

吕梁山区几种乔灌草植物的化学计量特征

曹远博¹, 王百田^{1,2}, 魏婷婷³, 迟璐¹, 陈志豪¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;

2. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 中国矿业大学(北京), 北京 100083)

摘要: 对元素的计量特征正确的解读能够促进人们对生态系统内 C、N、P 循环规律的理解。通过样地调查和样品采集, 测定了吕梁山区几种乔灌草植物以及枯枝落叶的碳、氮、磷含量, 系统分析了几种元素的计量规律。结果表明, 相同树种不同器官的相同元素含量存在差异性, 不同树种相同器官的相同元素含量存在差异性, 说明植物的遗传特性和各器官不同的功能决定着元素计量的差异性; 灌木各器官的相同元素存在极显著相关 ($p < 0.01$), 说明植物体各器官作为一个整体共同作用决定着元素的计量特征, 草本与灌木计量特征相似; C、N、P、C/N、C/P、N/P 与地区的环境因素相关: 坡度与 C 含量和 N/P 存在极显著负相关 ($p < 0.01$), 郁闭度仅与 C/P 存在显著相关 ($p < 0.05$), 海拔因素只与 N/P 不存在显著相关, 说明环境与植物的能量和物质流动影响着元素的计量特征。

关键词: 吕梁山区; 计量特征; 乔灌草植物

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)05-0290-05

中图分类号: S718.43

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.060

Stoichiometric Characteristics of Several Plants of Arbor, Shrub and Grass in Lüliang Mountainous Region

CAO Yuan-bo¹, WANG Bai-tian^{1,2}, WEI Ting-ting³, CHI Lu¹, CHEN Zhi-hao¹

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing

100083, China; 2. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 3. China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The correct interpretation of stoichiometric characteristics can promote the understanding of C, N, P circulating law within the ecosystem. Through sample plot survey and sample collection, the C, N and P content of several arbor, shrub, grass and litter were determined, and the element stoichiometric characteristics of several plants were systematically analyzed in Lüliang mountainous region. The results showed there were differences between the same element content of different organs of the same species, and also between the same element content of same organ of the different species. It indicated that the plant genetic characteristics and different function of organs determines the difference of stoichiometry. The same element of shrub's organs were significantly correlated, indicating that organs of plant individual decided collectively the stoichiometry. The stoichiometry of grasses was similar to shrubs. C, N, P content and the C/N, C/P, N/P ratio were significantly related to local environmental factors. Slope had a significantly negative relation on the content of C and N/P. Crown density was only significantly correlated to C/P ratio, and altitude factor was significantly correlated to all measurement indexes except of N/P, indicating that environment, energy and material flows of plant had an influence on stoichiometry.

Keywords: Lüliang mountainous region; stoichiometric characteristics; plants of arbor; shrub and grass

生态系统元素平衡已经成为当前全球变化生态学和生物地球化学循环的研究焦点和热点^[1]。作为

植物生长和各项生理活动必须的基本营养元素, 碳氮磷元素间存在着密切的关系^[2], 在循环过程中相互耦

收稿日期: 2013-09-15

修回日期: 2013-11-18

资助项目: 中国科学院战略先导专项“暖温带落叶阔叶混交林区域山西中部森林固碳现状、速率和潜力研究”(XDAO5050203-04-01)

作者简介: 曹远博(1986—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区昌吉州人, 博士研究生, 研究方向为水土保持和生态环境。E-mail: 411653109@qq.com。

通信作者: 王百田(1958—), 男(汉族), 陕西省富平县人, 硕士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态环境工程、林业生态工程、水土保持教学和科研工作。E-mail: wbaitian@bjfu.edu.cn。

合^[3]。C 代表了地球上所有生命形式的通用媒介,许多元素之间的交互作用都是通过 C 与其他养分的比值关系来进行调节的^[4],另外 C 是构成植物体内干物质的最主要元素。N 与植物的光合作用关联,P 与细胞的分裂生长等必要的生理活动紧密相关^[5]。植物的生长速度^[6]及其对氮磷的利用效率^[7]都与植物的 C:N 和 C:P 的比值相关,并且植物的生长受制于 N:P 的比值^[4,7]。

近年来,对陆地生态系统的研究表明:存在于在土壤、微生物、叶片等中的 C,N,P 元素间存在一定的比例关系,其原理与“Redfield 比例”^[8]相似。全球 C 和养分循环受生物的 C:N:P 化学计量的影响,生物量中 C 与不同养分的比值能够调控生态系统中有机的去向,从而影响生物圈中 C 的固定和消耗过程^[8]。韩文轩等^[9]首次对叶片与叶柄进行元素计量分析,表明不同器官和组织的元素分配存在较大的差异;王绍强等^[1]研究发现元素比率在不同器官的含量趋于一个定值,但是这个定值是浮动变化的;曾德慧等^[4]认为环境对有机体元素比值的影响很大,不同的地质、气候和生物等因素都会影响它。国内学者对元素计量特征的研究多集中在华北和东部沿海地区,并且很多学者都是对元素计量特征进行综述论述,但

实测数据匮乏,更乏学者对黄土高原地区的元素计量特征进行系统的分析。

本研究利用实测的乔木灌木的叶枝根,草本的根叶以及枯落物的全氮全磷和有机碳含量,考察山西吕梁方山县植物的 C,N,P 元素计量特征,希望能够为陆地生态系统的黄土高原地区的元素计量特征提供一些实测性的数据依据。

1 研究地概况

试验区地处山西省吕梁山西麓的方山县,地理坐标为北纬 37°36'58",东经 110°02'55",属暖温带大陆性季风气候,干燥度 1.3。冬春寒冷干燥,秋季凉爽少雨,无霜期 140 d^[10],年平均气温 7.3 °C,极端最高温 35.6 °C,极端最低温 -25.3 °C,平均 ≥ 10 °C 的活动积温为 2 819.7 °C。年平均降水量 416 mm,7—9 这 3 个月的降水占全年的 60%以上,年平均自由水面蒸发量 1 857.7 mm。土壤为黄绵土,质地均匀,为中壤质,由黄土母质直接发育形成,层次过渡不明显;母质层深厚,母质层(黄土层)厚度达 50—70 m。研究林为多年生人工林,无耕作,受人为扰动微弱,样地最低海拔为 1 312 m,最高海拔为 2 010 m。样地坡度为 1°~20°的缓坡,郁闭度为 0.3~0.7(表 1)。

表 1 样地土壤的物理和化学性质

有机碳含量/(g·kg ⁻¹)	全氮含量/(g·kg ⁻¹)	全磷含量/(g·kg ⁻¹)	碳密度/(kg·m ⁻²)	土壤容重/(g·cm ⁻³)	土壤 pH 值
1.2~33.8	0.4~5.6	0.04~0.69	4.7~58.4	1.04~1.45	7.9~8.3

2 研究方法

2.1 样品的采集和处理

2011 年 7 月上旬到 8 月中旬,在吕梁方山县共调查了 18 个 10 m×10 m 的样方,18 个 2 m×2 m 的样方,18 个 1 m×1 m 的样方。在每个 10 m×10 m 样方内分别采集乔木标准木的叶枝干根;在每个 10 m×10 m 样方的几何中心分别选取一个 2 m×2 m 的样方,采集灌木的叶枝根;在每个 10 m×10 m 样方内分别随机选取一个 1 m×1 m 的小样方采集草本植物的根叶和枯枝落叶(要求把整个 1 m×1 m 小样方内的枯枝落叶全部收集,混合均匀)。以上每项采集均有 3 个重复,每个样品重量为 300 g。样地内乔木主要有油松(*Pinus tobuliiformis*)、山杨(*Populus davidiana*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*);灌木主要有金银忍冬(*Lonicera maackii*)、绒毛绣线菊(*Spiraea velutina*)、华榛(*Corylus chinensis*);草本植物主要有画眉草(*Eragrostis pilosa*)、唐松草(*Thalictrum*

aquilegifolium var. *sibiricum*)、鸭跖草(*Commelina communis*)、白藜(*Chenopodium album*)。

选用油松和山杨作为研究对象,是因为这两种树种是研究区常见的树种,同样也是当地常用的造林树种,具有很强的代表性。

把采集所得样品及时密封送往实验室微波杀青,然后在 65 °C 恒温条件下烘干至恒重后,分别在粉碎机中粉碎后再次烘干至恒重。对元素含量测定参照文献方法^[3]。本文所指的碳氮磷分别为有机碳、全氮、全磷。

2.2 数据处理

把试验所得数据对数转换,使处理后的数据表现出更好的正态性^[9]。对所有植物和不同植物器官的 C,N,P 含量进行基本的统计分析;利用 SPSS 对不同植物和不同器官的元素含量求均值和标准差,并求出各个器官元素含量的比值,对相同植物不同器官碳氮磷含量做 Pearson 相关性分析、方差分析和 LSD 多重比较。

3 结果分析

3.1 油松和山杨的 C, N, P 总体特征和在各器官分配情况

测得此地区油松和山杨的 C, N, P 的均值分别为 46.92%, 0.61%, 0.19% 和 45.99%, 1.12%, 0.11%。

Levene 统计量方差齐次性检验结果显示 ($p < 0.05$): N, P 方差齐性, C 为方差非齐性。然后对山杨和油松的叶枝干根的 N, P 元素分别进行方差分析和 LSD 多重比较分析(图 1)。

山杨的 N 在不同器官中的分布存在显著差异性 ($p < 0.05$), 其在叶中的含量最大, P 在叶枝中的含量

显著高于根中的含量; 油松叶中的 N 含量远远大于在其他器官中的含量, P 在油松的各个器官分布较均匀, 没有显著性差异; 两种乔木比较: 油松中的 C, P 含量略高于山杨, 山杨中的 N 含量相对高于油松。

油松叶、枝、干、根的 C : N : P 的比分别为 278 : 7 : 1, 244 : 2 : 1, 229 : 2 : 1, 244 : 3 : 1; 山杨叶、枝、干、根的 C : N : P 的比分别为 302 : 8 : 1, 403 : 8 : 1, 464 : 4 : 1, 592 : 7 : 1。

山杨树干和油松树干中的有机碳含量存在显著差异, 山杨叶和油松叶、山杨枝和油松枝中的全氮含量存在显著差异, 山杨枝干根和油松枝干根相对应的全磷含量存在显著差异。

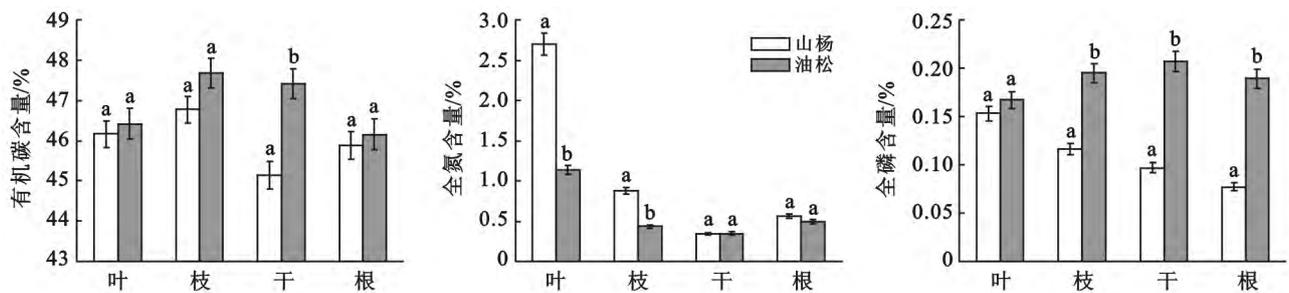


图 1 山杨、油松的叶枝干根有机碳、全氮、全磷含量差异性分析

注: 在 $p < 0.05$ 水平多重比较, 字母相同表示差异不显著, 字母不同表示差异显著。下同。

3.2 灌木、草本植物以及枯枝落叶 C, N, P 的化学计量学特征

3.2.1 灌木 C, N, P 的化学计量学特征 灌木是碳源的重要组成部分, 详细的研究灌木各器官的 C, N, P 的化学计量学特征能够为研究碳循环提供新的思考

方向。

对灌木和草本不同器官中的 C, N, P 进行方差分析和 LSD 多重比较分析, 发现灌木和草本 C 含量不存在显著差异, N 含量和 P 含量在不同器官中存在显著差异性(如表 2 所示)。

表 2 灌木和草本植物不同器官中 C, N, P 的分布

元素	元素含量/%				
	灌木叶	灌木枝	灌木根	草本叶	草本根
C	44.570±4.710a	45.280±3.716a	44.80±3.895a	44.870±3.455a	44.835±4.387a
N	2.494±1.246a	1.956±1.431b	1.09±0.771c	1.890±0.966b	1.667±1.130b
P	0.215±0.190a	0.119±0.083b	0.12±0.090b	0.207±0.157a	0.187±0.116a

试验中主要的灌木为金银忍冬、绒毛绣线菊、榛子, 灌木叶、枝、根各自的 C : N : P 值分别为: 208 : 10 : 1, 380 : 16 : 1, 363 : 11 : 1。在叶、枝、根中, 根中的 C : N 值最大, 枝中的 C : P 和 N : P 值都是最大。上官周平^[11]等在黄土高原地区对植物研究的结果 C : N : P 值为 340 : 16 : 1, 与此实验的结果比较, C : N 几乎一致, 叶的 C : P 值偏低, N : P 值偏低, 分析发现, 研究地灌木中磷含量稍高于黄土高原其他地区的磷含量。

由表 2 和表 3 可知, 灌木叶、枝、根的有机碳含量

均值分别为 44.57%, 45.29%, 44.84%, 叶、枝、根间的有机碳含量正相关, 并且在 0.01 水平(双侧)上极显著相关; 灌木叶、枝、根的全氮含量均值分别为 2.49%, 1.96%, 1.10%, 灌木叶、枝、根的全氮含量之间存在正相关, 且叶全氮和根全氮之间存在显著相关; 灌木叶、枝、根全磷含量分别为 0.215%, 0.119%, 0.124%, 叶中的全磷量最高, 灌木叶、枝、根全磷的含量正相关, 叶全磷和根全磷, 枝全磷和根全磷在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

研究发现, 在不同样地之间灌木叶、枝、根的全氮

含量存在着显著的差异性;同一样地不同灌木器官间的全氮含量间也存在着相关性。全磷含量变化与全氮一样,说明不同土壤的养分差异决定了植物在元素

累积中的差异;在同一样地不同器官间的元素含量之所以存在相关性,是因为元素在植物体内存在着运输和分配^[1]。

表 3 灌木叶枝根有机碳、全氮、全磷含量的 Pearson 相关性

相关性	A/B	A/C	B/C	D/E	D/F	E/F	G/H	G/I	H/I
Pearson 相关性	0.775**	0.794**	0.796**	0.191	0.517*	0.268	0.081	0.548**	0.578**
显著性(双侧)	0	0	0	0.394	0.014	0.227	0.722	0.008	0.005
样品数 <i>n</i>	22	22	22	22	22	22	22	22	22

注:A为叶有机碳,B为枝有机碳,C为根有机碳,D为叶全氮,E为枝全氮,F为根全氮,G为叶全磷,H为枝全磷,I为根全磷; **在0.01水平(双侧)上极显著相关; *在0.05水平(双侧)上显著相关; *n*为样品数。下同。

3.2.2 草本以及枯枝落叶 C,N,P 的化学计量学特征 调查样地草本的 C 含量均值为 44.86%,N 含量的均值为 1.78%,P 含量均值为 0.20%;草本的 C,N,P 的比为 228:9:1。

草本的根与叶的 C,N,P 之间存在相关,且在 0.01 水平(双侧)极显著相关。不同器官的相同元素含量存在差异,但是其变化趋势相同,其中以有机碳含量的绝对变化趋势(变化量/变化前的量)最小,全磷和全氮的绝对变化趋势较大。

调查样地内枯枝落叶 C,N,P 的比为 234:6:1。C 含量的均值为 44.90%,N 含量的均值为 1.20%,P 含量的均值为 0.19%;全磷含量和全氮有机碳含量负相关,全氮含量和有机碳含量正相关。

3.3 环境因素与 C,N,P 含量的关系

任何植物都与其生长的环境存在着密不可分的

关系,适宜的环境可以加快植物的生长发育以及元素的累积。

通过秩相关分析得出,环境因素影响植物的 C,N,P 含量以及 C/N,C/P,N/P 的值(表 4)。坡度与 C 含量和 N/P 存在极显著负相关($p < 0.01$),与 N,P,C/P 存在显著负相关($p < 0.05$),表现为坡度越大,C,N 的累积越小,P 的累积量随着坡度的增大而增加;郁闭度仅与 C/P 存在显著相关($p < 0.05$),郁闭度越大则 C/P 的比例越大;海拔因素只与 N/P 间不存在显著相关。在分析过程中发现,C/P 受所有环境因素的影响,并且相关性都为显著,此结果与韩文轩等^[9]的研究结果相似。通过分析,坡度、郁闭度和海拔通过影响样地内的水热条件,进而作用在植物的光合作用、呼吸作用和蒸腾作用,最终影响到植物的元素计量分布。

表 4 植物 C,N,P 与环境因素的关系

因素	C		N		P		C/N		C/P		N/P	
	R^2	<i>n</i>	R^2	<i>n</i>	R^2	<i>n</i>	R^2	<i>n</i>	R^2	<i>n</i>	R^2	<i>n</i>
坡度	-0.679**	127	-0.303*	131	0.276*	127	0.196	127	-0.276*	127	-0.469**	127
郁闭度	0.081	127	-0.194	131	-0.241	127	0.194	127	0.265*	127	0.126	127
海拔	-0.293*	127	-0.300*	131	-0.304*	127	0.250*	127	0.271*	127	0.100	127

4 讨论

不同植物各器官的相同元素之间多数存在一定的差异性,甚者存在显著差异性,遗传特性是造成不同植物元素含量差异的主要原因^[12];同一植物不同器官中的相同元素存在差异性,反映了与器官功能相适应的元素计量分配关系^[9]。油松和山杨全磷含量都是叶、枝、干依次减小,但是油松有机碳和全磷含量大于山杨有机碳和全磷含量,油松的全氮含量小于山杨的全氮含量,这样的分布与植物的遗传学特征和各器官的植物生理特性有关,此分布更能满足植物对养分水分的吸收以及运输和分配^[13]。地域差异性同样影响着植物元素计量特征,油松的 C:N:P 与韩文

轩等^[9]研究的北京及周边地区植物全叶中 C:N:P 的 242:14:1 比较,C:P 几乎一致,但是 C:N 和 N:P 存在一定的差异;油松和山杨整体 C:N:P (311:6:1)与其他人在黄土高原的研究(C:N:P 为 340:16:1^[11])比较,C:P 几乎相等,C:N 偏大,N:P 偏小,因为其他研究采集的样品多为树叶,本研究的对象为乔木的叶、枝、干根,所以 N 含量相对较小。

灌木叶枝、干、根的有机碳含量在 0.01 水平(双侧)上极显著正相关,说明了植物元素累积和分配过程是由植物整体协调完成的^[14-15],所以各器官之间元素有很强相关性。各器官间显著的相关性可以提高植物整体的抗逆性,表现为当一个器官遇到恶劣的环境,元素的再分配过程可以调动起植物体其他器官,

共同抵御恶劣环境^[16-18]。草本植物各器官之间也存在极显著相关性,只不过此次试验调查的草本样有限,对于不同草本元素含量之间的关系未能进行更深入的分析,未来可以从不同草本植物元素累积差异性 与土壤元素含量之间的关系进行研究。枯落物作为物质循环一个关键的连接点,深入的研究枯落物中元素的变化特征将从微观上为物质循环提供新的思考方向^[19-20]。植物碳、氮、磷含量的比例受到环境因素的影响,可以明显的发现,海拔对不同乔木的碳、氮、磷含量影响很大,特别是有机碳含量。作者认为海拔高差达到 500 m,影响了水热的分布^[1,9],从而影响到有机碳含量的变化。所以得出结论,植物的遗传特质和外界环境共同作用影响着植物的元素计量特征。

将来的研究重点,可以把植物,枯落物和土壤的元素计量特征相结合,可以解释养分比例的调控机制,了解各元素是如何流动和如何产生耦合作用的,最终实现自然资源的可持续利用。

5 结 论

研究地油松和山杨的有机碳、全氮、全磷含量的均值分别为 46.92%, 0.61%, 0.19% 和 45.99%, 1.12%, 0.11%。油松和山杨的有机碳、全氮、全磷含量存在差异性,表现为油松和山杨,不同树种同器官中元素含量存在差异性,同树种不同器官中的相同元素存在差异性。

灌木叶、枝、根中的元素比例分别为 208 : 10 : 1, 380 : 16 : 1, 363 : 11 : 1, 草本植物的元素比例为 228 : 9 : 1, 枯落物的元素比例为 234 : 6 : 1。灌木的叶、枝、根中相对应的有机碳、全氮、全磷存在正相关,多数表现为极显著相关,并且研究地灌木中磷含量稍高于黄土高原其它地区的磷含量;草本的根、叶相对应的有机碳、全氮、全磷含量表现为极显著 Pearson 相关;枯枝落叶的全磷含量和全氮、有机碳含量负相关,全氮含量和有机碳含量正相关。

环境因素影响植物的 C, N, P 含量,也影响着元素之间的比例关系,研究发现 C/P 受到研究中所涉及 3 种环境因素的显著影响。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants[M]. New York: Academic Press, 1995.
- [3] 罗玉珠,曾太. 高寒嵩草草甸植物群落生态化学计量特征研究[J]. 中国草地学报, 2013, 35(3): 92-96.
- [4] 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.
- [5] Lambers H, Chapin F S, Pons T L. Plant Physiological Ecology[M]. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [6] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere [M]. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [7] Chen Fusheng, Niklas K J, Zeng Dehui. Important foliar traits depend on species-grouping: Analysis of a remnant temperate forest at the Keerqin Sandy Lands, China[J]. Plant Soil, 2011, 340(1): 337-345.
- [8] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment [J]. American Journal of Sciences, 1958, 46: 205-222.
- [9] 韩文轩,吴漪. 北京及周边地区植物叶的碳氮磷元素计量特征[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2008, 45(5): 855-860.
- [10] 王斌瑞,王百田. 黄土高原径流林业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [11] Zheng Shuxia, Shangguan Zhouping. Spatial patterns of leaf nutrient traits of the plants in the Loess Plateau of China [J]. Trees, 2007, 19(2): 279-293.
- [12] 彭少麟,张祝平. 鼎湖山地带性植被生物量、生产力和光能利用效率[J]. 中国科学: B 辑, 1994, 24(5): 497-502.
- [13] Chapin III S F, Chapin M C, Matson P A, et al. Principles of terrestrial ecosystem ecology[M]. Springer-Verlag, New York, 2002.
- [14] Cordell S, Goldstein G, Meinzer F C, et al. Morphological and physiological adjustment to N and P fertilization in nutrient-limited *Metrosideros* polymorph canopy trees in Hawaii [J]. Tree Physiology, 2001, 21(1): 43-50.
- [15] Cordell S, Goldstein G, Meinzer F C, et al. Regulation of life-span and nutrient-use efficiency of *Metrosideros* polymorph trees at two extremes of a long chronosequence [J]. Oecologia, 2001, 127(2): 198-206.
- [16] Giardina C P, Ryan M G. Biogeochemistry: Soil warming and organic carbon content-reply [J]. Nature, 2000, 408(6814): 789-790.
- [17] Grace J, Rayment M. Respiration in the balance[J]. Nature, 2000, 404(6780): 819-820.
- [18] Hobbie S E, Nadelhoffer K J, Högberg P. Asynthesis: the role of nutrients as constraints on carbon balances in boreal and arctic regions [J]. Plant and Soil, 2002, 242(1): 163-170.
- [19] 梁文俊,丁国栋. 冀北山地油松和落叶松林下枯落物的水文效应[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 71-74.
- [20] 张增信,闵俊杰. 苏南丘陵森林枯落物含水量及其影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 6-10.