

不同水分梯度下小叶章地上构件 C, N, P 含量动态分析

廖玉静^{1,2}, 宋长春¹, 王丽^{2,3}

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 通过野外调查分析,研究了波动水文情势下,不同水分梯度带小叶章地上构件 C, N, P 含量动态。结果表明,各构件 TC 含量随时间波动变化,常年积水带大于无常年积水带;TN 和 TP 含量,总体随水分的增加而减小,且生长季内含量逐渐下降;3 种元素含量总体均为叶片含量高于茎和鞘。构件 C/N 常年积水和无常年积水两种情况下随水分增加呈现不同变化规律;C/P 随水分的增加及生长过程的推进而增大;N/P 总体随水分的增加而增大,生长季内均呈先增加后减小的波动变化。随水分的增加,小叶章质量下降;生长季初期,各水分梯度带小叶章生长均受 N 限制,而后期无常年积水区生长受 N 限制,深度积水区则受 P 限制。

关键词: 水分梯度; 构件; 营养元素; C/N; C/P; N/P

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)02-0052-05

中图分类号: S154.2, S812.8

C, N, and P Dynamics in Above-Ground Parts of *Calamogrostis Angustifolia* Under Different Water Conditions

LIAO Yu-jing^{1,2}, SONG Chang-chun¹, WANG Li^{2,3}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences,

Changchun, Jilin 130012, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: C, N and P dynamics in above ground parts of *Calamogrostis angustifolia*, which was growing on different water zones with various water regimes, were studied by field investigation. The results show that total carbon(TC) fluctuated with time in all zones and were higher in the zones inundated all year long. Total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP) decreased with time and the increase of soil water. C, N, and P of the leaves were higher than that of stems and vaginas. The ratio of C and N differed in zones with various inundation periods, and the ratio of C and P increased with the growth of the plant and soil water contents. The ratio of N and P generally increased with soil water contents, while increased and then decreased in the growing season. The quality of *Calamogrostis angustifolia* decreased with increasing soil water. At the early growing stage, the growth of the plant was limited by N under all water conditions, while at the later growing stage, P was the limiting factor at the zone inundated all year long and N remained the stressing factor in the other zones.

Keywords: water gradients; module; nutrient elements; C/N; C/P; N/P

湿地水文情势作用于土壤,形成特殊的氧化还原环境,影响植物根际溶解氧以及可利用养分含量^[1-2],而湿地植物生长状况及体内营养元素含量特征则是对其所处环境的直接反应^[3-5]。同时,植物体元素含量动态也是湿地生物地球化学循环的一个重要环节^[6-8]。因此,湿地植物体元素含量研究对湿地物质循环及健康状态评价有重要意义。三江平原位于我国黑龙江省东北部(129°11'—135°05'N, 43°49'—

48°27'E),由黑龙江、松花江和乌苏里江冲击而成,是我国最大的淡水沼泽湿地分布区。小叶章(*Calamogrostis angustifolia*)是该区分布最广泛的湿地植物之一,属禾本科多年生根茎型草本植物,水分生态幅较宽,最适合生境为土壤水分充足、饱和或过饱和。通过野外调查,研究了该区波动水文情势下,不同水分梯度带小叶章地上构件中 C, N, P 含量动态,以期为三江平原湿地退化与恢复研究提供基础数据。

收稿日期:2010-06-01

修回日期:2010-10-20

资助项目:国家自然科学基金重点项目(40930527; 40771189); 国家重点基础研究(973)发展计划项目(2009CB421103); 中国科学院重要方向项目(KZCX2-YW-JC301)

作者简介:廖玉静(1982—),男(汉族),山东省泰安市人,博士研究生,主要从事环境变化与湿地生态研究。E-mail:liaoyujingcn@gmail.com, 通信作者:宋长春(1968—),男(汉族),吉林省长春市人,研究员,博士生导师,主要从事环境变化与物质循环研究。E-mail:songcc@neigae.ac.cn.

1 试验方法

试验布设在中国科学院三江沼泽生态试验站的典型碟形洼地(47°35'N,133°29'E)内。2006 年 5 月,由洼地外围向中心,垂直水分梯度布设 3 条样带,各长 100 m 左右。根据水分条件和植被群落特征在每条样带内设置 5 个 1 m×1 m 的群落样方,样方间距在 15~25 m 之间,从外向内依次为灌丛—小叶章群落(GX)、小叶章单优群落(XYZ)、小叶章—苔草群落(XT)、苔草—小叶章群落(TC)和苔草沼泽群落(ZZ)^[9]。各代表不同的水分梯度带,水分状况依次为:GX 表层土壤含水量 73.75%~98.15%;XYZ 表层土壤含水量 93.5%以上,季节性积水;XT 常年积水 5~15 cm;TC 常年积水 8~20 cm;ZZ 常年积水 10~45 cm。

于 2006 年 6 月 1 日、7 月 2 日以及 7 月 30 日采集各梯度带内小叶章植株,带回实验室将植株茎、叶、鞘分开,烘干后测定各构件的 TC,TN 和 TP 含量,分别代表生长季初期、旺盛期及顶峰期的植株养分含量;同时测定相应梯度带内上层 20 cm 土壤有机碳含量,分析测定参照李酉开^[10]提供的方法。同时对土壤特征进行监测,酸碱度(pH)用美国 Spectrum 产 IQ150 土壤原位 pH 计监测;氧化还原电位(Eh)和温度(T)用南京土壤所生产 FJA-16 型氧化还原电位去极化法全自动测定仪监测,监测深度分两层:表层

0—15 cm,深层 16—30 cm。数据分析通过 SPSS 13.0 和 origin 7.5 完成。

2 结果分析

2.1 不同水分带小叶章各构件 TC,TN 和 TP 含量动态

各水分梯度间,XT,TX 和 ZZ 这 3 个常年积水带小叶章各构件 TC 含量大于 GX 和 XYZ 两个无常年积水带的(图 1);实验过程中,初期叶与鞘 TC 含量高于茎的,随时间推移茎中含量上升,叶与鞘含量下降,至中期茎与叶的 TC 含量略高于鞘的,而后期各构件差异不明显。

小叶章构件 TN 含量随水分梯度的变化,同样可以根据有无常年积水分成两个组。无常年积水带先表现出 XYZ>GX,生长旺盛期为 GX>XYZ,但生长顶峰期又变为 XYZ>GX;常年积水的 3 个群落 TN 含量随水分的增加而增加,但差异逐渐减小,到顶峰期变为随水分的增加而减少。试验过程中叶片 TN 含量呈先上升后下降变化,但始终大于茎和鞘中的含量,鞘中的 TN 含量同样呈现先上升后下降的过程,而茎的 TN 含量则一直处于下降状态(图 1)。

试验过程中小叶章各构件 TP 含量总体随水分的增加而减小;叶片 TP 含量高于茎和鞘的含量;生长季初期含量最高,随时间推移含量逐渐下降。

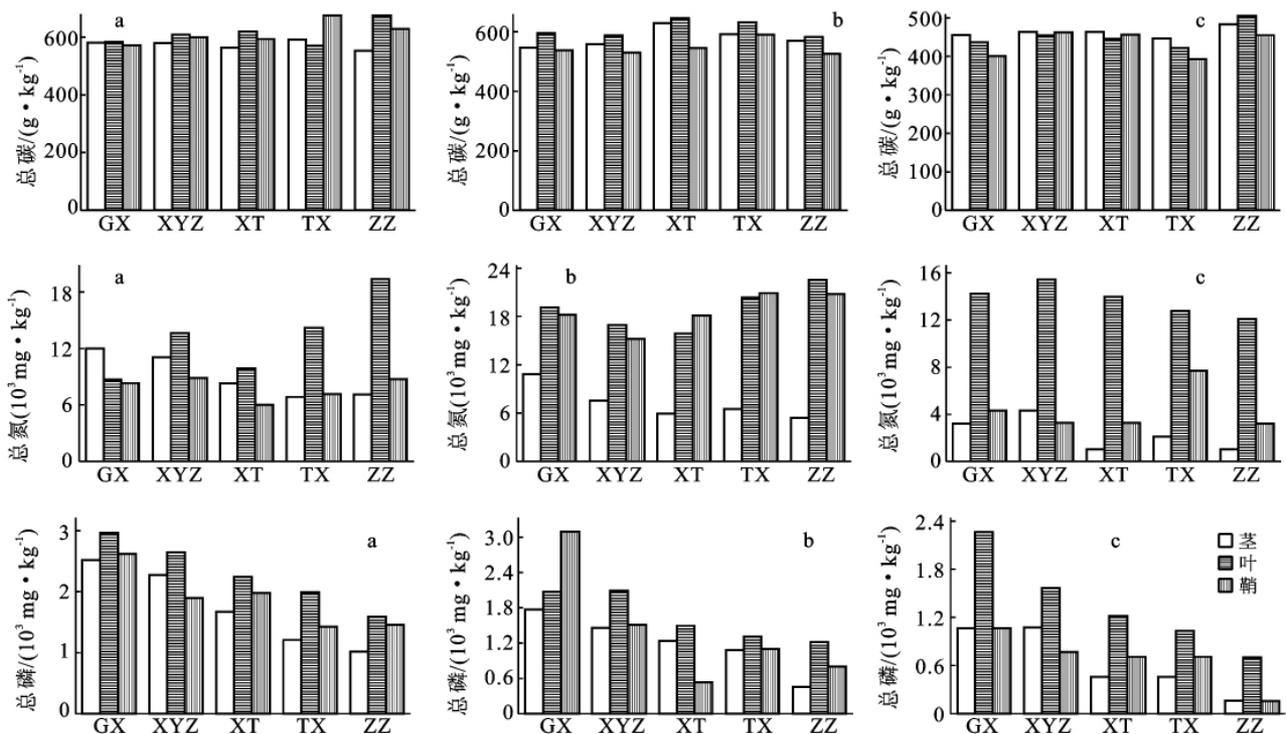


图 1 不同水分梯度带小叶章各构件 TC,TN,TP 含量季节动态

注:a,b,c 分别代表生长季初期,旺盛期,顶峰期;GX,XYZ,XT,TX,ZZ 按先后顺序依次代表水分逐渐增加的各水分梯度带。下同。

2.2 不同水分带小叶章各构件 C/N, C/P, N/P 动态

小叶章茎 C/N 常年积水带大于无常年积水带, 总体随水分的增加而增大。叶和鞘的 C/N 同样可分为常年积水和无常年积水两种情况, 常年积水带的 C/N 随水分的增加而减小, 但差异逐渐缩小, 至顶峰期则随水分的增加而增大; 无常年积水带, 初期和顶峰期 XYZ > GX, 而生长旺盛期 GX > XYZ。随时间推移, 茎 C/N 逐

渐增大, 叶 C/N 逐渐减小, 鞘 C/N 先减小再增大, 茎 C/N 总体大于叶片和鞘的(图 2)。各构件 C/P 总体随水分的增加而增大, 随时间推移逐渐增大, 且始终呈现茎 > 鞘 > 叶的格局。各构件 N/P 总体随水分的增加而增大; 试验过程中均呈先增加后减小的波动变化, 生长旺盛期比值最大; 各构件比值, 鞘 N/P 波动最为明显, 且叶片及叶鞘的 N/P 始终大于茎的。

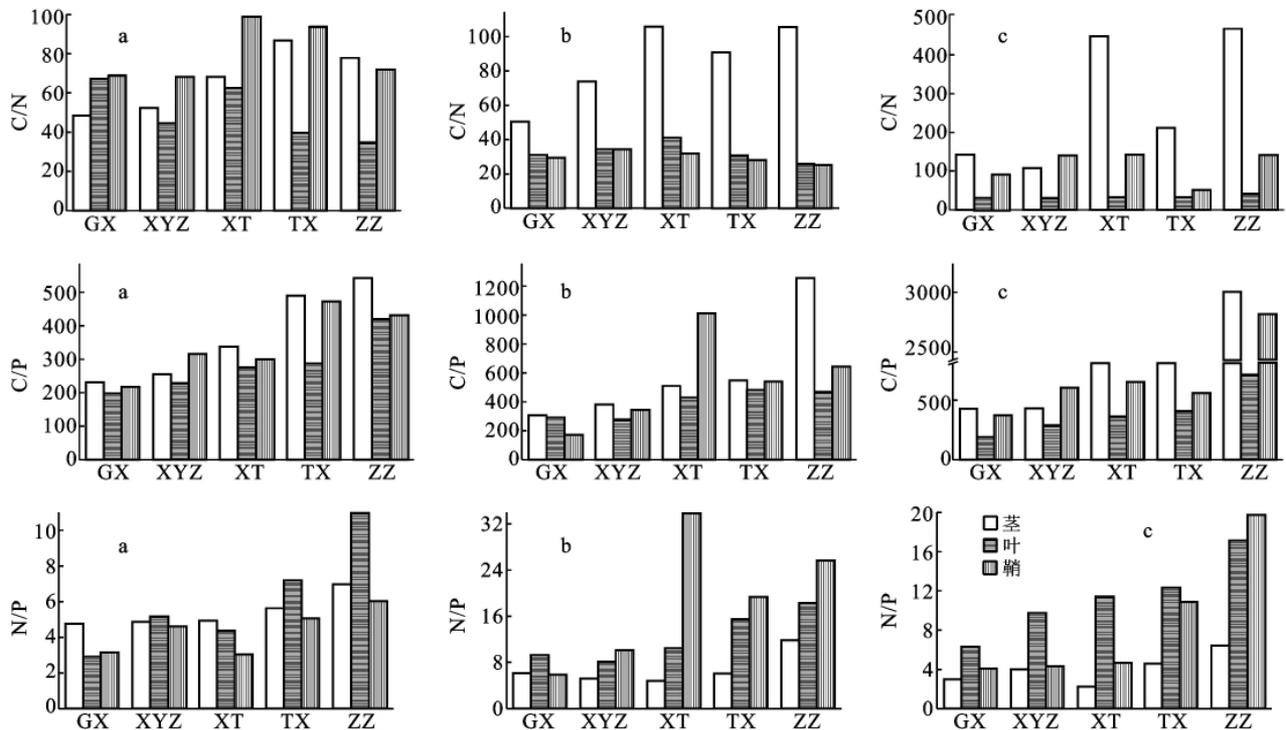


图 2 不同水分梯度带小叶章各构件 C/N, C/P, N/P 季节动态

3 讨论

3.1 不同水分梯度带植物体元素特征分析

Walbridge 等^[11-13] 研究认为低水位可能降低植物吸收营养和有机物积累的能力。本试验结果表明, 初期常年积水带的小叶章各构件 TC 和 TN 的含量略大于无常年积水带, 且两种环境中元素含量有随水位升高而升高的趋势, 但随生长进行, 顶峰期 TC 含量差异不显著, TN 和 TP 含量则表现出随水分的增加而降低的趋势; 同时由于各水分梯度带, 植物不同生长阶段对各种元素的需求情况以及光合产物积累产生的“稀释效应”程度不同^[14-15], 从而造成了小叶章体内元素含量有明显的时间动态变化^[3, 16]。由此可见, 不同生长时期, 植物对水分梯度的响应不能一概而论, 且对某些元素来讲, 水位面是否出露地表存在明显差异。

与孙雪利^[3] 及孙志高^[4] 等人的研究结果一致, 小叶章叶片中 3 种元素的含量均高于茎和鞘的, 说明虽然小叶章是禾本科植物, 茎、叶、鞘均具有光合生产能

力, 但生长过程中叶片仍是其主要的营养物质生产及储存器官。叶片养分组成是由叶片到群落乃至区域或全球生物地理群系进行尺度转换的关键指标^[17-18]。小叶章作为三江平原典型湿地植物之一, 各水分梯度带其叶片 C, N 和 P 平均分别为 55.8%, 1.6% 和 0.18%; 分别低于已有全球一千多种陆生植物的叶片 C, N, P 水平的测定值^[19-20], 一定程度上说明了湿地植物较高的生产力水平^[21] 和较低的 N 和 P 吸收能力。

C/N 和 C/P 能够指示植物的生产质量^[22], 影响后期枯落物的分解^[23-24]。小叶章 C/N 和 C/P 总体随水分增加而呈增加趋势, 说明随水分的增加小叶章体内碳水化合物相对含量高于蛋白质等营养物质的相对含量, 植物质量下降。至于后期枯落物的分解规律还有待进一步研究。N/P 大小标志植物生长受那种元素限制, Koerselman 等^[25] 对欧洲淡水沼泽植物体 N/P 的研究认为, 当 N/P < 14 时, 植物生长受 N 限制, N/P > 16 时, 受 P 限制, 当介于两者之间时, 则两种元素同时限制植物生长。后续研究多以此为准则

确定植物生长受何种元素限制^[3-4,17]。已有研究认为陆地生态系统主要受 N 限制,而水生生态系统主要受 P 限制^[26],而孙志高等^[4]对三江平原淡水沼泽湿地分布区两种水分生态型小叶章的研究发现,两种小叶章主要受 N 限制,而不是 P。本研究对三江平原地区处于不同水分梯度带的小叶章 N/P 研究发现,小叶章 N/P 总体随水分的增加而增大,生长季初期各水分带 N/P 平均 5.39 ± 2.24 ,生长受 N 限制;生长旺盛期和顶峰期比值分别为 12.68 ± 8.41 和 8.08 ± 5.32 ,但常年积水带比值明显大于非常年积水带,非常年积水带比值均小于 14,表现为 N 限制性,而积水较深的 XT 和 ZZ 两个水分带比值均大于 16,表现为 P 限制性,说明不同水分条件下,不同生长阶段小叶章生长受不同元素限制。

3.2 不同水分梯度带土壤特征的影响分析

对生长旺盛期土壤特征与小叶章各构件元素特

征的 Pearson 相关分析发现(表 1),植物体各指标与土壤 pH 值, Eh 及土壤有机碳的相关性较好,与 T 的相关性较差。在 0.05 显著性水平上,茎和叶片 P 含量与土壤 Eh 显著正相关;叶片 N 含量,与表层 pH 显著正相关,与土壤有机碳显著负相关;叶鞘 N 含量及 C/N 均与表层 pH 显著正相关;此外,茎和叶片中各元素比值均与土壤 Eh 呈负相关关系。造成这种现象的原因可能是,自然湿地以频繁的水位季节性波动和带状或环带状分布格局为特征^[21],而土壤 pH 和 Eh 能够敏感地响应于这种波动与分布,不断发生变化,作用于植被同时又受植被的影响;而本区环境温度较低,空间分异不明显^[27-30],各生长阶段试验区不同梯度带温差仅 $1 \sim 2$ °C,因此其对植物的影响较小,相关性不明显。

但是对于不同水文情势下,土壤特征的变化规律以及其对植物的影响,目前还存在较多争论^[27]。

表 1 小叶章构件营养元素含量与土壤特征的相关分析

部位	营养元素	表层			深层			土壤有机碳 (0—20 cm)
		pH 值	Eh	T 值	pH 值	Eh	T 值	
茎	N	0.274	0.769	0.197	0.688	0.820	0.559	-0.498
	P	0.130	0.934*	-0.037	0.508	0.942*	0.205	-0.750
	C	-0.802	-0.221	0.360	-0.358	-0.135	0.256	0.132
	C/N	-0.569	-0.634	-0.187	-0.600	-0.679	-0.427	0.340
	N/P	0.071	-0.647	0.812	-0.184	-0.481	0.668	0.803
	C/P	-0.371	-0.758	0.466	-0.583	-0.661	0.149	0.683
叶	N	-0.154	0.937*	-0.378	0.670	0.867	0.101	-0.895*
	P	0.055	0.878	-0.071	0.116	0.886*	-0.125	-0.757
	C	-0.670	-0.320	0.518	-0.364	-0.202	0.379	0.288
	C/N	-0.263	-0.785	0.550	-0.625	-0.671	0.167	0.748
	N/P	-0.198	-0.858	0.274	-0.276	-0.816	0.206	0.765
	C/P	-0.252	-0.835	0.412	-0.419	-0.757	0.221	0.766
鞘	N	0.963*	-0.398	0.063	0.101	-0.403	-0.026	0.537
	P	0.346	0.750	-0.356	0.288	0.684	-0.288	-0.670
	C	-0.797	0.112	-0.190	0.229	0.072	0.193	-0.276
	C/N	-0.933*	0.222	-0.114	0.018	0.208	0.101	-0.387
	N/P	-0.0510	-0.844	0.626	-0.483	-0.718	0.313	0.870
	C/P	-0.451	-0.617	0.570	-0.504	-0.494	0.305	0.586

注: * 表示在 0.05 水平上差异显著(双尾法)。

4 结论

(1) 对于 TC 含量,常年积水带大于无常年积水带,各构件含量均随时间波动变化;对于 TN 含量,无常年积水带,初期和顶峰期的构件 TN 含量随水分增加而增加,旺盛期则随水分增加而减小,常年积水带生长季内呈波动变化,从随水分增加而增加逐渐变为随水分增加而减小;TP 含量均随水分的增加而减小,生长季内含量均逐渐下降。3 种元素含量总体均为叶

片含量高于茎和鞘。

(2) 水分梯度对构件 C/N 的影响可分为常年积水和无常年积水两种情况,且各构件比值随水分的变化特征不同;随时间推移,茎 C/N 逐渐增大,叶 C/N 逐渐减小,鞘 C/N 先减小在增大。C/P 总体随水分的增加而增大,随时间推移而逐渐增大。N/P 总体随水分的增加而增大;生长季内均呈先增加后减小的波动变化。茎 C/N 和 C/P 总体大于叶片和鞘的,而且叶片及鞘的 N/P 始终大于茎。

(3) 随水分的增加,小叶章质量下降;生长季初期,各水分梯度带小叶章生长均受 N 限制,而后期无常年积水区生长受 N 限制,深度积水区则受 P 限制。

[参 考 文 献]

- [1] Miller R C, Zedler J B. Responses of native and invasive wetland plants to hydroperiod and water depth[J]. *Plant Ecology*, 2003,167:57-69.
- [2] Pezeshki S R. Wetland plant responses to soil flooding [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2001,46: 299-312.
- [3] 孙雪利,刘景双,储衍儒. 三江平原小叶樟和毛果苔草中 N 素营养动态分析[J]. *应用生态学报*, 2000,11(6):893-897.
- [4] 孙志高,刘景双,王金达,等. 三江平原不同群落小叶章种群生物量及氮、磷营养结构动态[J]. *应用生态学报*, 2006,17(2):221-228.
- [5] Guesewell S, Koerselman W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants [J]. *Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2002,5(1): 37-61.
- [6] Jos A R, Hans B, Francisco A C. Interactive effects of N and P on growth, nutrient allocation and NH_4 uptake kinetics by *Phragmites australis* [J]. *Aquatic Botany*, 1999,64: 369-380.
- [7] Margaret G, Anne W. Constructed wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation [J]. *Journal of Applation Ecology*, 1999,33:1441-1450.
- [8] Xie Y H, Wen M Z, Yu D. Growth and resource allocation of water hyacinth as affected by gradually increasing nutrient concentrations [J]. *Aquatic Botany*, 2004, 79: 257-266.
- [9] 易富科,李崇浩,赵魁义,等. 三江平原植被类型研究 [M]//黄锡畴. 中国沼泽研究. 长春:科学出版社, 1988: 162-171.
- [10] 李开西. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京:科学出版社,1983:272-277.
- [11] Grieve I C, Gilvear D J, Bryant R G. Hydrochemical and water source variations across a floodplain mire, In-sh Marshes, Scotland [J]. *Hydrological Process*, 1995, 9:99-110.
- [12] Keddy P A. *Wetland Ecology: Principles and Conservation* [M]. Cambirdge, UK: Cambridge University Press, 2000.
- [13] Walbridge M R, Struthers J P. Phosphorus retention in non-tidal palustrine forested wetland the mid-Atlantic region [J]. *Wetlands*, 1993,13:84-94.
- [14] 李伏生,唐绍忠. 不同氮和水分条件下 CO_2 浓度升高对小麦碳氮比和碳磷比的影响 [J]. *植物生态学报*, 2002, 26(3):295-302.
- [15] Gifford R G, Barrett D L, Lutze J L. The effects of elevated CO_2 on the C : N and C : P mass ratios of plant tissues [J]. *Plant and Soil*, 2000,224:1-14.
- [16] Willby N J, Pulford I D, Flowers T H. Tissue nutrient signatures predict herbaceous-wetland community responses to nutrient availability [J]. *New Phytologist*, 2001,152:463-481.
- [17] 郑淑霞,上官周平. 黄土高原地区植物叶片养分组成的空间分布格局 [J]. *自然科学进展*, 2006,16(8):965-973.
- [18] Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum [J]. *Nature*, 2004, 428: 821-827.
- [19] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs [J]. *Nature*, 2000,408:578-580.
- [20] Han W X, Fang J Y, Guo D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China [J]. *New Phytologist*, 2005,168:377-385.
- [21] Mitsch W J, Gosselink J G. *Wetlands* [M]. New York: John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [22] 郭建平,高素华. 高 CO_2 和土壤干旱对沙地优势植物 C、N 固定及分配的影响 [J]. *自然科学进展*, 2003,13 (12):1275-1279.
- [23] 刘中宽,汪诗平,韩建国,等. 内蒙古温带典型草原植物凋落物和根系的分解及养分动态的研究 [J]. *草业学报*, 2005,14(1):24-30.
- [24] 杨继松,刘景双,于君宝,等. 三江平原沼泽湿地枯落物分解及其营养动态 [J]. *生态学报*, 2006,26(5):1297-1302.
- [25] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N : P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6):1441-1450.
- [26] McGroddy M E, Daufresne T, Hedin L O. Scaling of C : N : P stoichiometry in forests world wide: Implications of terrestrial red field-type ratio [J]. *Ecology*, 2004,85 (9): 2390-2401.
- [27] Baird A J, Wilby R L. 生态水文学: 陆生环境和水生环境植物与水分关系 [M]. 赵文智,译. 北京:海洋出版社, 2002:91-97.
- [28] Reddy K R, Patrick W H. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil [J]. *Soil Biology and Biochemsitry*, 1974,7:87-94.
- [29] Urban G, Hakan R, Hugo S. Diversity and pH changes after 50 years on the boreal mire Skattlösbergs Stormosse, Central Sweden [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2000,11:277-286.
- [30] 王世岩,杨永兴,杨波. 三江平原典型湿地土壤温度变化及其影响因子分析 [J]. *地理研究*, 2003,22 (3):389-396.