

土地利用方式对潮棕壤磷素剖面分布的影响

姜 勇¹, 张玉革^{1,2}, 梁文举¹, 孟凡祥¹, 刘艳军¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要:采用现场采集土壤样品及室内分析测试,对中国科学院沈阳生态实验站 4 种土地利用方式的潮棕壤在 0~150 cm 10 个土层中全磷的垂直分布、磷储量及碳磷比进行比较研究。结果表明,不同利用方式下土体中全磷平均含量为林地>撂荒地>玉米地>水稻田,各种利用方式土壤全磷含量在 0~30 cm 各层次差异不显著,30 cm 以下各层次玉米地和撂荒地差异不显著,但 60 cm 以下各层次林地土壤全磷显著高于其他 3 种利用方式,表明土地利用对磷素的剖面分布产生了明显的影响。4 种利用方式在 20 cm 深度土壤磷储量差异不明显,但在 100 cm 和 150 cm 深度,林地和撂荒地显著高于玉米地和水稻田土壤。土壤碳磷比随剖面深度下降而降低,在 40 cm 以下有林地和玉米地高于撂荒地和水稻田的趋势。回归分析表明,各种利用方式下土壤速效磷与全磷有较好的正相关关系,说明供试土壤中速效磷含量受全磷状况的影响较大。

关键词:潮棕壤; 土地利用; 土壤磷; 土壤磷储量; 剖面分布

中图分类号:S131 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)03-0512-05

Effects of Land Use on the Profile Distribution of Phosphorus in Aquic Brown Soil

JIANG Yong¹, ZHANG Yu-ge^{1,2}, LIANG Wen-ju¹, MENG Fan-xiang¹, LIU Yan-jun¹

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: The dynamics of soil total phosphorus, phosphorus storage and carbon/phosphorus(C/P) ratio at the depth of 0~150 cm in aquic brown soil was studied at the Shenyang Experimental Station of Ecology, Chinese Academy of Sciences under 14 years of four land use patterns (paddy field (PF), maize field (MF), fallow field (FF, fallowed for 9 years) and woodland (WL)). The results showed that the average concentration of soil total P under different land uses was woodland> fallow field> maize field> paddy field. There was no significant difference in soil total P of 0~30 cm layers among various land uses and in layers below 30 cm between maize and fallow fields; while, in layers below 60 cm, total P was significantly higher in woodland than in any of the other three land uses, indicating the obvious effects of land use practices on the profile distribution of total P. The soil P storage at the depth of 20 cm was not significantly different among the four land uses, but it was significantly greater in woodland and fallow field than in maize and paddy fields at 100 and 150 cm depths. The C/P ratio decreased with the profile depth and tended to be greater in woodland and maize field than in fallow and paddy fields in layers below 40 cm. Soil available P was positively correlated with total P under each land use pattern, indicating that the available P was significantly affected by total P status in test soil.

Keywords: aquic brown soil; land use; soil phosphorus; soil phosphorus storage; profile distribution

关于自然界中磷(P)素循环生态过程的研究对于解决农业、环境及资源问题具有重要意义,也是引

起广泛重视的科学问题。近年来,以农田排P为主的非点源污染往往是引起水体富营养化的水中P素的最主要来源,在一些地区农业非点源P所占的污染负荷比可高达70%。因此,对农业非点源P污染的研究日益受到重视^[1~4]。不同的土地利用方式一般会对土壤理化性质产生较大影响,充分了解土壤理化性质的变化是土壤养分管理和农田合理施肥的基

收稿日期: 2004-09-02

基金项目: 中国科学院沈阳生态实验站基金课题(SYZ0204); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-413)

作者简介: 姜 勇(1968—),男,博士,副研究员,主要从事土壤生态学。E-mail: jiangyong@iae.ac.cn

础^[5]。不同土地利用方式对土壤 P 素影响方面的研究已有较多报道^[6,7],由于不同地区、不同土壤类型及不同的利用方式,各研究的结果存在较大差异,并且有关这方面的研究多注重对表土层或耕层的研究,而针对于小尺度或同一地点的研究相对缺乏。本研究针对同一地点潮棕壤不同土地利用方式下土壤剖面中全 P 含量的垂直分布状况、碳磷比的变化、磷储量进行测定和比较,探索土地利用方式对土壤 P 素剖面分布的影响,为潮棕壤的 P 素循环和利用管理及土地利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点概况

土样采自中国科学院沈阳生态实验站(41° 31' N, 123° 22' E)。该站始建于 1989 年,是典型的潮棕壤分布区。位于下辽河平原,属暖温带半湿润大陆性气候。年平均气温 7℃~8℃,年降雨量 650~700 mm,≥ 10℃活动积温 3 300℃~3 400℃,无霜期 147~164 d。土壤类型为耕型壤质黄土状潮棕壤。土体深厚,有铁、锰结核,不含砾石,壤质。耕地中犁底层较明显,母质层粘重紧实。建站之前为大块水稻田,由于其土壤与植被类型、耕作和施肥等本底条件较为均一,土壤肥力较为均匀,在经过土壤基础肥力调查后被选为实验用地。建站之后,设置了不同的土地利用方式。

1.2 土壤样本采集

2003 年 11 月,分别采集水稻田、玉米地、撂荒地(常年为杂草覆盖)和人工杨树林地(加拿大杨, *Populus canadensis*) 4 种土壤样品,每种利用类型 3 个剖面,剖面深度 150 cm,分 10 层次取样,即 0~5、5~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80、

80~100、100~120、120~150 cm。土地利用方式等情况见表 1。2004 年 6 月测定分析。

1.3 土壤理化性质分析

土壤全 P 采用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮,土壤速效 P 采用 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ (pH8.5) 浸提 (Olsen 法),钼锑抗显色,Shimadza UV-2401 型紫外分光光度计测定,测定波长 700 nm;土壤有机碳采用干烧法,Shimadza TOC5000A 测定;土壤容重采用筒钻取样,105℃烘干法测定^[8]。

1.4 数据处理及土壤磷储量计算

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 10.0 软件进行相关的统计分析。土壤 P 储量计算见式(1)。

$$STP_s = \sum_{i=1}^n (C_i \times \rho_i \times T_i) \times 10^{-1}$$

(1)

式中:STP_s 为特定深度的土壤全 P 储量,t·hm²;C_i 为第 i 层土壤的全 P 含量,g·kg⁻¹;ρ_i 为第 i 层土壤容重,g·cm⁻³;T_i 为第 i 层土壤厚度,cm;n 为土层数。

2 结果与讨论

2.1 土壤全磷的剖面分布

土壤剖面各层次全 P 含量基本呈现出林地>撂荒地>玉米地>水稻田的趋势。在 0~5 cm,撂荒地和林地土壤全 P 的平均含量高于水稻田和玉米地,但统计检验表明 4 种利用方式全 P 含量差异未达到 P=0.05 显著性水平。而据 LSD 法比较的结果,0~5 cm 层撂荒地与水稻田全 P 差异性检验的 P 值为 0.045,达到 0.05 显著水平;林地与水稻田、玉米地间 P 值分别为 0.051、0.092,只达到 0.1 显著性水平。在 5~30 cm 各土层,4 种利用方式间土壤全 P 含量的差异未达到 P=0.05 显著性水平。30 cm 以下各层次中,撂荒地和玉米地全 P 含量差异不显著。60 cm 以

表 1 土壤样点分布及描述性特征
Table 1 Sampling sites and the escriptive characteristics of soil

编号	类型	年限	纬度(N)	经度(E)	备注
1	水稻田	>14	31' 12"	22' 11"	年施尿素、(NH ₄) ₂ HPO ₄ 、KCl 含 NPK 分别为 225、35 和 60 kg·hm ⁻²
2	水稻田	>14	31' 07"	22' 00"	
3	水稻田	>14	31' 06"	22' 00"	
4	玉米地	14	31' 09"	21' 58"	
5	玉米地	14	31' 10"	21' 58"	
6	玉米地	14	31' 08"	21' 58"	
7	撂荒地	9	31' 15"	21' 59"	1990—1994 年种植玉米, 1995 年后撂荒
8	撂荒地	9	31' 16"	21' 59"	
9	撂荒地	9	31' 16"	21' 58"	枯树落叶层厚约 3 cm。
10	林 地	14	31' 14"	22' 04"	
11	林 地	14	31' 14"	22' 05"	
12	林 地	14	31' 15"	22' 04"	

下各层次中,林地土壤全 P 含量显著高于其他 3 种利用方式,例如在 120~150 cm 层,林地土壤全 P 与水稻田、玉米地和撂荒地差异显著性检验的 P 值分别为 0.001、0.003 和 0.007,见表 2。

表 2 不同土地利用类型土壤各层次全磷 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 2 Profile distribution of soil total phosphorus under different land uses ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

深度/cm	水稻田	玉米地	撂荒地	林地
0~5	0.400±0.049a	0.423±0.094a	0.541±0.050a	0.536±0.086a
5~10	0.394±0.094a	0.368±0.034a	0.408±0.027a	0.441±0.074a
10~20	0.321±0.006b	0.379±0.007a	0.395±0.011a	0.381±0.030a
20~30	0.327±0.049a	0.350±0.016a	0.390±0.006a	0.395±0.046a
30~40	0.278±0.033b	0.305±0.025b	0.381±0.042a	0.401±0.054a
40~60	0.307±0.033b	0.327±0.034ab	0.361±0.071ab	0.412±0.037a
60~80	0.310±0.063b	0.358±0.028b	0.385±0.102b	0.529±0.034a
80~100	0.315±0.021c	0.382±0.041bc	0.439±0.107b	0.640±0.012a
100~120	0.307±0.013b	0.425±0.053b	0.425±0.115b	0.635±0.024a
120~150	0.308±0.004b	0.379±0.029b	0.418±0.088b	0.638±0.117a

注:表中数据为 3 次重复的平均值±标准差,同一行不同字母表示差异显著性($P\leq 0.05$)。

在剖面的不同土层间,土壤全 P 含量相差不大。4 种利用方式下 30~60 cm 2 个土层的全 P 含量低于各自剖面 30 cm 以上土层或 60 cm 以下土层。这主要与植物对这个层次的 P 素吸收有关,如 Kuhlmann^[9]在德国中部和北部 13 种土壤上进行了大量田间试验和盆栽试验表明,30~60 cm 的底土层供应了小麦全生育期需 P 量的 37%~85%。这个层次的 P 素主要由土壤提供,由于 P 在土壤中移动性很小,而传统的耕作方法往往将 P 肥施于土壤表层,从而使得 P 肥绝大多数仅残留于表土层中。林地和撂荒地土层中全 P 含量较高,主要原因与生物富集作用有关。棕壤次生阔叶林地在自然状态下的生物富集作用相当强,P 的生物归还率仅小于 Ca 和 N,达 130%以上^[10],由于林地和撂荒地基本不受人干扰,有机物或有机残体的积累,可增加土壤中 P 素含量^[1],通过枯枝落叶和植被腐根的养分富集作用,在增加土壤有机质含量的同时提高了表层的 P 素含量^[6]。同样,由于人工林地下层土壤有机质含量相对较高,可能增加了土层中有机 P 含量,从而使林地土壤 60 cm 以下各土层中的全 P 含量相对较高。另外,树木较深的根系有可能把更深层次的 P 通过根系吸收和生物富集作用带到上层土壤中^[1],从而使林地剖面下层土壤全 P 保持在较高水平。

2.2 土壤速效磷与全磷的关系

不同利用方式对土壤全 P 和速效 P 均产生较为明显的影响,但在总体上,不同利用方式下土壤全 P

的剖面分布与速效 P 具有较相似的趋势^[11]。分析表明,在各种利用方式中,土壤速效 P 与全 P 呈一定的线性正相关关系,其中林地和玉米地土壤达到极显著正相关(P 值均 $<0.001, n=30$),撂荒地达到显著正相关($P=0.026, n=30$),只有水稻田土壤未达到显著水平($P=0.138, n=30$),见图 1。

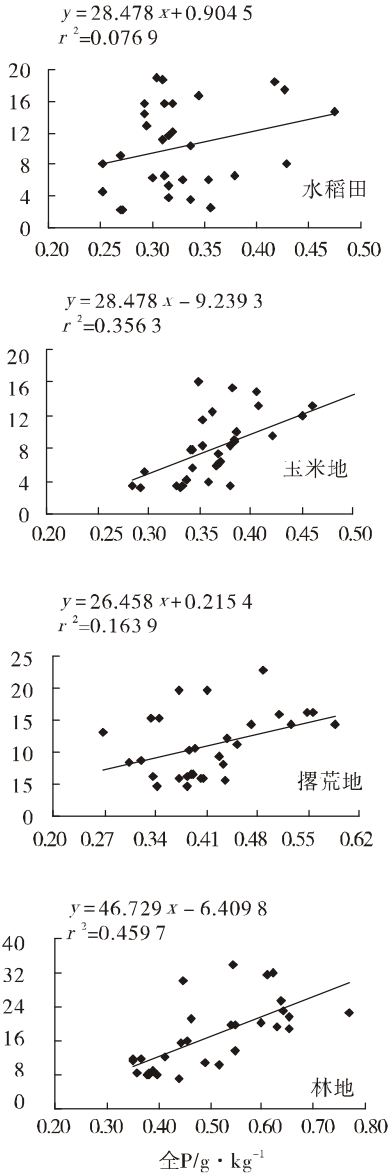


图 1 不同利用方式土壤速效 P 与全 P 的相关关系
Figure 1 Relationship between soil available and total phosphorus under different land uses

相对于土壤速效 P 的变异^[11],土壤全 P 在不同利用方式间和不同深度的变异较小,见表 2。一般情况下,土壤的速效 P 含量与全 P 不一定具有显著的正相关关系,原因是土壤中的速效 P 含量除受各种 P 化合物本身的组成、性质和数量影响外,还随土壤

溶液的 pH 值而变化,耕作土壤还受到农田施肥的影响,致使土壤中速效 P 的含量并不与全 P 含量严格平行^[10]。不同利用方式下全 P 与速效 P 不同的相关程度主要受利用方式对不同全 P 中无机态 P 组分影响所致^[12]。在棕壤区旱地,土壤无机 P 中的 Ca-P、Fe-P、Al-P 与速效 P 有显著的相关关系,而 Fe-P 是水田中的主要有效 P 源^[12]。另外,土壤 pH、Eh 及湿热状况均影响 P 素的有效性^[12]。因此,不同利用方式不仅使土壤剖面中全 P 含量产生了一些明显的变化,同时,由于利用方式变更还使土壤的氧化还原条件、酸碱度、剖面不同深度湿热状况发生了明显变化,致使不同利用方式下土壤速效 P 与全 P 之间有不同的相关关系。本研究中土壤速效 P 与全 P 具有一定的正相关关系,说明试验区中土壤速效 P 受全 P 的影响较大。

2.3 土壤磷储量

不同土地利用方式对不同厚度土层的全 P 储量产生了显著的影响。在 20 cm 厚度土层, P 储量为撂荒地 > 玉米地 > 林地 > 水稻田, 其中撂荒地与水稻田间差异达到显著水平 ($P=0.018$)。在 100 cm 厚度土层, P 储量为林地 > 撂荒地 > 玉米地 > 水稻田, 林地与撂荒地间差异未达到显著水平 ($P=0.056$), 与水稻田、玉米地间差异极显著 (P 分别为 0.001 和 0.007); 撂荒地与水稻田间差异达到显著水平 ($P=0.029$), 而与玉米地差异不显著 ($P=0.198$); 玉米地与水稻田间差异不显著 ($P=0.246$)。不同利用方式间 150 cm 与 100 cm 厚度土层的 P 储量的变化趋势较相似。在 150 cm 厚度, 林地的 P 储量显著高于撂荒地、玉米地和水稻田, P 值分别为 <0.001、0.002 和 0.010; 撂荒地显著高于水稻田 ($P=0.031$); 玉米地与水稻田间差异不显著 ($P=0.152$), 见图 2。

在自然生态系统中(如林地和草地),由于土壤

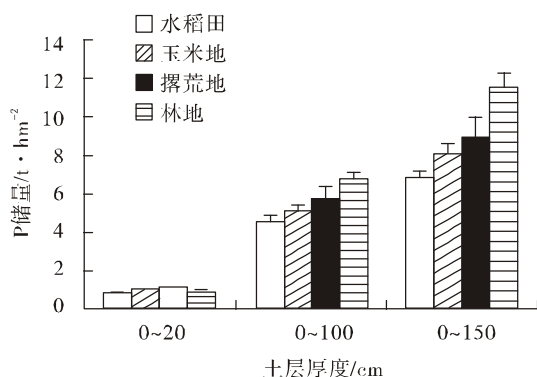


图2 不同利用方式下土壤 P 储量

Figure 2 Soil P storages under different land uses

溶液中 P 含量相对较低,植物对 P 的吸收受到限制,植物吸 P 量相对较低,而植物吸收的 P 大多以植物残体或枯枝落叶形式归返到土壤。另外,自然系统中 P 的流失很少,属环境友好型的生态系统。在农田生态系统中,作物每年都要从土壤中带走大量的 P 素,而生物归还量很低,施 P 肥可以补充 P 素,但施肥条件下农田土壤侵蚀和地表径流会造成 P 的流失^[1]。据 Vaithyanathan 和 Correll^[13]报道,农田系统土壤的 P 素流失约为森林系统的 8 倍,有机 P 的矿化是森林系统的 4 倍。由于土壤 P 素多以土壤颗粒的形式流失,耕地中施肥也加重了表土中 P 的流失^[14],本研究中土壤质地为砂壤质,耕地表土中 P 素应有一定量的流失,从而对表土层的 P 储量有一定的负面影响。从农田系统 P 素平衡看,研究地点水稻田和玉米地年施 P 量约 $35.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (输入量),按稻谷、稻草产量分别为 $9\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $7\,200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,稻谷、稻草含 P 量分别为 $3.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计^[15],则年平均输出 P 量约 $38.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;玉米及秸秆产量分别为 $9\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $9\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,含 P 量分别按 $2.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计^[15],则年平均输出 P 量约 $31.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。表观看,农田系统中的 P 素输入和输出是基本平衡的,其中水稻田略有亏损,而玉米地略有盈余。

不同利用方式下土壤的 P 储量与 N 储量^[16]及 C、S 储量(未发表资料)存在一定的差别。在 20 cm 深度,林地和撂荒地的 C、N、S 储量显著高于水稻田和玉米地,而 P 储量间的差异不明显;在 100 cm 和 150 cm 深度,玉米地的 C、N、S 储量略高于撂荒地,而 P 储量却低于撂荒地,说明 P 素与 C、N、S 循环存在一定的差异,C、N、S 受外循环的影响相对较大,而 P 受外循环的影响相对较小^[17]。

2.4 土壤碳磷比

土壤中碳磷比(C/P)对于土壤 P 素矿化和固定有较大影响^[1]。不同利用方式下土壤 C/P 均表现出随剖面深度降低而下降的趋势。0~5 cm 表层 C/P 差异极显著,而 5~40 cm 各层次间差异不明显,40 cm 以下各层次中,玉米地和林地土壤 C/P 相对较高,而水稻田和撂荒地土壤 C/P 相对较低(表 3)。

不同利用方式下土壤 C/P 的结果表明,不同利用方式对 C 和 P 循环产生了不同的影响,使土壤 C、P 含量以不同速度消长。林地有机 C 积累要大大高于 P 素的变化,因此林地下层土壤的 C/P 较高。撂荒地在土壤剖面各层次的有机 C 积累与玉米地无显著

表3 不同土地利用方式土壤碳磷比(C/P)

Table 3 Soil carbon/phosphorus ratios under different land uses

深度/cm	水稻田	玉米地	撂荒地	林地
0~5	27.63±0.90b	25.31±5.17b	36.34±1.27b	55.17±10.74a
5~10	25.10±6.33a	28.41±2.58a	26.35±1.30a	22.85±4.22a
10~20	25.00±2.97a	26.14±1.31a	23.18±2.25a	26.24±2.40a
20~30	19.27±5.55a	25.86±1.53a	20.68±1.64a	22.45±3.41a
30~40	17.13±2.97b	22.39±2.16a	18.58±1.13ab	20.04±0.93ab
40~60	14.13±3.35b	22.11±2.37a	14.86±2.90b	17.76±1.81ab
60~80	11.07±2.83b	18.38±2.71a	10.45±1.74b	17.34±2.31a
80~100	7.20±1.39b	13.86±1.89a	5.58±2.22b	12.91±2.64a
100~120	5.17±0.31b	6.95±0.08ab	4.14±0.44b	9.84±3.36a
120~150	4.93±0.47a	4.94±0.61a	5.04±0.51a	7.05±3.06a

注:表中数据为3次重复的平均值±标准差,同一行不同字母表示差异显著性($P\leq 0.05$)。

性差异,而P素却略高于玉米地,因此除表层外撂荒地土壤C/P低于玉米地。

3 小结

土壤P素的剖面分布结果表明,经过14a(其中撂荒地为9a)土地利用方式的变更后,稻田、玉米地、撂荒地和林地剖面全P含量存在一定的差异,表明土地利用方式对土壤P素的影响。在100cm和150cm深度,土壤P储量为林地>撂荒地>玉米地>水稻田,但在20cm深度,各种利用方式间差异不明显。土壤速效P含量与全P具有一定的正相关关系,说明了土壤全P对供试土壤植物有效态P含量的影响。土壤碳磷比随剖面深度下降而降低,在40cm以下有林地和玉米地高于撂荒地和水稻田的趋势。

本试验在长期定位实验站进行,建站前研究地点的土壤类型、植被类型、耕作和施肥条件等本底条件较为均一,土壤肥力较为均匀,经过14a土地利用方式变更后对土壤P素的变化情况进行研究的结果,有助于加深我们对农林生态系统中P素循环和变化的了解,丰富我们在农林生态系统P素管理方面的知识。不过,本试验中林地土壤P素积累较多,除土壤有机质增加富集到一部分P素外,林地生态系统中干湿沉降、P素的输入输出平衡也是导致其P素增加的主要原因。因为生态系统中P素循环受到多方面因素影响,有关林地土壤P素富集的原因还

有待于从P素的内外循环、环境因子影响等方面进行更深入的研究。

参考文献:

[1] Brady NC, Weil RR. The nature and properties of soil (13th ed) [M]. New Jersey: Pearson Education Inc. 2002.363-412, 592-637.

[2] 胡雪峰,许世远,陈振楼,等.上海市郊中小河流水污染现状及对策[J].农业环境保护,2002,21(3):204-207,231.

[3] 高 超,张桃林,吴尉东.农田土壤中的磷向水体释放的风险评价[J].环境科学学报,2001,21(3):343-348.

[4] 吕家珑, Fortune S, Brookes PC. 土壤磷淋溶状况及其 Olsen 磷突变点研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 142-146.

[5] Franzen DW, Horman VL, Halvorson AD, et al. Sampling for site-specific farming: Topography and nutrient considerations[J]. *Better Crop*, 1996, 80(3): 14-18.

[6] Islam KR, Weil RR. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh[J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2000,79(9): 9-16.

[7] 沙丽清,邱学忠,甘建民,等.云南保山西庄山地流域土地利用方式与土壤肥力关系研究[J].生态学杂志,2003,22(2):9-11.

[8] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000.

[9] Kuhlmann H.Importance of the subsoil for the K-nutrition of crops [J]. *Plant Soil*, 1990, 127: 129-136.

[10] 贾文锦. 辽宁土壤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社,1992.117-176, 256-276.

[11] 张玉革,姜 勇,梁文举,等.潮棕壤不同利用方式 pH 和 Olsen-P 的垂直变化特征[J].水土保持学报,2004,18(4):89-92.

[12] 鲁如坤.土壤—植物营养学原理与施肥[M].北京:化学工业出版社,1998.153-208.

[13] Vaithiyanathan P, Correll DL. The Rhode river watershed:phosphorus distribution and export in forest and agricultural soils[J]. *J Environ Qual*, 1992, 21: 280-288.

[14] Andraski TW, Bundy LG. Relationships between phosphorus levels in soil and in runoff from corn production systems[J]. *J Environ Qual*, 2003, 32: 310-316.

[15] 鲁如坤.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究Ⅱ,农田养分收入参数[J].土壤通报,1996,27(4):151-154.

[16] Zhang Y G,Jiang Y, Liang W J,et al.Vertical variation and storage of nitrogen in an aquic brown soil under different land uses[J].*J Forest Res*,2004,15(3):192-196.

[17] 沈善敏,宇万太,张 璐,等.杨树主要营养元素内循环及外循环研究Ⅱ.落叶前后养分在植株体内外的迁移和循环[J].应用生态学报,1993,4(1):27-31.