极显著正相关关系。各营养元素含量的频数分布均呈正偏态分布。元素化学计量比值、变异系数和相关性分析结果说明植物体内各必需营养元素含量均较稳定,且元素间具有一定的比例组成和协调关系,这是植物对所在生境长期适应的结果。

关键词:自然保护区;森林生态系统;营养元素;化学计量比

中图分类号: S182;S718.55 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)11-0309-04

植物体内营养元素含量的高低不仅反应其生长环境的肥力状况,而且与整个生态系统的生产力和营养元素循环密切相关^[1-4]。植物各器官在植物生长过程中所起的作用不同,因而在元素含量上有明显的差异^[5]。植物叶片作为同化器官,其生命活动最为活跃^[6]。植物叶片营养特征是其代谢类型和所处环境情况的反映,被认为最能反映植物的营养利用策略以及植物对元素的吸收和累积特点^[7-10]。对植物叶片营养元素含量状况的研究是诊断植物营养水平、确定土壤养分供给状况和研究生态系统营养元素生物地球化学循环的基础^[11]。

森林生态系统是陆地生态系统中稳定性最大以及功能最完善的一类生态系统^[12-13]。植物必需元素缺乏和有毒元素累积,都会对植物正常生长和森林健康产生严重影响^[14]。本研究以雷公山自然保护区森林生态系统 5 种常见植物为研究对象,分别对其叶片营养元素含量进行了测定分析,以期探讨自然保护区森林生态系统植物叶片营养元素含量状况,为自然保护区森林生态系统的经营与管理、生物多样性保护和退化生态系统的恢复与重建提供科学依据和数据支持。

收稿日期:2018-01-29

基金项目:国家自然科学基金(编号:41563007);贵州省优秀科技教育人才省长资金(编号:黔省合专字[2012]80号);贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金(编号:黔科合人字[2015]21号);贵州省高层次创新型人才资金(编号:黔人领发[2015]3号);贵州省高层次人才科研条件特助经费项目(编号:TZJF2010年065号)。

作者简介:罗绪强(1976—),男,贵州绥阳人,博士,教授,主要从事生态环境地球化学研究。E-mail:xuqiangluo@163.com。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

雷公山国家级自然保护区位于贵州省黔东南州境内,地跨雷山、榕江、剑河、台江四县(108°5′~108°24′E,26°15′~26°32′N),是长江水系与珠江水系的分水岭、清水江和都柳江主要支流的发源地。保护区南北长约 30 km、东西宽约 15 km,总面积 47 300 hm²,是一个典型的山地环境,最高峰雷公山海拔 2 178.8 m,最低处小丹江谷地海拔 650 m。该区属中亚热带季风山地湿润气候区,具有冬无严寒、夏无酷暑、雨量充沛等气候特点。年平均气温为 14.3℃,7 月平均气温 23.5℃,1 月平均气温 3.6℃,≥10℃积温 4 110℃;年降水量 1 300~1 600 mm,主要集中在 4—9 月,约占全年降水总量的 80%。

保护区主要基底构造层形成于雪峰期,岩性主要为板岩、粉砂质板岩、夹变余砂岩和变余凝灰岩。下部有千枚状钙质板岩和团块状大理岩,中上部有大量复理石韵律发育良好的凝灰岩,出露岩层为板溪群浅变质绢云母板岩及变质砂岩类,是典型的非喀斯特地区^[15]。土壤呈酸性,质地良好,土壤有机质含量达 5% 以上^[16]。植被属地带性植被,垂直分带明显,共有高等植物 2 582 种^[17]。森林覆盖率 85% 以上,较好地保存了中亚热带森林生态系统的原始面貌^[16,18-19]。

1.2 样品采集

样品采集于植物生长季内的 8 月中旬。在雷公山国家级自然保护区主峰地段(海拔 2 050~2 100 m)选取频繁出现的大白杜鹃(*Rhododendron decorum* Franch.)、合轴荚蒾(*Viburnum sympodiale* Graebn.)、木姜子(*Litsea pungens*

Hemsl.)、中华卫矛(*Euonymus nitidus* Benth)、湖南悬钩子(*Rubus hunanensis* Hand. – Mazz.)等 5 种植物为研究对象,采集样品时,每种植物选择 3 株成熟、健康、长势(株高、茎粗、叶子的大小与疏密程度等)基本一致的植株,采集植株中上层东、南、西、北共 4 个方向的成熟叶片(不包括叶柄),不同方位叶片混合成一个样装入干净透气信封,每种植物 3 个重复。叶片采集后带回实验室,分别用自来水充分冲洗以去除粘附的泥土和污物,再用去离子水冲洗干净,之后放入烘箱中于 105 ℃杀青,再置于 70 ℃左右烘干至恒质量,烘干后的样品用不锈钢植物粉碎机粉碎,过筛(筛孔直径 0.149 mm),样品封存于密封袋内干燥保存,备用。

1.3 测定方法

待测样品经混合酸(HNO₃ – HF)消解后,用电感耦合等离子体发射光谱仪(Vista MPX 2000, Varian Inc. Palo Alto, State of California, USA)测定 Ca 和 Mg 含量,用原子吸收分光光谱仪(PE – 5100 – PC AAS, Perkin Elmer Inc. Waltham, Massachusetts, USA)测定 K 含量,用钼锑抗分光光度法测定 P 含量,用元素分析仪(PE2400 – II)测定 N 和 S 含量。以植物成分分析标准物质 GBW07604(GSV – 3)杨树叶作质量控制,标样元素含量测定结果均在标准值范围内。各项测定值均为植物干物质的元素总量。

1.4 数据处理

植物叶片元素含量采用质量含量,元素比值采用质量比。采用 Microsoft Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 19 软件对数据进行处理和统计分析。统计分析包括描述性统计分析

(Descriptive Statistics)、单因素方差分析(Compare Means)及相关分析(Correlate)等。

2 结果与分析

2.1 植物叶片营养元素含量水平特征

从表 1 可以看出,雷公山国家级自然保护区主峰地段 5 种常见植物叶片 6 种大量必需营养元素中,平均含量在 10 mg/g 以上的元素有 N、K、Ca, >5 ~ 10 mg/g 的元素有 S,在 1 ~ 5 mg/g 的元素有 P 和 Mg;各营养元素含量从高到低为 N > Ca > K > S > Mg > P,属于 Ca > K > Mg 型,这与茂兰喀斯特森林常见钙生植物叶片元素含量特征相同^[11]。

与世界陆生维管植物元素平均含量范围相比较^[20],雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片 N、P、K、Ca、Mg、S 共 6 种大量必需营养元素含量均在正常范围内(表 1)。但与世界陆生高等植物所需元素的合适组织浓度平均值相比较^[6],发现该 6 种大量必需元素中,除 P 外均高于已报道的陆生高等植物所需元素的合适组织浓度,与茂兰喀斯特森林国家级自然保护区常见钙生植物相比较^[11],雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中的 Ca、Mg 含量明显低于茂兰喀斯特森林国家级自然保护区常见钙生植物叶片中的 Ca、Mg 含量,P 含量明显高于茂兰喀斯特森林常见钙生植物叶片中的 P 含量,而 N、S、K 含量在 2 个自然保护区常见植物叶片中的含量基本相当。植物叶片元素含量的这种特征,除与植物本身的遗传学特性有关外,主要受土壤和气候等生境条件的影响,也是植物对所在生境长期适应的结果。

表 1 雷公山自然保护区常见植物叶片营养元素含量

元素	含量(mg/g)						陆生维管植物范围 ^[20]	高等植物所需 ^[6]	茂兰钙生植物 ^[11]
	最大值	最小值	中值	平均值	标准偏差				
N	36.89	17.17	23.69	25.75	5.90	12.00 ~ 75.00	15.00	27.07	
S	11.61	6.02	7.20	7.62	1.40	0.60 ~ 16.00	1.00	9.12	
P	2.49	0.87	1.34	1.45	0.42	0.12 ~ 10.00	2.00	1.11	
K	16.91	5.73	11.03	11.65	3.41	1.00 ~ 68.00	10.00	10.22	
Ca	39.09	9.97	15.85	18.03	7.17	0.40 ~ 50.00	5.00	25.64	
Mg	8.75	1.90	3.84	3.92	1.86	0.70 ~ 9.00	2.00	4.78	

2.2 植物叶片营养元素含量变异特征

从表 2 中的偏度和峰度值可以看出,雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中的 N、P、K、Ca、Mg、S 含量均呈正偏态分布。从变异系数来看,从大到小的顺序为 Mg > Ca > K > P > N > S,最大变异系数小于 50%。从元素含量的最大值与最小值之比来看,从大到小的顺序与变异系数从大到小的顺序一致,且最大值与最小值之比均小于 5。元素含量的最大值与最小值之比和变异系数具有一致的变化特征且在数值上均较小,表明研究区常见植物中的各营养元素含量均较稳定。

2.3 不同种植物营养元素含量特征

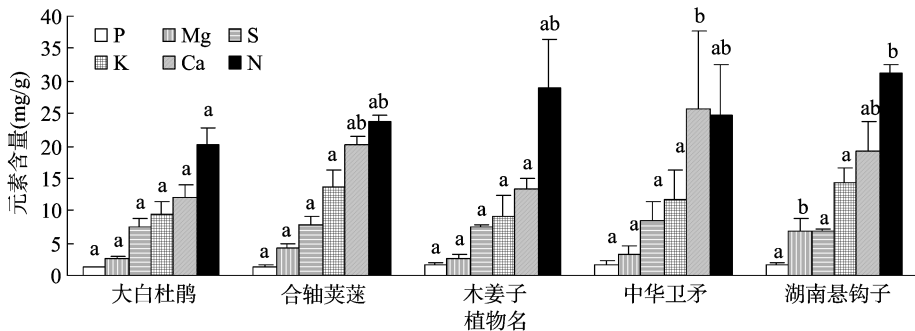
植物叶片元素含量不但受生境条件的影响,也受树种本身生物学特性的影响,即使生长在相同生境条件下,不同树种对相同元素的吸收仍可能存在较大差异^[14]。从图 1 可以看出,元素 N、P 在不同种植物叶片中的含量均表现为湖南悬钩子 > 木姜子 > 中华卫矛 > 合轴荚蒾 > 大白杜鹃,元素 K 表现

表 2 雷公山自然保护区常见植物叶片营养元素含量变异特征

元素	最大值/最小值	变异系数(%)	偏度	峰度
N	2.15	22.91	0.50	-0.89
S	1.93	18.42	1.74	3.89
P	2.88	29.07	1.25	1.50
K	2.95	29.31	0.08	-0.79
Ca	3.92	39.79	1.88	4.81
Mg	4.61	47.45	1.40	2.14

为湖南悬钩子 > 合轴荚蒾 > 中华卫矛 > 大白杜鹃 > 木姜子,元素 Mg 表现为湖南悬钩子 > 合轴荚蒾 > 中华卫矛 > 木姜子 > 大白杜鹃,元素 Ca 表现为中华卫矛 > 合轴荚蒾 > 湖南悬钩子 > 木姜子 > 大白杜鹃,元素 S 表现为中华卫矛 > 合轴荚蒾 > 大白杜鹃 > 木姜子 > 湖南悬钩子。

经单因素方差和多重比较分析结果表明,雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中的 Mg 含量在湖南悬钩



相同营养元素柱上不同小写字母表示该元素含量在种间差异显著 ($P < 0.05$)

图1 不同种植物营养元素含量特征

子与其他 4 种植物间存在显著差异 ($P < 0.05$), N 含量在大白杜鹃与湖南悬钩子间存在显著差异 ($P < 0.05$), Ca 含量在中华卫矛与大白杜鹃、木姜子间存在显著差异 ($P < 0.05$), 而 P、K、S 含量在 5 种植物叶片中的含量差异均不显著。

2.4 植物营养元素含量间的化学计量关系

植物体内的正常代谢要求各元素按一定的比例关系吸收利用,并在体内保持相对平衡,元素的供应过量或不足以及气候的差异都有可能改变这种平衡^[21-25]。对陆地生态系统的高等植物而言,当 N/P 比值 > 16 时,说明植物生长受到 P 含量的限制,当 N/P 比值 < 14 时,植物生长受到 N 含量的限制,而当 N/P 比值在 14 ~ 16 之间时, N 与 P 单独或共同影响植物的生长^[8,22-23,26]。由表 3 可看出,研究区 5 种常见植物叶片 N/P 比值均大于 16,全部属于 P 制约型植物。

陆地生态系统植物营养元素的相对丰度控制着生态系统的营养元素循环和能量流动速度,植物具有可伸缩性地调整营养元素化学计量比值适应环境变化的能力^[9,27-28]。植物营养元素化学计量比值波动的影响不仅来源于化学计量元素本身相对可利用性的变化,也来源于其他营养元素化学计量的

变化^[9,11,29]。由表 3 可看出,雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中的 N/P、S/P、N/K、S/Mg、K/P、Ca/P、Mg/P、Ca/K、Ca/Mg 比值平均值均高于世界陆生高等植物对应元素含量间的比值,而 N/S、N/Ca、N/Mg、K/S、Ca/S、K/Mg 比值平均值均低于世界陆生高等植物对应元素含量间的比值^[6],其中,高出 10 倍以上的有 S/P 比值,高出 5 倍左右的有 Ca/P、S/Mg 比值,高出 2 倍以上的有 N/P、Mg/P、Ca/K 比值, Ca/Mg 比值也高出近 2 倍,而 N/S、K/S 比值仅为已报道的陆生高等植物对应元素含量间比值的 20% 左右, N/Ca、Ca/S、K/Mg 比值也仅为已报道的陆生高等植物对应元素含量间比值的 50% 左右。此外,由表 3 还可看出,尽管不同植物各营养元素化学计量比值均有一定差异,但变异系数相对来说都比较小,最大变异系数不足 40%,说明这些营养元素之间基本上是比较协调的^[8,11,24]。研究区植物叶片营养元素间的这种化学计量比值变化关系,体现了植物存在 P 营养供应不足而 S、Ca 营养过量的环境特征,同时也反映了该区植物为适应这种特殊环境而具备的调整元素平衡的能力。

表 3 雷公山自然保护区常见植物叶片中营养元素含量间的比值

植物名	N/P	N/S	S/P	N/K	N/Ca	N/Mg	S/Mg	K/P	K/S	Ca/P	Mg/P	Ca/S	Ca/K	K/Mg	Ca/Mg
大白杜鹃	16.78	2.66	6.30	2.11	1.68	7.84	2.94	7.94	1.26	9.98	2.14	1.58	1.26	3.71	4.66
合轴荚蒾	17.43	3.02	5.78	1.75	1.17	5.60	1.86	9.98	1.73	14.89	3.11	2.58	1.49	3.21	4.78
木姜子	18.15	3.86	4.70	3.14	2.18	11.00	2.85	5.78	1.23	8.31	1.65	1.77	1.44	3.50	5.04
中华卫矛	16.57	2.96	5.60	2.14	0.97	7.35	2.48	7.76	1.39	17.11	2.25	3.05	2.20	3.44	7.59
湖南悬钩子	19.61	4.56	4.30	2.18	1.63	4.60	1.01	8.99	2.09	12.00	4.26	2.79	1.33	2.11	2.82
平均值	17.71	3.41	5.33	2.26	1.53	7.28	2.23	8.09	1.54	12.45	2.68	2.35	1.54	3.19	4.98
标准偏差	1.23	0.78	0.82	0.52	0.48	2.46	0.80	1.57	0.37	3.57	1.03	0.64	0.38	0.63	1.71
变异系数(%)	6.94	22.88	15.30	22.98	31.14	33.76	36.07	19.40	23.75	28.69	38.28	27.38	24.58	19.81	34.26
陆生高等植物 ^[6]	7.50	15.00	0.50	1.50	3.00	7.50	0.50	5.00	10.00	2.50	1.00	5.00	0.50	5.00	2.50

2.5 植物营养元素含量间的相关性分析

植物组织中有些营养元素的含量变化与其他营养元素有紧密的联系^[9],通过对植物组织中营养元素含量的相关分析,探讨植物的选择性吸收功能及元素的生物地球化学特征^[8]。由表 4 可见,研究区常见植物叶片营养元素中, N 与 K、P 与 Ca、K 与 Ca 之间均具有显著正相关关系 ($P < 0.05$), N 与 P 之间的相关性达极显著水平 ($P < 0.01$)。这种植物营养元素间的相关性是因为它们享有功能上的相似性或化学行为相似性的缘故^[29],说明植物体内这些元素之间具有一定的比例组成和协调关系。

3 结论

雷公山国家级自然保护区主峰地段常见植物叶片中各营养元素含量从高到低的顺序为 $N > Ca > K > S > Mg > P$, 属 $Ca > K > Mg$ 型。除 P 外,各元素含量均高于已报道的陆生高等植物所需元素的合适组织浓度,但仍全部处于世界陆生维管植物对应元素的平均含量范围内。

研究区大白杜鹃、合轴荚蒾、木姜子、中华卫矛、湖南悬钩子均属 P 制约型植物,具有低 P 和高 S、Ca 的特点。Mg、N、Ca 含量在植物种间存在显著差异 ($P < 0.05$)。植物叶片营养元

表 4 雷公山自然保护区常见植物叶片中 6 种营养元素含量之间的相互关系

元素	相关系数				
	N	S	P	K	Ca
S	-0.199				
P	0.774 **	-0.349			
K	0.556 *	0.093	0.408		
Ca	0.336	-0.082	0.641 *	0.557 *	
Mg	0.377	-0.388	0.319	0.495	0.428

注：* 表示在 0.05 水平(双侧)显著相关,** 表示在 0.01 水平(双侧)极显著相关。

素含量在 N 与 P、N 与 K、P 与 Ca、K 与 Ca 之间均具有显著或极显著正相关关系。N、P、K、Ca、Mg、S 各营养元素在植物叶片中的含量均较稳定,且元素间具有一定的比例组成和协调关系。

参考文献:

[1]Hagen-Thorn A, Stjernquist I. Micronutrient levels in some temperate European tree species: a comparative field study [J]. Trees,2005,19(5):572-579.

[2]张希彪,上官周平. 黄土丘陵区主要林分生物量及营养元素生物循环特征[J]. 生态学报,2005,25(3):527-537.

[3]Raddad E Y, Luukkanen O, Salih A A, et al. Productivity and nutrient cycling in young Acacia Senegal farming systems on Vertisol in the Blue Nile region, Sudan [J]. Agroforestry Systems,2006,68(3):193-207.

[4]Clark C M,Tilman D. Loss of plant species after chronic low-level nitrogen deposition to prairie grasslands [J]. Nature,2008,451(7179):712-715.

[5]陈玉娟,管东生. 广州城市公园若干森林群落重金属的贮存与分布[J]. 中山大学学报(自然科学版),1998,37(增刊2):162-166.

[6]泰兹,奇格尔,宋纯鹏. 植物生理学[M]. 4版.北京:科学出版社,2009:60-127.

[7]Grubb P J, Turner I M, Burslem D P. Mineral nutrient status of coastal hill dipterocarp forest and adinandra belukar in Singapore: analysis of soil, leaves and litter [J]. Journal of Tropical Ecology,1994,10(4):559-577.

[8]管东生,罗琳. 海南热带植物叶片化学元素含量特征[J]. 林业科学,2003,29(2):28-32.

[9]朴河春,刘丛强,朱书法,等. 贵州石灰岩和砂岩地区 C₄ 和 C₃ 植物营养元素的化学计量对 N/P 比值波动的影响[J]. 第四纪研究,2005,25(5):552-560.

[10]刘千里,徐雪梅,刘兴良,等. 卧龙巴郎山川滇高山栎叶片营养元素的海拔梯度变化特征[J]. 四川林业科技,2012,33(3):1-6.

[11]罗绪强,张桂玲,杜雪莲,等. 茂兰喀斯特森林常见钙生植物叶片元素含量及其化学计量学特征[J]. 生态环境学报,2014,23(7):1121-1129.

[12]张金池,严逸伦,曾锋. 重金属对森林生态系统效应的研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2001,25(5):52-56.

[13]黄益宗,朱永官. 森林生态系统镉污染研究进展[J]. 生态学报,2004,24(1):101-108.

[14]旷远文,温达志,闫俊华,等. 贵州普定喀斯特森林 3 种优势树种叶片元素含量特征[J]. 应用与环境生物学报,2010,16(2):158-163.

[15]敖子强,瞿丽雅,林文杰,等. 贵州鹿冲关和雷公山酸雨化学特征的对比研究[J]. 中国岩溶,2007,26(1):61-66.

[16]何建敏,王震洪. 雷公山灌木林群落结构及其优势种群特征关系研究[J]. 广东农业科学,2014,41(6):178-182.

[17]赵富伟,姚瑶,唐秀俊,等. 贵州雷公山地区苗族的酒曲植物[J]. 植物分类与资源学报,2014,36(2):261-266.

[18]陈志阳,杨宁,姚先铭,等. 贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局[J]. 生态学报,2012,32(7):2158-2165.

[19]王英,吴昌鞠,潘成坤. 贵州雷公山自然保护区现状及可持续发展研究[J]. 凯里学院学报,2016,34(6):130-131.

[20]鲍恩,崔仙舟. 元素的环境化学[M]. 北京:科学出版社,1986:71-73.

[21]莫江明,张德强,黄忠良,等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林植物营养元素含量分配格局研究[J]. 热带亚热带植物学报,2000,8(3):198-206.

[22]Gusewell S. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance [J]. New Phytologist,2004,164(2):243-266.

[23]Niklas K J, Cobb E D. N, P and C stoichiometry of (*Eranthis hyemalis* Ranunculaceae) and the allometry of plant growth [J]. American Journal of Botany,2005,92(8):1256-1263.

[24]秦海,李俊祥,高三平,等. 中国 660 种陆生植物叶片 8 种元素含量特征[J]. 生态学报,2010,30(5):1247-1257.

[25]洪江涛,吴建波,王小丹. 全球气候变化对陆地植物碳氮磷生态化学计量学特征的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2658-2665.

[26]Koerselman W, Meuleman A F. 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.

[27]王绍强,于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报,2008,28(8):3937-3947.

[28]苏凯文,陈路红,郑伟,等. 云南杨梅碳、氮、磷化学计量特征[J]. 植物生态学报,2017,41(1):136-146.

[29]Pugnaire F I. Variability of inorganic nutrient concentrations in leaves [J]. New Phytologist,2001,150(3):506-507.