

三江平原草甸白浆土 P、K 养分含量特征及影响因素

何太蓉^{1,3}, 李贤良², 杨达源¹, 杨永兴⁴

(1. 南京大学城市与资源学系, 南京 210093, E-mail: he_trong@263.net; 2. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 3. 重庆师范大学地理系, 重庆 400047; 4. 同济大学环境科学与工程学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 在三江平原湿地植物生长季节期内, 选择具有代表性的小叶章湿地发育的草甸白浆土为研究对象, 逐月分层采集土样, 测定其 P、K 含量. 在此基础上借助 SPSS 软件和灰色关联分析技术, 探讨了草甸白浆土中 P、K 含量的分布特征及相关环境因子对 P、K 含量动态变化的影响. 结果表明: 草甸白浆土中 P、K 含量在剖面垂直方向具有明显的分层现象, P、K 分布与土层的相关性均较好, 相关系数均在 0.94 以上. 此外, 草甸白浆土各土层 P、K 含量在植物生长季节均呈明显的动态变化, 用一元三次非线性回归模型可得到较理想的拟合结果. 同一环境因子对草甸白浆土各土层中全 P、全 K、速效 P 及速效 K 的动态分布影响程度不同; 不同环境因子对同一土层中 P、K 的动态分布影响程度更不同. 降水量在所有环境因子中影响程度最大, 且土壤表层受环境因子的影响较底部土层敏感.

关键词: 营养元素(P、K); 含量; 环境影响因子; 草甸白浆土; 三江平原

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)01-0133-05

The P and K Concentration Characteristics and Their Effect Factors in the Meadow Albic Bleached Soil in the Sanjiang Plain

HE Tai-rong^{1,3}, LI Xian-liang², YANG Da-yuan¹, YANG Yong-xing⁴

(1. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China, E-mail: he_trong@263.net; 2. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Geography Department, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 4. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: During the growth season of wetland plant in the Sanjiang Plain, the representative meadow albic bleached soil developed in the *Dejuxia angustifolia* wetland was chosen as the study objects, soil was sampled by soil layer monthly, their P and K concentration and correlative environmental factors were measured synchronously. Based on these data, with SPSS software and grey relating analyse means, this paper discussed the P and K concentration characteristics and their effect degree in the meadow albic bleached soil. The results were as following: The P and K concentration has obvious layered phenomenon in the soil profile, the correlations between P and K concentration and soil layer are remarkable, all their correlation coefficients are above 0.94. The P and K concentrations of every soil layer have an obvious seasonal dynamics in plant growth season. Their one-factor non-linear regression simulation models are suitable. The same environmental factor's affection degrees on the total P, total K, rapidly available P and rapidly available K of same layer or different layer are not same. Different environmental factor's affection degrees on same object are different also. Rainfall has the biggest affection degree in all environmental factors. The surface soil layer is more sensitive than bottom soil layer in the affection degree of environmental factors.

Key words: nutrient element (P and K); concentration; environmental factor; the meadow albic bleached soil; the Sanjiang Plain

湿地是地球上具有多种功能的独特生态系统, 其营养元素循环研究是现代湿地生态学研究的热点. P、K 作为大量营养元素, 对它们在湿地土壤中的分布、动态及其影响因素的研究是湿地生态系统生态过程、生态功能机理研究的深入, 可为退化湿地的恢复与重建、湿地的合理开发与保护提供理论依据^[1-4]. 湿地土壤是湿地生态系统的重要组成部分, 其内部各元素含量及其变化规律不仅受生物等其他环境因子的影响, 而且也影响到生物吸收养分的程度等, 是湿地生态系统元素循环的重要环节. 目

前国内外对湿地生态系统营养元素循环, 尤其是淡水沼泽湿地 P、K 元素循环的研究尚不多见. 国外研究主要集中在人工湿地土壤 P 的形态、特征等^[5], 水位升降和排水对土壤 P 释放的影响^[6], 以及自然湿地和人工湿地 P 特征的差异等^[7]. 三江平原作为我国最大的淡水沼泽湿地集中分布区, 有人对其毛

收稿日期: 2003-02-28; 修订日期: 2003-07-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49771002); 中国科学院长春地理研究所所长基金资助项目(1997年度)

作者简介: 何太蓉(1973~), 女, 在职博士生, 主要从事自然资源与环境研究.

果苔草湿地土壤营养元素积累、分配以及湿地开垦前后主要营养元素变化状况^[8,9],及排水对该区沼泽湿地土壤化学元素的影响等进行了初步研究^[10].但对于植物生长季节内湿地土壤 P、K 元素含量动态及其影响因素的研究尚未见报道.小叶章 (*Deeyuxia angustifolia*) 湿地是三江平原分布面积最大、发育典型且具有代表性的湿地类型之一^[11],研究小叶章湿地发育的草甸白浆土中 P、K 分布特征及其影响因素对深入认识湿地生态系统元素循环有重要意义.本文根据三江平原植物生长季节期 5~10 月份草甸白浆土中 P、K 含量以及同期的降水、温度、地表积水等环境因子资料,借助于 SPSS 软件的一元线性和一元非线性回归分析以及灰色关联分析技术,分析了该类土壤剖面中 P、K 元素的垂直分布规律和季节动态变化以及各环境因子对剖面各层 P、K 含量的影响.

1 研究地概况

本研究在中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站进行.该站位于黑龙江省同江市内,面积 100h²,地貌上处于别拉洪河与浓江的河间地带,海拔高度 55.4~57.0m.该区微地貌复杂,由各种洼地、低平地和平地组成,属于温带大陆性季风气候,年均温 1.9℃,冬寒、夏热、秋多雨.主要植被有毛果苔草、漂筏苔草、小叶章等;主要土壤有草甸白浆土、腐殖质沼泽土、泥炭沼泽土、潜育沼泽土及草甸沼泽土等^[12].

2 材料与测定方法

2.1 样品采集

按照“典型性、代表性、一致性”的原则,选择具有代表性的小叶章群落下发育的草甸白浆土为研究对象.选取哈尔滨科技大学与中科院长春地理所共同研制的 NZ 型仿前苏联式泥炭钻作为采样工具,该钻的优点是不破坏剖面样品结构,保持自然层位,避免所采样品不受其他层位样品污染.于植物生长季节的 5~10 月份,按土壤发生层分 4 层每月采集样品,草根层则直接用采样刀割取,每个样品重约 2kg,然后用塑料袋盛装,其外再套上布袋.

2.2 样品 P、K 测定

采集的土壤样品在室内经自然风干后,用木棒捣碎碾压,用玛瑙钵研细,后用四分法取一部分过 0.25mm 尼龙筛,装入塑料瓶保存待测.所有样品测定均在中科院长春地理所分析测试部进行.样品 P、

K 测定均根据国家标准 GB7848-7858-87 进行.将土壤样品按下列预处理后制成待测液:测全 P、全 K 用浓硫酸-高氯酸消解,测速效 P 用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提,测速效 K 则用 1 mol/L 乙酸铵浸提. P、K 测定分别采用钼锑抗比色法(上海产 7230 型分光光度计)和原子吸收法(澳大利亚产 GBC-906 原子吸收光谱仪).

3 结果与讨论

3.1 草甸白浆土 P、K 养分含量分布特征

3.1.1 剖面垂直分布特征

从三江平原植物生长季节旺盛期的 7 月份来看,草甸白浆土 P、K 含量在垂直方向上分布差异明显(见表 1).以土壤层次为自变量,以土层中元素含量为因变量,对各土层元素含量的垂直变化进行一元线性相关分析.结果表明,土层中 P、K 元素含量随土壤层次呈很好的线性变化关系,相关系数均在 0.94 以上.此外,5~10 月的草甸白浆土 P、K 平均含量在垂直方向上同样表现出明显的分层现象(见表 2).

表 1 草甸白浆土 7 月份 P、K 含量的垂直分布特征/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 1 Vertical distribution properties of P and K concentration in July in the meadow albic bleached soil

项 目	pH	TP	速效 P	TK	速效 K
腐殖质表层	5.52	345.43	32.79	2971.57	246.27
腐殖质底层	5.86	330.81	39.83	3846.24	142.69
白浆层	5.96	326.99	34.27	4379.61	165.63
潜育层	6.15	293.94	24.46	4639.61	118.57
平均	5.87	324.29	32.84	3959.26	168.29
标准差	0.26	21.74	6.35	736.63	55.42
变异系数/ %	4.50	6.70	19.35	18.61	32.93

垂直剖面上全 P 含量随深度向下逐渐降低,表层比底层平均高出 128.69 mg/kg;而全 K 含量的剖面垂直分布规律却相反,随深度增加土壤全 K 含量增加,底层比表层平均高出 1052.93 mg/kg(见表 2).这与三江平原其他类型湿地土壤剖面全 P、全 K 垂直分布规律相一致^[10].土壤各土层全 K 含量均大大高于该层全 P 含量,除腐殖质表层外,剖面其余土层全 K 含量均是全 P 含量的 10 倍以上.与我国土壤和世界土壤中 P、K 平均含量相比,该土壤 P、K 含量水平是比较高的^[13-15].

土壤速效性养分是由有机质状态或难溶性矿物质分解转化而来的,易被植物直接吸收利用的养分状态,其含量直接反映了土壤供给营养元素的能力.草甸白浆土的速效 P、速效 K 含量均随土壤深度增

加而递减.土壤中速效 P 和速效 K 的含量不仅与 P 和 K 的矿化速度有关,还与枯落物分解后的养分补充密切相关.由于地表土层接受补充的量多,而下部土层接受补充的量少.因此,深度越往下的土层,速效 P 和速效 K 的含量越低.从表 1 可看出,7 月份时速效 P 和速效 K 含量随土层垂直分布的变化程度较相应的全 P 和全 K 含量垂直变化大得多.

3.1.2 季节动态特征

草甸白浆土各土层中 P、K 含量在地上植物生长季节均呈明显变化(图 1~4).分别对各土层中 P、K 含量分布进行一元三次非线性回归,可得到较理想的拟合效果(见表 2).相关方程中的自变量为植物生长的天数,依据该方程可对植物生长不同时期各土层 P、K 含量进行预测.

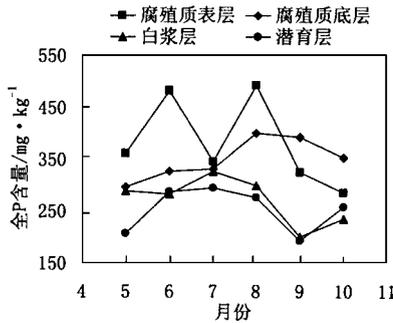


图 1 草甸白浆土全 P 含量的季节动态
Fig.1 Seasonal dynamics of total P concentration in the meadow albic bleached soil

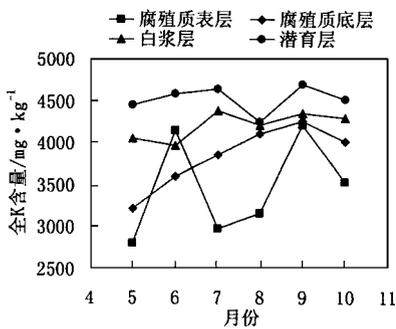


图 2 草甸白浆土全 K 含量的季节动态
Fig.2 Seasonal dynamics of total K concentration in the meadow albic bleached soil

由表 2 可见,草甸白浆土各垂直剖面土层中,全 P 含量季节动态变化各不相同,其中腐殖质底层全 P 含量拟合结果最好.腐殖质表层全 P 含量在植物生长季节内波动最大,从 5 月份到 10 月份含量先升后降,高数值出现在 8 月份.而腐殖质底层全 P 含量随季节变化波动较小.同时,垂直剖面各土层全 K

含量也出现不同的季节动态规律.腐殖质表层中全 K 含量低,但变化幅度最大;腐殖质底层全 K 含量在整个植物生长季节内呈上升的趋势;白浆层和潜育层全 K 含量虽高,但变化幅度反而最小.

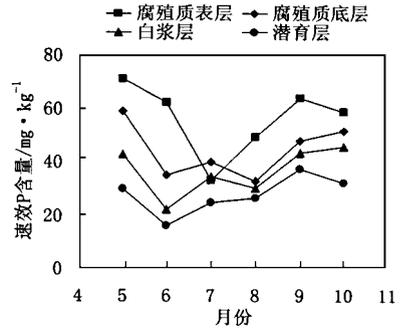


图 3 草甸白浆土速效 P 含量的季节动态
Fig.3 Seasonal dynamics of rapidly available P concentration in the meadow albic bleached soil

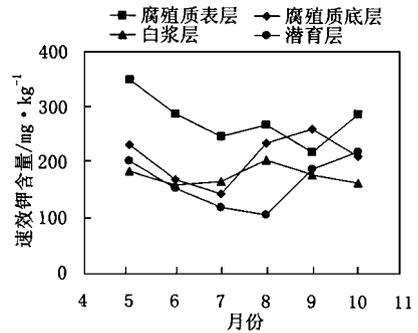


图 4 草甸白浆土速效 K 含量的季节动态
Fig.4 Seasonal dynamics of rapidly available K concentration in the meadow albic bleached soil

垂直剖面各土层速效 P 和速效 K 含量季节动态规律性较强,在植物生长季初期和末期较高,而生长旺盛期较低,各土层剖面速效 P、速效 K 含量出现最低值的时期略有差异,腐殖质表层和腐殖质底层的速效 P 含量分别于 7、8 月份出现最低值,而白浆层和潜育层的最低值出现在 6 月份.各土层速效 P 的变化相差不大,其中腐殖质表层速效 K 在植物生长季节内呈下降趋势,白浆层速效 K 含量在植物生长季节内变化幅度最小.

总的来说,湿地土壤 P、K 含量在植物生长季节内呈现有一定规律的变化,这主要与植物在不同生长时期对养分的吸收情况有关,同时枯落物的分解、气候如降水和温度的变化也会有影响.表层全 P 和全 K 的季节变化幅度大于底层,是因为表层同时受多种因素影响,如大气降水的稀释、枯落物分解的补充以及植物根系的吸收等;而底层受这些因素影响

的程度相对较小,因此变化幅度较小.各土层 P、K 等环境因素影响,因此平均变化幅度较大.速效量则主要受植物吸收状况和土壤水分以及温度

3.2 环境影响因子的灰色关联分析

表 2 草甸白浆土 P、K 含量季节动态特征¹⁾

Table 2 Seasonal dynamic characteristics of P and K concentration in the meadow albic bleached soil

元 素	土 层	回 归 方 程	相 关 系 数	F 检 验 值	5 ~ 10 月 均 值 / mg·kg ⁻¹	标 准 差 / mg·kg ⁻¹	变 异 系 数 / %
TP	I	$Y = 278.6 + 3.59t - 0.0218t^2 + 0.000016t^3$	0.6458	0.48	381.32	85.58	22.44
	II	$Y = 352.43 - 2.994t + 0.04389t^2 - 0.00014778t^3$	0.9550**	6.95**	349.36	40.18	11.50
	III	$Y = 214.7 + 3.079t - 0.02904t^2 + 0.0000689t^3$	0.6914	0.61	271.98	46.32	17.03
	IV	$Y = 5.5 + 8.913t - 0.08344t^2 + 0.000228t^3$	0.8276*	1.45	252.63	42.88	16.97
TK	I	$Y = 1761 + 50.3t - 0.435t^2 + 0.001179t^3$	0.4712	0.19	3467.70	599.93	17.30
	II	$Y = 3259.7 - 6.422t + 0.19334t^2 - 0.0007285t^3$	0.9945**	59.97**	3837.22	381.65	9.95
	III	$Y = 4148.5 - 7.08t + 0.1103t^2 - 0.0003646t^3$	0.7701	0.97	4208.73	169.02	4.02
	IV	$Y = 4145.8 + 13.84t - 0.1342t^2 + 0.0003806t^3$	0.3286	0.08	4520.63	158.32	3.50
速 效 P	I	$Y = 104.56 - 1.3097t + 0.0092t^2 + 0.00002t^3$	0.7099	0.68	56.18	13.47	23.97
	II	$Y = 88.87 - 1.264t + 0.009t^2 + 0.00002t^3$	0.8989*	2.80*	44.21	10.21	23.10
	III	$Y = 73.11 - 1.3721t + 0.012t^2 - 0.00003t^3$	0.8660*	2.01	36.22	9.17	25.33
	IV	$Y = 59.98 - 1.3868t + 0.0137t^2 - 0.00004t^3$	0.9176**	3.56*	27.61	7.15	25.90
速 效 K	I	$Y = 358.41 - 1.12t - 0.00662t^2 + 0.000005111t^3$	0.9214**	3.74*	275.58	43.85	15.91
	II	$Y = 451.3 - 9.911t + 0.09852t^2 - 0.0002782t^3$	0.8994*	2.82*	208.22	44.25	21.25
	III	$Y = 260.97 - 3.656t + 0.03913t^2 - 0.00011896t^3$	0.8491*	1.72	175.80	17.03	9.69
	IV	$Y = 264.7 - 2.195t + 0.00534t^2 + 0.0000271t^3$	0.8826*	2.35	164.39	46.55	28.32

1) I 为腐殖质表层; II 为腐殖质底层; III 为白浆层; IV 为潜育层,下同.表中样本数均为 6; ** 为很显著; * 为一般显著.

灰色关联分析作为一种系统分析技术,是分析系统中各因素关联程度的方法^[16].该方法的特点是对数据要求不苛刻,对错综复杂的多因素组成的灰色系统是行之有效的分析方法.对草甸白浆土各土层 P、K 含量的影响因子进行灰色关联分析,营养元素数据为各月实测量,各环境因子的数据为采样时

间段的对应值.采用初值化方法使原始分析数据无量纲化,设分辨系数为 0.5,其结果分别列为灰色关联矩阵(表 3).环境因子中,积水深度、水表温度、水底温度是每 5 天测定值在相应时间段的均值,pH 值为所采土样的实验室实测值,其余值为三江平原沼泽湿地生态试验站气象站实际气象观测数据.

表 3 草甸白浆土 P、K 含量的灰色关联矩阵¹⁾

Table 3 Grey relative matrix of P and K concentration in the meadow albic bleached soil

项 目	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
TP	I	0.807	0.788	0.726	0.741	0.707	0.763	0.732	0.732	0.695	0.673	0.658	0.766
	II	0.814	0.687	0.734	0.651	0.727	0.691	0.706	0.729	0.706	0.678	0.658	0.679
	III	0.800	0.741	0.704	0.745	0.662	0.659	0.702	0.705	0.661	0.643	0.635	0.771
	IV	0.825	0.669	0.800	0.742	0.702	0.739	0.686	0.716	0.693	0.665	0.648	0.682
TK	I	0.821	0.665	0.672	0.687	0.753	0.715	0.722	0.745	0.734	0.701	0.675	0.693
	II	0.817	0.672	0.718	0.668	0.722	0.699	0.701	0.725	0.709	0.679	0.659	0.639
	III	0.815	0.718	0.642	0.682	0.698	0.694	0.701	0.726	0.687	0.664	0.649	0.712
	IV	0.815	0.709	0.668	0.682	0.696	0.699	0.705	0.727	0.687	0.664	0.649	0.727
速 效 P	I	0.802	0.795	0.684	0.769	0.706	0.735	0.726	0.728	0.697	0.677	0.662	0.819
	II	0.799	0.735	0.652	0.769	0.681	0.685	0.705	0.711	0.676	0.659	0.648	0.712
	III	0.806	0.743	0.665	0.742	0.694	0.679	0.696	0.717	0.684	0.663	0.649	0.735
	IV	0.805	0.682	0.706	0.733	0.706	0.695	0.705	0.725	0.693	0.670	0.654	0.764
速 效 K	I	0.796	0.659	0.636	0.786	0.683	0.691	0.710	0.713	0.677	0.659	0.647	0.729
	II	0.804	0.624	0.699	0.766	0.713	0.745	0.724	0.732	0.701	0.679	0.662	0.739
	III	0.804	0.779	0.626	0.750	0.694	0.712	0.714	0.722	0.686	0.665	0.651	0.684
	IV	0.809	0.734	0.697	0.736	0.708	0.698	0.705	0.726	0.697	0.675	0.659	0.719

1) S1 为降水量;S2 为蒸发量;S3 为相对湿度;S4 为积水深度;S5 为日均温;S6 为积水表面温度;S7 为水底温度;S8 为 5cm 地温;S9 为 10cm 地温;S10 为 15cm 地温;S11 为 20cm 地温;S12 为相应土层 pH 值.

(1) 全 P 含量的灰色关联分析 从草甸白浆土各层次全 P 含量与其他环境因子的灰色关联矩阵中可以看出,降水量与土壤各层全 P 含量相关度最高,其次为相对湿度、水表温度、水底温度和 5cm 地温,更深地层地温的影响度相对较小。总的来说,腐殖质表层受环境因子影响相对较敏感,而居于底层的潜育层受环境因子影响最小。

(2) 全 K 含量的灰色关联分析 从表 3 可见,降水量与土壤各层全 K 含量相关度最高,其次为 5cm 地温、日均温、水底温度和 10cm 地温,其他因子的影响相对较小,20cm 地温影响最小。同一环境因子对各层影响度呈现明显的规律,从表层到土壤底层,影响度越来越小,随土壤深度增加,环境因子对土壤全 K 含量的影响减小,在 12 个环境因子中,居于土壤最上面的腐殖质表层有 9 个关联系数是 4 个层次中最大的。

(3) 速效 P 含量的灰色关联分析 各环境因子对相同土壤层次速效 P 含量的影响程度不同,其中降水量、pH 值、积水深度、5cm 地温和蒸发量的影响程度排在前三位,影响程度最小是 15cm 地温和 20cm 地温。此外各土层速效 P 含量受同一环境因子的影响程度不一,随土壤深度增加,影响度降低。腐殖质表层与环境因子的灰色关联系数有 10 个是最大值。

(4) 速效 K 含量的灰色关联分析 与前面类似,各环境因子对同一土层速效 K 含量的影响度是不同的。关联系数前 5 位的分别是降水量、积水深度、5cm 地温、水底温度和 pH 值,而 15cm 地温和 20cm 地温的影响程度则最小。同一环境因子对不同土层速效 K 的影响也不同,其中腐殖质底层受环境因子的影响最大,有 9 个灰色关联系数在 4 个土层中排最大,而位于最上层的腐殖质表层受环境因子的影响却最小。

4 结论

(1) 草甸白浆土 P、K 含量在剖面垂直方向具有明显的分层现象,且 P、K 含量与土层的相关性均较好,相关系数均在 0.94 以上。垂直剖面全 P 含量、速效 P 含量和速效 K 含量均随土层深度增加而降低,但剖面全 K 含量则随土层深度增加而增加。

(2) 草甸白浆土各土层 P、K 含量在植物生长季节均呈明显的动态变化,对其进行一元三次非线性回归模拟多得到理想的模拟效果。

(3) 剖面表层全 P 和全 K 含量的季节波动最

大,而位于最深的潜育层的季节变幅最小。各土层速效 P 含量均在植物生长季节初期和末期较高,而在植物旺盛生长期较低。速效 K 的变化规律与速效 P 类似,除表层在植物生长季节呈单调下降趋势之外,其余各土层也是生长季初期和末期较高,这与植物旺盛生长强烈吸收养分有关。

(4) 同一环境因子对草甸白浆土同一土层中全 P、全 K、速效 P 及速效 K 的动态分布影响程度不同;对不同土层中 P 或 K 动态分布影响程度也不同;不同环境因子对同一土层中 P、K 的动态分布影响程度更不同。在所有环境因子中,降水量的影响程度最大,土壤表层受环境因子的影响较底部土层敏感。

参考文献:

- [1] 章家恩,徐琪. 现代生态学研究的几大热点问题透视[J]. 地理科学进展, 1997, 16(3): 29~37.
- [2] 杨永兴. 国际湿地科学研究的主要特点、进展和展望[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 111~120.
- [3] 杨永兴. 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 508~514.
- [4] 庄亚辉. 全球生物地球化学循环研究的进展[J]. 地学前缘, 1997, 4(1~2): 163~168.
- [5] Ann Y, Reddy K R, Delfino J J. Influence of chemical amendments on phosphorus immobilization in soils from a constructed wetland[J]. Ecological Engineering, 2000, 14:157~167.
- [6] Olila O G, Reddy K R, Stites D L. Influence of draining on soil phosphorus forms and distribution in a constructed wetland[J]. Ecological Engineering, 1997, 9: 157~169.
- [7] Poach M E, Faulkner S P. Soil phosphorus characteristics of created and natural wetlands in the Atchafalaya Delta, LA[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1998, 46: 195~203.
- [8] 高俊琴,吕宪国. 毛茛苔草湿地开垦后土壤中主要营养元素垂直分异[J]. 水土保持通报, 2002, 22(3): 32~34.
- [9] 何池全,赵魁义. 毛茛苔草湿地营养元素的积累、分配及其生物循环[J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2074~2080.
- [10] 张芸,吕宪国. 排水对三江平原沼泽湿地土壤中化学元素的影响[J]. 农村生态环境, 2000, 17(1): 9~12.
- [11] 易富科. 三江平原沼泽湿地生物多样性特点与保护. 见:陈宜瑜主编. 中国湿地研究[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1995. 124~133.
- [12] 陈刚起. 三江平原沼泽研究[M]. 北京:科学出版社, 1996. 1~4.
- [13] 盛学斌,孙建中. 关于土壤磷素研究的现状和趋向[J]. 环境科学进展, 1995, 3(2): 11~21.
- [14] 金继运. 土壤钾素研究进展[J]. 土壤学报, 1993, 30(1): 94~101.
- [15] 鲁如坤. 我国土壤氮、磷、钾的基本状况[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 280~286.
- [16] 邓聚龙. 灰色控制系统[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1993. 1~35.