

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

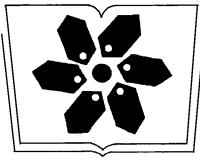
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期
Vol.30 No.21
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应·····	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势·····	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性·····	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康·····	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系·····	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果·····	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子·····	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应·····	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局·····	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 ·····	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 ·····	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系·····	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征·····	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响·····	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征·····	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较·····	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局·····	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 ·····	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 ·····	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 ·····	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 ·····	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 ·····	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 ·····	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响·····	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较·····	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响·····	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 ·····	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 ·····	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响·····	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
专论与综述	
河流水质的景观组分阈值研究进展 ·····	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
研究简报	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 ·····	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 ·····	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征

柏方敏^{1,2}, 田大伦^{1,3,*}, 方晰^{1,3}, 闫文德^{1,4}, 梁小翠^{1,4}

(1. 中南林业科技大学, 长沙 410004; 2. 湖南省林业厅, 长沙 410007;

3. 南方林业生态应用技术国家工程实验室, 长沙 410004; 4. 国家重点野外科学观测研究站, 会同 418307)

摘要:对洞庭湖西岸区 4 种防护林地土壤与植物中营养元素含量进行研究。结果表明:环湖低丘平原封山育林和补植封山育林的水土保持林、平原湖区防护林 pH 值为 4.54—5.27, 呈酸性反应;防浪护堤林 pH 值为 8.18, 呈碱性反应。有机质和全 N 含量以环湖低丘平原封山育林的水土保持林地高于其余 3 种防护林, N 素和 P 素有效率均低, 速效 N 仅占全 N 含量的 1.46%—3.35%, 速效 P 仅占全 P 的 0.5%—1.6%, 全 K 含量亦不高, 除环湖低丘平原封山育林的水土保持林地含 K 量适量外, 其余 3 种防护林地均为严重缺 K 型土壤, 防浪护堤林地全 Ca 及 Mg 含量高于其余 3 种防护林地。各防护林群落中植物体内不同营养元素含量差异很大, 同一元素在不同植物体内含量的变化范围亦很大, 高低值达几倍到十几倍, 甚至几十倍。植物对土壤中营养元素的积累能力分为最强、中等和最弱 3 个层次。研究结果可为防护林体系建设和土壤肥力评价提供科学依据。

关键词:洞庭湖区; 防护林; 土壤; 植物; 营养元素含量

Soil and plant nutrient status of protective forests in western bank of Dongting Lake

BAI Fangmin^{1,2}, TIAN Dalun^{1,3,*}, FANG Xi^{1,3}, YAN Wende^{1,4}, LIANG Xiaocui^{1,4}

1 Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China

2 Forestry Department of Hunan Province, Changsha, 410007 China

3 National Engineering Laboratory for Applied Technology of Forestry & Ecology in South China, Changsha 410004, China

4 National Field Station for Scientific Observation and Experiment, Huitong 418307, China

Abstract: Apart from providing wood materials and other forest side-products, forests provide a great deal of protective services, for example in soil and water conservation, in carbon sequestration, and in reducing the risks of impacts of floods, erosion and drought. The effect of forest structure on nutrient status and cycling is fundamental to our understanding of ecosystem function. To determine the influence of forest structure on concentration, distribution and accumulation of mineral elements, nutrient status in soil and plant of four protective forest types (Preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (PF); Replanting preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (RPF); Protective forest bands on plain area (PFB); and Wave-break Forest bands along the shores of the lake (WFB)) were investigated in western bank of Dongting Lake. Our specific objectives were to (1) quantify variation of pH value, bulk density, texture, organic matter content, and macronutrients (N, P, K, Ca, and Mg) and available-nutrient elements (available-N, available-P, and available-K) concentrations in soils in the four forest types; (2) determine distribution of macronutrient elements in different plant organs in the studied forest stands; (3) calculate biological absorption intensity of nutrients by plants from soil systems; and (4) examine effects of forest structure on nutrient status in these four forest communities.

Results showed that average soil bulk density was higher in WFB (1.52 g/cm^3) than other forest types (ranged 1.21

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(200704015, 200804030); 国家林业局重点项目(2006-11, 2007-R23, 2008-81); 中德合作湖南省洞庭湖生态造林项目(1997-174)

收稿日期:2010-07-08; **修订日期:**2010-09-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: csuftdl@126.com

$-1.52\text{g}/\text{cm}^3$). Soil pH value was acidic (4.54–5.27) in PF, RPF and PFB, but alkaline (8.18) in WFB. Soil organic matter and total N contents were significantly higher in PF due to more litter accumulated on the forest floor when compared with those in other three protective forest types. The concentrations of available N and P in soil were very low and accounted for 1.46%–3.35% of total N and 0.5%–1.6% of total P in PF, respectively. It was found that total K content was adequate in PF, but was considerable deficient in other three forest types. The average concentrations of total Ca and Mg in soils were statistically higher in WFB (16.89 and 5.03 g/kg, respectively) than in other three stand types. The contents of nutrients in plants changed greatly in different forest types and the concentration of same nutrient element in different plant organs varied widely within the same forest type as well. Based on the biological absorption coefficient (A) (calculated using the equation: $A = (C_p/C_n) \times 100$, where C_p and C_n are the concentrations of the same nutrient element in plant and soil, respectively), the total of 66 vegetation species (including tree, shrub, and herbaceous species) in the study sites was classified into three groups: strong absorption species ($A > 1000$), medium absorption species ($A 100 - 1000$) and low absorption species ($A < 100$). Our results demonstrated that nutrient status and distribution in forest stands were strongly influenced by forest community structure. The results provided scientific references for studying nutrient biogeochemistry cycling, constructing and managing the protective forest systems, and assessing and maintaining soil fertility in forest ecosystems.

Key Words: Dongting Lake; protective forest; soil; plant; nutrient concentrations

森林是陆地生态系统的主体,是人类赖以生存的重要资源,不仅能提供木材及其他林产品,更具有调节气候、涵养水源、保持水土、防风固沙等功能,在维护自然生态环境中具有不可替代的作用。我国是一个森林资源短缺的国家。为从根本上扭转我国生态环境恶化的状况,缓解森林资源危机,维护生态平衡,充分发挥森林在陆地生态系统中的主体作用,从1978年起,我国先后确立了以遏制水土流失、改善生态环境、扩大森林资源为主要目标的十大林业生态工程^[1],主要布局启动防护林体系建设工程。如今我国防护林体系建设在理论和实践方面都已取得了令人可喜的成绩,已建成的防护林体系,在改善生态环境与促进经济可持续发展方面发挥着重要作用^[2]。有关防护林体系的研究不仅限于生态效益^[3-5]和经济效益^[6]方面,已扩展到诸如林带对野生动物的保护^[7]、林网-农田复合生态系统的生理生态特征、对大区域气候影响等更为广泛的研究领域^[8-10]。

洞庭湖是我国第二大淡水湖,位于湖南省北部、长江中游荆江段的南岸,湖区耕地集中,是我国九大商品粮基地和十大淡水养殖基地之一,也是湖南省粮棉麻的重要产区。在洞庭湖区建设防护林体系工程主要是为农业生产服务,改善生态环境,增强调蓄洪水能力,保障农业的稳定、高产。多年来,洞庭湖的防护林体系建设,成绩巨大、效益明显^[11]。1998年又启动了以改善生态环境和发展农业为目的的中德合作洞庭湖区生态造林项目。项目规定在洞庭湖区的澧县等8个县市区,5a内必须完成营造4种防护林(封山育林、补植封山育林、防护林和防浪护堤林)任务。防护林是以发挥森林防护功能为主要经营目标的一个林种,在防护林体系建设中处于主体地位。开展防护林的研究,具有重要的科学价值。以往对防护林的研究,多侧重于防护林营造技术及生态效益方面^[2,6,11],而对植物元素含量的研究却少有报道。本次研究则以上述4种防护林群落为研究对象,研究了群落中66种植物(乔木、灌木及草本植物)及其生长的土壤中营养元素含量特征,不仅在植物生态学和植物地球化学方面具有重要意义,而且对防护林土壤肥力评价及防护林的植物资源保护均具有实践意义。

1 研究地概况

研究地设于澧县。澧县位于湖南省西北部,洞庭湖西岸,环湖低丘平原区澧水下游,因澧水贯穿全境而得名。地理位置 $111^{\circ}12' - 112^{\circ}0' \text{ E}$, $29^{\circ}16' - 29^{\circ}57' \text{ N}$ 。地势为西北高,东南低,最高海拔 1019.5m,最低海拔 28.2m。属亚热带季风湿润气候,年平均气温 16.5°C ,年极端最高气温 40.5°C ,年极端最低气温 -13.5°C 。年

日均气温 5℃ 以上的持续时期为 356.5d, 无霜期年平均 265d, 年平均日照 1770.6h, 年平均降水量 1213mm。土壤以水稻土、红壤、潮土为主。植被属中亚热带常绿阔叶林北部亚热带, 植被有马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、白栎 (*Quercus alba* L.)、樟树 (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz.)、五节芒 (*Miscanthus floridulu* (Labnll.) Warb.)、苔草 (*Carex leucochlora* Bge.) 等。各样地概况见表 1。

2 研究方法

2.1 样品采集

在研究区各种防护林内分别设置标准地 (667m²) 4 块, 共 16 块。在每块样地内, 随机设置 4 个采集土壤样点, 每个样点按 0—15、15—30、30—45、45—60cm 层次采集土壤 500g, 每类防护林地土壤样品 64 个, 4 种类型防护林土壤共 256 个。经室内风干后, 分别过 20 和 100 目筛备用。另在各防护林内, 在测定植物生物量的同时, 采集各种植物样品 (含地上部分和地下部分) 各 1kg, 每种植物样品重复 4 次。植物样品带回实验室后用自来水和蒸馏水清洗干净, 置 105℃ 烘箱杀青 5 min, 再置 80℃ 烘箱烘置恒重, 研磨粉碎备用。

2.2 化学分析方法

土壤 pH 值用 SJ-4A 型 pH 计测定; 全 P 用碱熔-钼锑钨比色法测定; 速效 P 用盐酸-氟化铵法测定; 全 K 用碱熔-火焰光度法测定; 速效 K 用 1 mol/L 醋酸铵浸提-火焰光度法测定; Ca、Mg 用碳酸钠碱熔-盐酸提取后, 采用 Hp3510 原子吸收分光光度计测定。土壤有机质用重铬酸钾氧化法测定, 全 N 用半微量凯氏法测定, 速效 N 用蒸馏法测定。土壤容重用环刀法测定。土壤颗粒分析用比重计法测定, 并采用我国土壤颗粒成分分级标准和土壤颗粒组成分类 (质地分类) 标准来决定机械组成和质地。

植物样品全 N 用半微量凯氏法测定; 全 P 用钒钼黄比色法测定; 全 K 用火焰光度法测定; Ca、Mg 用 Hp3510 原子吸收分光光度计测定。

2.3 数据处理

用 SPSS13.0 软件进行数据处理。数据统计采用单因子方差分析, 对环湖低丘平原封山育林水土保持林、环湖低丘平原补植封山育林水土保持林、平原湖区防护林、防浪护堤林土壤营养元素含量进行比较。植物和土壤均用化学分析结果的平均值表示。

3 结果与分析

3.1 防护林土壤质地和容重

从表 2 可以看出, 洞庭湖西岸区防护林地土壤 (0—60cm) 容重变化范围为 1.21—1.52g/cm³ 之间, 各林地土壤的平均容重 (0—60cm) 间差异显著 ($P < 0.05$), 其中防浪护堤林土壤平均容重最大, 为 1.52 g/cm³, 显著大于其他 3 种林地。表明防浪护堤林地土壤较坚实。

根据我国土壤质地分类标准^[12] 可以看出, 环湖低丘平原封山育林和补植封山育林的水土保持林土壤质地分别为壤粘土和粘土, 平原湖区防护林土壤为粘壤土, 防浪护堤林土壤为粉壤土, 表明防浪护堤林地土壤粘粒、粉粒和砂粒的配合比例适宜, 通气透水性好, 又有一定的保水保肥性能, 能较好地满足林木对空气、水分的需要。

3.2 防护林土壤营养元素含量

3.2.1 大量营养元素含量

从表 3 可以看出, 4 种防护林地土层 0—60cm 中, 防浪护堤林土壤 pH 值为 8.18, 呈碱性反应, 这与河湖相沉积物组成密切相关, 且显著高于呈酸性反应的环湖低丘平原封山育林 (4.54) 和补植封山育林的水土保持林 (5.03)、平原湖区防护林 (5.27) ($P < 0.05$), 而环湖低丘平原补植封山育林的水土保持林与平原湖区防护林间差异不显著 ($P > 0.05$)。环湖低丘平原封山育林的水土保持林, 主要树种为 22 a 生马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.), 占林分总株数的 77%, 林地土壤 pH 值为 4.54, 显著低于其他 3 种防护林地 ($P < 0.05$), 但仍在吴征镒^[13] 研究的马尾松最适宜的土壤 pH 值范围 (4.5—6.0) 之内。

土壤有机质含量为环湖低丘平原封山育林水土保持林显著高于其他 3 种防护林 ($P < 0.05$), 由于环湖低

表 1 样地概况
Table 1 Basic status of plots

防护林类型 Protective forest types	地点 Places	坡向 slope aspect	坡度 slope degree / (°)	坡位 slope position	海拔 altitude /m	林龄 Forest age/a	林冠层 Canopy layer		郁闭度 Canopy density	林分生物量 Forest biomass / (t/hm ²)	林冠层树种 Tree Species in the canopy layer
							平均树高 Average height/m	平均胸径 Average DBH/cm			
环湖低丘平原封山育林水土保持林 Preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (PF)	间口乡	东北	10	下	150	22	6.7	9.29	0.9	113.64	马尾松
环湖低丘平原补植封山育林水土保持林 Replanting preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (RPF)	间口乡	南	15	中	145	8	3.72	5.53	0.8	31.54	天然次生林白栎、冬青、樟树等补植的马尾松和湿地松已成为林冠层
平原湖区防护林 Protective forest bands on plain area (PFB)	王家厂乡	西南	11	下	48	10	4.7	10.05	0.8	34.27	湿地松
防浪护堤林 Wave-break Forest bands along the shores of the lake (WFB)	澧东乡	东	12	下	39.5	10	16.8	17.4	0.6	121.35	杨树

表 2 防护林地土壤容重、机械组成
Table 2 Soil density and mechanical component of protective forest

林型 Forest types	土壤容重 Soil density / (g/cm ³)	不同粒径 (mm) 的百分比/% The percentage of different diameter soil				土壤质地 Soil texture
		<0.001	0.001—<0.005	0.005—<0.01	0.01—<0.05	
环湖低丘平原封山育林水土保持林 Preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (PF)	1.21a	37.1(5.4)	21.6(2.4)	9.2(2.8)	18.3(2.5)	壤粘土
环湖低丘平原补植封山育林水土保持林 Replanting preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (RPF)	1.37b	40.2(4.0)	15.1(2.5)	17.8(1.7)	22.7(3.9)	粘土
平原湖区防护林 Protective forest bands on plain area (PFB)	1.46c	27.1(2.5)	23.2(1.1)	17.6(2.7)	23.4(4.0)	粘壤土
防浪护堤林 Wave-break Forest bands along the shores of the lake (WFB)	1.52d	12.6(1.8)	9.8(1.6)	8.4(1.9)	33.9(4.5)	粉壤土

注:括号内数据为标准误差

表 3 防护林地土壤大量营养元素含量
Table 3 Nutrient concentrations in soil of protective forest

防护林类型 Protective forest types	pH	有机质 Organic matter / (g/kg)		全 N Total N / (g/kg)		全 P Total P / (g/kg)		全 K Total K / (g/kg)		全 Ca Total Ca / (g/kg)		全 Mg Total Mg / (g/kg)		速效 N Available N / (mg/kg)		速效 P Available P / (mg/kg)		速效 K Available K / (mg/kg)	
		21.00a (4.171)	4.54a (0.074)	1.10a (0.135)	0.27a (0.061)	2.80a (0.259)	0.41a (0.060)	1.23a (0.122)	16.11a (1.905)	1.30a (0.301)	0.41a (0.027)	0.59a (0.039)	1.47b (0.086)	31.15b (3.251)	18.53a (2.513)	2.62b (0.457)	1.53ab (0.318)	149.50a (25.536)	
环湖低丘平原封山育林水土保持林 Preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (PF)	4.54a (0.074)	21.00a (4.171)	4.54a (0.074)	1.10a (0.135)	0.27a (0.061)	2.80a (0.259)	0.41a (0.060)	1.23a (0.122)	16.11a (1.905)	1.30a (0.301)	0.41a (0.027)	0.59a (0.039)	1.47b (0.086)	31.15b (3.251)	18.53a (2.513)	2.62b (0.457)	1.53ab (0.318)	149.50a (25.536)	
环湖低丘平原补植封山育林水土保持林 Replanting preserved forests for soil and water conservation on hilly areas along the lake (RPF)	5.03b (0.047)	14.23b (1.065)	0.77b (0.046)	0.16b (0.006)	2.90a (0.161)	0.62a (0.027)	1.32ab (0.046)	21.52a (2.283)	21.52a (2.283)	2.62b (0.457)	1.53ab (0.318)	1.53ab (0.318)	4.71c (0.486)	54.61b (7.445)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)
平原湖区防护林 Protective forest bands on plain area (PFB)	5.27b (0.185)	11.03b (1.045)	0.81b (0.082)	0.16b (0.009)	2.53a (0.168)	0.59a (0.039)	1.47b (0.086)	18.53a (2.513)	18.53a (2.513)	1.53ab (0.318)	1.53ab (0.318)	1.53ab (0.318)	4.71c (0.486)	54.61b (7.445)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)	57.67b (3.793)
防浪护堤林 Wave-break Forest bands along the shores of the lake (WFB)	8.18c (0.047)	12.91b (1.312)	0.93ab (0.067)	0.67c (0.015)	2.63a (0.136)	16.89b (0.460)	5.03c (0.066)	31.15b (3.251)	31.15b (3.251)	4.71c (0.493)	4.71c (0.493)	4.71c (0.493)	54.61b (7.445)	54.61b (7.445)	54.61b (7.445)	54.61b (7.445)	54.61b (7.445)	54.61b (7.445)	54.61b (7.445)

注:括号内的数据为标准误差,同列不同字母表示差异显著(P<0.05),相同字母表示差异不显著(P>0.05)

丘平原封山育林水土保持林造林时间长,林地积累的凋落物较多,土壤有机质含量显然高。

土壤全 N 含量为 0.77—1.10 g/kg,且环湖低丘平原封山育林水土保持林显著高于环湖低丘平原补植封山育林水土保持林和平原湖区防护林($P < 0.05$),而与防浪护堤林间差异不显著($P > 0.05$)。

土壤速效 N 含量为 16.11—31.15 mg/kg,而土壤速效 N 含量是土壤有效 N 的主要形式,反映土壤近期可供植物利用的有效 N 状况,可用速效 N 在全 N 含量中的百分率作为 N 素有效率^[14],经计算表明,环湖低丘平原封山育林水土保持林地土壤有效 N 为 1.46%;环湖低丘平原补植封山育林水土保持林地为 2.79%;平原湖区防护林地为 2.29%;防浪护堤林地为 3.35%。可见,各防护林地土壤中 N 素有效率较低。

土壤全 P 和速效 P 含量均为防浪护堤林显著高于其余 3 种防护林地($P < 0.05$)。全 K 含量在 4 种防护林地间差异不显著($P > 0.05$)。速效 K 含量水平是决定土壤 K 元素肥效的重要指标,速效 K 含量则为环湖低丘平原封山育林水土保持林地显著高于其余 3 种防护林地 3 倍($P < 0.05$)。土壤速效 K 含量水平的等级划分标准为: < 80 mg/kg 为严重缺 K; 80—125 mg/kg 为缺 K; > 125—155 mg/kg 适量; > 155 mg/kg 为富 K^[15]。本研究中,环湖低丘平原封山育林水土保持林地为含 K 适量型土壤,而其他 3 种防护林地则为严重缺 K 型土壤。

从表 3 还可以看出,全 Ca 和全 Mg 含量以防浪护堤林土壤最高,为 16.89 g/kg 和 5.03 g/kg,且显著高于其余 3 种防护林地的 27—41 倍和 3—4 倍($P < 0.05$)。

3.2.2 防护林土壤中营养元素的相关分析

相关分析结果表明(表 4),防护林土壤的 pH 与 P、Ca、Mg 呈极显著正相关($P < 0.01$),与 N、K 相关性不明显。表明随着降水和气温的增加,土壤酸化,导致 P、Ca、Mg 流失,含量下降,N、K 的积累不明显。P、Ca、Mg 两两之间均呈极显著正相关($P < 0.01$);P 含量与 K 相关性不强;K 与 Ca、Mg 间相关性不强。以上结果表明土壤中不同元素之间相互影响较为明显,且主要表现为协同或拮抗 2 种类型。

表 4 防护林土壤 pH 值、营养元素含量间的相关分析

Table 4 Correlations between soil pH and nutrient concentrations of protective forest

	pH	N	P	K	Ca
N	-0.048	1			
P	0.830**	0.203	1		
K	-0.019	-0.085	-0.005	1	
Ca	0.949**	0.040	0.893**	-0.080	1
Mg	0.947**	0.067	0.899**	-0.043	0.977**

3.3 主要定居植物营养元素含量

3.3.1 植物体内营养元素含量

植物体内营养元素的组成及含量水平,在很大程度上取决于土壤中各营养元素的组成及含量水平,以及植物对土地中各种营养元素的吸收和富集能力。如表 5—表 8 所示,在防护林地上生长的植物种类较多,有乔木、灌木、藤本及草本植物。植物中不同元素含量的差异很大。大量营养元素 N 含量在 6.00 g/kg 以上有表 5、表 6 和表 8 中所列植物及表 7 中所列的大部分植物;各种植物体内 P 元素含量均在 6.00 g/kg 以下;K 元素在各种植物体内的含量差异较大,最高值为 33.00 g/kg,最低值仅为 1.08 g/kg;Ca、Mg 元素含量为 1.00—21.00 g/kg。

同一元素含量在不同植物体内的变化范围亦很大,高低值一般相差几倍到十几倍,甚至几十倍,如乌菟莓(*Cayratia japonica*)N 元素含量最高为 39.04 g/kg,沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)最低,为 0.57 g/kg,二者竟相差 68 倍。

3.3.2 生物吸收系数比较

植物因生活习性不同,木本和草本植物从环境中吸收和积累营养元素的能力有较大差别,可用生物吸收

表 5 环湖低丘平原封山育林水土保持林主要植物的营养元素含量/(g/kg)

Table 5 Nutrient concentrations of main plant of PF

层次 Layers	物种 Species	N	P	K	Ca	Mg
林冠层 Canopy layer	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	6.39(2.59)	0.54(0.27)	6.90(2.97)	2.93(0.63)	0.67(0.20)
下木层 Layer under the wood	香椿 <i>Toona sinensis</i>	12.80(2.24)	0.52(0.25)	4.90(0.73)	6.93(0.78)	1.41(0.29)
	槐树 <i>S. china</i> L.	23.05(10.22)	1.43(0.44)	8.72(3.68)	10.30(1.86)	1.95(0.28)
	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	7.54(1.98)	0.53(0.14)	3.36(0.81)	7.02(0.79)	1.73(0.21)
	刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i>	6.59(1.51)	1.82(0.39)	7.50(1.74)	10.00(1.36)	1.81(0.25)
	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	10.86(6.56)	0.43(0.12)	1.18(0.22)	5.53(1.86)	0.94(0.10)
	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	15.51(0.22)	0.54(0.13)	3.55(0.48)	5.83(0.10)	1.49(0.10)
灌木层 Shrub layer	白马骨 <i>Serissa serissoides</i>	11.96(0.98)	0.44(0.03)	2.46(0.44)	6.60(0.65)	1.08(0.11)
	牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	14.75(3.35)	0.73(0.09)	6.16(1.38)	4.75(1.46)	2.05(0.35)
草本层 Herb layer	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	10.12(0.71)	1.13(0.10)	2.57(0.04)	6.41(2.27)	1.22(0.11)
	苔草 <i>Carex leucochlora</i> Bge	14.81(1.00)	0.58(0.15)	6.96(3.56)	4.31(0.91)	1.17(0.32)
	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	13.65(0.44)	0.46(0.11)	11.55(2.12)	4.29(0.90)	2.55(0.11)
	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	15.33(0.06)	0.99(0.54)	6.34(0.07)	3.14(0.58)	1.86(0.22)
	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	16.05(0.14)	0.91(0.09)	7.55(0.72)	5.64(2.06)	3.45(0.13)

括号内数据为标准误差

表 6 环湖低丘平原补植封山育林水土保持林主要植物的营养元素含量/(g/kg)

Table 6 Nutrient concentrations of main plant of RPF

层次 Layers	物种 Species	N	P	K	Ca	Mg
林冠层 Canopy layer	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	7.65(2.50)	0.83(0.37)	9.23(3.57)	3.99(0.79)	0.68(0.18)
	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	6.50(1.28)	0.39(0.06)	2.70(0.73)	5.97(2.41)	0.98(0.10)
下木层 Layer under the wood	白栎 <i>Quercus fabri</i>	14.27(1.96)	0.54(0.16)	3.66(0.87)	10.01(1.41)	1.58(0.21)
	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Presl.	11.13(0.16)	0.51(0.07)	2.76(0.52)	6.70(0.33)	1.97(0.29)
	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	16.82(3.11)	0.33(0.07)	4.18(0.85)	4.74(0.67)	1.83(0.23)
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	7.88(1.28)	0.67(0.11)	2.78(0.42)	4.17(0.71)	2.72(0.35)
	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	7.97(1.99)	3.04(0.56)	4.86(1.38)	17.19(0.77)	2.77(0.29)
	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	13.32(0.19)	0.42(0.07)	3.41(0.76)	6.84(0.35)	2.73(0.28)
	白栗 <i>Castanea mollissima</i> Blume	9.58(2.54)	1.14(0.55)	2.95(0.05)	10.88(0.81)	1.84(0.69)
	野鸭椿 <i>Euscaphis japonica</i>	14.36(0.99)	0.49(0.13)	2.33(0.55)	7.53(0.81)	3.22(0.89)
灌木层 Shrub layer	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	18.77(4.26)	0.68(0.10)	5.46(2.44)	5.96(1.61)	2.49(0.37)
	灰白毛莓 <i>Rubus tephrodes</i>	21.35(0.38)	1.11(0.29)	5.53(2.21)	8.56(1.52)	2.08(0.37)
	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	15.41(1.90)	0.19(0.05)	2.02(0.40)	7.40(0.67)	0.88(0.09)
	金银花 <i>Lonicera japonica</i> Thunb.	15.11(0.18)	0.73(0.14)	5.80(0.17)	8.37(1.50)	2.47(0.36)
	金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	12.55(2.94)	0.61(0.14)	6.10(1.58)	5.97(1.18)	1.86(0.47)
	薜荔 <i>Ficus pumila</i>	18.13(0.32)	2.37(0.87)	12.93(4.11)	13.13(4.32)	3.13(0.59)
草本层 Herb layer	野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i>	28.03(2.39)	4.23(0.62)	25.30(4.04)	10.45(0.70)	3.93(0.52)
	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	5.92(0.84)	0.82(0.15)	3.90(0.64)	3.01(0.62)	1.32(0.36)
	中华鳞毛蕨 <i>Dryopteris chinensis</i>	15.31(0.12)	0.87(0.06)	9.33(1.01)	4.40(0.24)	3.00(0.10)

括号内数据为标准误差

系数来表示植物对营养元素的吸收和积累能力^[16],计算公式如下:

$$A = (C_p/C_n) \times 100$$

式中, A 为生物吸收系数, C_p 为植物体内某元素含量(表 5—表 8), C_n 为土层元素含量(表 3)。计算结果列表 9—表 12, 可以看出, 植物对土壤中大量营养元素的积累能力可分为 3 个层次: 第 1 层次是表 9—表 11 中

表 7 平原湖区防护林主要植物的营养元素含量/(g/kg)

Table 7 Nutrient concentrations of main plant of PFB

层次 Layers	物种 Species	N	P	K	Ca	Mg
林冠层	湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	7.34(1.70)	0.60(0.26)	4.62(1.64)	3.54(0.72)	0.74(0.18)
Canopy layer	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	6.07(2.29)	0.40(0.15)	2.27(0.78)	1.50(0.28)	1.44(0.34)
下木层	桉木 <i>Alnus cremastogyne</i>	15.27(0.21)	0.33(0.07)	1.08(0.23)	5.88(1.11)	0.66(0.09)
Layer under	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	17.45(3.46)	1.11(0.08)	5.70(1.27)	4.20(1.91)	1.92(0.10)
the wood	柏木 <i>Cupressus funebris</i>	4.05(0.64)	0.64(0.08)	2.74(0.37)	14.19(1.02)	2.82(0.29)
灌木层	茶树 <i>Melaleuca alternifolia</i>	4.35(0.72)	1.44(0.22)	5.34(1.65)	5.16(1.16)	2.14(0.32)
Shrub layer	野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	10.54(0.70)	1.28(0.29)	4.96(0.85)	8.13(1.51)	2.01(0.36)
草本层	丝茅 <i>Imperata koenigii</i>	8.46(0.96)	0.88(0.17)	2.13(0.51)	3.98(0.74)	1.45(0.26)
Herb layer	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	20.18(2.60)	2.13(0.02)	17.07(2.10)	7.89(0.76)	1.65(0.13)
	沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	0.57(0.06)	1.11(0.07)	5.94(0.19)	3.94(0.38)	1.17(0.09)
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	10.24(2.50)	1.53(0.22)	3.88(0.61)	6.68(0.34)	2.09(0.40)
	苔藓 <i>Bryophyta</i> sp.	25.14(1.08)	1.12(0.06)	2.19(0.03)	11.78(0.71)	2.32(0.51)

括号内数据为标准误差

表 8 防浪护堤林主要植物营养元素含量/(g/kg)

Table 8 Nutrient concentrations of main plant of WFB

层次 Layers	物种 Species	N	P	K	Ca	Mg
林冠层 Canopy layer	杨树 <i>Populus tremula</i>	12.21(4.28)	1.72(0.69)	5.76(1.93)	9.02(2.89)	1.80(0.73)
下木层	构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	20.46(2.01)	2.42(0.20)	8.17(1.17)	10.85(1.50)	2.64(0.20)
Layer under	八角枫 <i>Alangium chinense</i>	12.54(1.21)	2.90(0.21)	4.83(0.74)	8.39(1.10)	2.09(0.13)
the wood	楸木 <i>Aralia chinensis</i>	15.20(4.00)	1.58(0.51)	8.00(1.07)	12.64(1.78)	4.20(0.53)
灌木层 Shrub layer	乌敛莓 <i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.	39.04(0.89)	3.57(0.17)	17.67(2.11)	15.72(1.56)	3.64(0.30)
	八棱麻 <i>Herba Sambuci</i> Chinensis.	14.97(4.18)	2.85(0.02)	16.10(2.90)	7.42(1.62)	2.96(0.27)
	鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	22.32(0.80)	2.58(0.22)	10.05(2.87)	12.27(0.84)	2.72(0.20)
草本层 Herb layer	紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	15.30(6.64)	1.79(0.50)	11.22(5.05)	5.30(0.02)	2.28(0.46)
	白苏 <i>Folium Perillae Frutescentis</i>	19.65(2.39)	3.47(0.87)	14.46(1.34)	8.78(1.64)	2.52(0.33)
	升马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	15.90(0.03)	1.67(0.02)	12.25(3.67)	5.12(0.88)	3.76(0.01)
	雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i>	10.21(0.57)	3.12(0.59)	25.42(3.41)	5.40(0.61)	2.38(0.04)
	半夏 <i>Pinellia ternata</i>	26.63(0.27)	6.97(2.66)	21.70(4.92)	21.20(4.10)	4.38(0.57)
	海蚌含珠 <i>Herba Acalyphae</i>	19.76(0.74)	2.21(0.43)	13.89(3.37)	11.33(1.91)	3.19(0.43)
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	10.23(0.60)	2.13(0.18)	12.61(3.67)	8.28(1.63)	2.26(0.33)
	牛膝草 <i>Hyssopus officinalis</i>	21.42(1.15)	2.48(0.74)	21.65(1.66)	8.31(0.84)	3.35(0.22)
	水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	16.94(4.66)	2.17(0.34)	20.83(4.82)	7.22(0.80)	2.87(0.52)
	水牛草 <i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	9.98(0.29)	0.91(0.15)	6.91(3.54)	5.26(1.17)	3.65(0.25)
	知风草 <i>Eragrostis ferruginea</i>	17.08(0.30)	1.77(0.18)	5.44(4.39)	4.19(0.08)	2.51(0.10)
	井栏边草 <i>Pteris multifida</i>	21.26(2.66)	3.14(0.72)	10.21(0.22)	10.29(2.66)	4.68(0.93)
	野葱 <i>Allium chrysanthum</i>	29.34(0.77)	6.85(0.61)	25.06(1.72)	9.40(0.84)	4.23(0.64)
	结缕草 <i>Zoysia japonica</i> Steud	22.24(1.55)	3.13(0.21)	33.23(2.93)	10.54(1.65)	4.86(0.96)
	野古草 <i>Arundinella setosa</i> Trin.	21.82(1.06)	3.07(0.22)	15.06(1.13)	12.77(0.50)	3.93(0.26)
	小金钱草 <i>Dichondra repens</i>	38.02(4.45)	4.39(0.58)	28.44(5.64)	12.60(1.36)	3.40(0.35)
	黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i> (L.) DC.	31.55(0.78)	5.15(0.18)	32.02(4.98)	12.06(1.70)	3.41(0.24)

括号内数据为标准误差

所列植物对 N、Ca 的吸收及表 12 中对 N 吸收的植物,它们对 N、Ca 的积累能力最强,生物吸收系数的平均值为 1000 以上,但不同植物对同一元素的吸收系数略有不同,如 N 在各防护林的生物吸收系数平均值均在 1000 以上,但马尾松、湿地松、青冈等,对土壤中 N 的吸收系数却为 580.9—993.5、844.2—906.2、685.5;第 2

层次是表9—表11中所列植物对P、K和Mg的生物吸收系数平均值为100—1000;第3层次为表12所列植物对Ca、Mg的生物吸收系数平均值为100以下,表示这些植物对Ca、Mg的积累能力最弱。

表9 环湖低丘平原封山育林水土保持林主要植物生物吸收系数

Table 9 Bio-absorption coefficient of main plant of PF

层次 Layers	植物 Plants	N	P	K	Ca	Mg
林冠层 Canopy layer	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	580.9	200.0	246.4	714.6	54.5
下木层	香椿 <i>Toona sinensis</i>	1163.6	192.6	175.0	1690.2	114.6
Layer under the wood	槐树 <i>S. china</i> L	2095.5	529.6	311.4	2512.2	158.5
the wood	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	685.5	196.3	120.0	1712.2	140.7
	刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i>	599.1	674.1	267.9	2439.0	147.2
	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	987.3	159.3	42.1	1348.8	76.4
	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	1410.0	200.0	126.8	1422.0	121.1
灌木层	白马骨 <i>Serissa serissoides</i>	1087.3	163.0	87.9	1609.8	87.8
Shrub layer	牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	1340.9	270.4	220.0	1158.5	166.7
草本层	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	920.0	418.5	91.8	1563.4	99.2
Herb layer	苔草 <i>Carex leucochlora</i> Bge	1346.4	214.8	248.6	1051.2	95.1
	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	1240.9	170.4	412.5	1046.3	207.3
	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	1393.6	366.7	226.4	765.9	151.2
	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	1459.1	337.0	269.6	1375.6	280.5
	平均值 Mean	1165.0	292.3	203.3	1457.8	135.8

表10 环湖低丘平原补植封山育林水土保持林主要植物生物吸收系数

Table 10 Bio-absorption coefficient of main plant of RPF

层次 Layers	植物 Plants	N	P	K	Ca	Mg
林冠层 Canopy layer	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	993.5	518.8	318.3	643.5	51.5
	湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	844.2	243.8	93.1	962.9	74.2
下木层	白栎 <i>Quercus fabri</i>	1853.2	337.5	126.2	1614.5	119.7
Layer under the wood	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Presl.	1445.5	318.8	95.2	1080.6	149.2
	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	2184.4	206.3	144.1	764.5	138.6
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	1023.4	418.8	95.9	672.6	206.1
	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	1035.1	1900.0	167.6	2772.6	209.8
	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	1729.9	262.5	117.6	1103.2	206.8
	白栗 <i>Castanea mollissima</i> Blume	1244.2	712.5	101.7	1754.8	139.4
	野鸭椿 <i>Euscaphis japonica</i>	1864.9	306.3	80.3	1214.5	243.9
灌木层 Shrub layer	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	2437.7	425.0	188.3	961.3	188.6
	灰白毛莓 <i>Rubus tephrodes</i>	2772.7	693.8	190.7	1380.6	157.6
	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	2001.3	118.8	69.7	1193.5	66.7
	金银花 <i>Lonicera japonica</i> Thunb.	1962.3	456.3	200.0	1350.0	187.1
	金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	1629.9	381.3	210.3	962.9	140.9
	薜荔 <i>Ficus pumila</i>	2354.5	1481.3	445.9	2117.7	237.1
草本层 Herb layer	野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i>	3640.3	2643.8	872.4	1685.5	297.7
	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	768.8	512.5	134.5	485.5	100.0
	中华鳞毛蕨 <i>Dryopteris chinensis</i>	1988.3	543.8	321.7	709.7	227.3
	平均值 Mean	1777.6	656.9	209.1	1233.2	165.4

表 11 平原湖区防护林主要植物生物吸收系数

Table 11 Bio-absorption coefficient of main plant of PFB

层次 Layers	植物 Plants	N	P	K	Ca	Mg
林冠层 Canopy layer	湿地松 <i>Pinus elliotii</i>	906.2	375.0	182.6	600.0	50.3
	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	749.4	250.0	89.7	254.2	98.0
下木层 Layer under the wood	桤木 <i>Alnus cremastogyne</i>	1885.2	206.3	42.7	996.6	44.9
	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	2154.3	693.8	225.3	711.9	130.6
灌木层 Shrub layer	柏木 <i>Cupressus funebris</i>	500.0	400.0	108.3	2405.1	191.8
	茶树 <i>Melaleuca alternifolia</i>	537.0	900.0	211.1	874.6	145.6
草本层 Herb layer	野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	1301.2	800.0	196.0	1378.0	136.7
	丝茅 <i>Imperata koenigii</i>	1044.4	550.0	84.2	674.6	98.6
	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	2491.4	1331.3	674.7	1337.3	112.2
	沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	70.4	693.8	234.8	667.8	79.6
	狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>	1264.2	956.3	153.4	1132.2	142.2
	苔藓 <i>Bryophyta</i> sp.	3103.7	700.0	86.6	1996.6	157.8
	平均值 Mean	1334.0	654.7	190.8	1085.7	115.7

表 12 防浪护堤林主要植物生物吸收系数

Table 12 Bio-absorption coefficient of main plant of WFB

层次 Layers	植物 Plants	N	P	K	Ca	Mg
林冠层 Canopy layer	杨树 <i>Populus tremula</i>	1312.9	256.7	219.0	53.4	35.8
下木层 Layer under the wood	构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	2200.0	361.2	310.6	64.2	52.5
	八角枫 <i>Alangium chinense</i>	1348.4	432.8	183.7	49.7	41.6
灌木层 Shrub layer	楸木 <i>Aralia chinensis</i>	1634.4	235.8	304.2	74.8	83.5
	乌敛莓 <i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.	4197.8	532.8	671.9	93.1	72.4
草本层 Herb layer	八棱麻 <i>Herba Sambuci Chinensis</i> .	1609.7	425.4	612.2	43.9	58.8
	鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	2400.0	385.1	382.1	72.6	54.1
	紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	1645.2	267.2	426.6	31.4	45.3
	白苏 <i>Folium Perillae Frutescentis</i>	2112.9	517.9	549.8	52.0	50.1
	升马唐 <i>Digitaria ciliaris</i>	1709.7	249.3	465.8	30.3	74.8
	雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i>	1097.8	465.7	966.5	32.0	47.3
	半夏 <i>Pinellia ternata</i>	2863.4	1040.3	825.1	125.5	87.1
	海蚌含珠 <i>Herba Acalyphae</i>	2124.7	329.9	528.1	67.1	63.4
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	1100.0	317.9	479.5	49.0	44.9
	牛膝草 <i>Hyssopus officinalis</i>	2303.2	370.1	823.2	49.2	66.6
	水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	1821.5	323.9	792.0	42.7	57.1
	水牛草 <i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	1073.1	135.8	262.7	31.1	72.6
	知风草 <i>Eragrostis ferruginea</i>	1836.6	264.2	206.8	24.8	49.9
	井栏边草 <i>Pteris multifida</i>	2286.0	468.7	388.2	60.9	93.0
	野葱 <i>Allium chrysanthum</i>	3154.8	1022.4	952.9	55.7	84.1
	结缕草 <i>Zoysia japonica</i> Steud	2391.4	467.2	1263.5	62.4	96.6
野古草 <i>Arundinella setosa</i> Trin.	2346.2	458.2	572.6	75.6	78.1	
小金钱草 <i>Dichondra repens</i>	4088.2	655.2	1081.4	74.6	67.6	
黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i> (L.) DC.	3392.5	768.7	1217.5	71.4	67.8	
	平均值 Mean	2168.8	448.0	603.6	57.8	64.4

4 结论与讨论

对湖南洞庭湖 4 种防护林地土壤化学成分分析,可为防护林土壤肥力评价及防护林建设提供参考。本研究试验林设在洞庭湖西岸的澧县,环湖低丘平原封山育林和补植封山育林的水土保持林及平原湖区防护林地

土壤为红壤,红壤在成土过程中的脱硅与富铝化作用^[17],加之种植针叶树种,使土壤呈酸性反应,pH 值为 4.54—5.27;防浪护堤林地土壤在成土过程中的泥沙淤积及水文和水生生物的综合作用,形成一种非地带性的湖潮土,土壤主要为河湖相沉积物组成^[18],土壤呈碱性反应,pH 值为 8.18,全 Ca 和全 Mg 含量显著高于环湖低丘平原封山育林和补植封山育林及平原湖区防护林地。有机质含量为环湖低丘平原封山育林的水土保持林地最高,原因是由于该林分造林时间久,植物生物量高,枯枝落叶等凋落物量亦高,随着根系分泌物和微生物的分解,提高了土壤有机质和养分含量。各防护林土壤含 N 量为 0.77—1.10 g/kg,略低于中亚热带森林演替型阶段土壤全 N 含量 0.15—1.43 g/kg^[19],速效 N 含量为 16.11—31.15 mg/kg,略高于南亚带林土壤有效 N 含量 6.22—14.77 mg/kg^[20]。但林地土壤中 N 素有效率低,仅占全 N 含量的 1.46%—3.35%;全 P 含量为 0.16—0.67 g/kg,与中亚热带森林演替典型阶段土壤全 P 含量 0.15—0.54 g/kg 接近^[19],但各防护林地 P 素有效率仍低,仅为全 P 含量的 0.5%—1.6%,表明土壤中的矿质 P 素主要是被氧化铁所包被的闭蓄态磷酸铁铝,这类闭蓄态的磷酸盐一般难为植物所利用^[17]。因此,在防护林施用 N 肥或 P 肥时,应注意促进 N、P 肥的有效性和减少固定作用。

防护林地土壤中含 K 含量较低,为 2.53—2.90 g/kg。根据土壤速效 K 含量水平等级划分标准^[15],环湖低丘平原封山育林的水土保持林土壤含 K 量适量,而环湖低丘平原补植封山育林的水土保持林、平原湖区防护林和防浪护堤林土壤为严重缺 K 型土壤,这主要与土壤上生长的植物多少有关,植物对 K 的需求量大^[21],因此应在这些防护林地内增施 K 肥,以促进林木生长,并注意 K 肥宜适当深施或采取集中施用,避免与土壤大量接触,以减少 K 的固定。

洞庭湖西岸防护林地土壤 pH 值与全 P、全 Ca、全 Mg 呈极显著正相关($P < 0.05$),与 N、K 含量相关性不强。表明随着降水和气温的增加,土壤酸化,导致 P、Ca、Mg 流失,N、K 积累不甚明显。

植物中大量元素含量差异很大,就是同一元素含量在不同植物体内的变化亦很大。洞庭湖防护林植物体内 N、P、K、Ca、Mg 的平均含量与五台山、海南及全球植物的平均含量相近^[22]。将洞庭湖防护林中植物的养分元素含量大小排序与五台山植物加以对比,可以看出,五台山大量元素含量的排列为 $N > Ca > K > Mg > P$,洞庭湖西岸防护林植物除防浪护堤林内植物大量元素排序有所不同,为 $N > K > Ca > Mg > P$ 外,其余 3 种防护林(环湖低丘平原封山育林、补植封山育林的水土保持林和平原湖区防护林)均与五台山植物大量元素排序基本一致^[22]。但具体到不同植物的同一元素含量仍存在差异。表明不同植物在不同生境条件下各种元素的分布是不均匀的。

因植物生活习性不同,针叶、阔叶和草本植物从环境中吸收和累积化学元素的能力有较大差别^[22]。在洞庭湖防护林中的植物,对 N、Ca 元素吸收和积累能力最强的植物,生物吸收系数 > 1000 ;其次是对 P、K、Mg 元素吸收和积累能力较强的植物,生物吸收系数为 100—1000;还有对 Ca、Mg 元素吸收能力最弱的植物,这些植物生物吸收系数 < 100 。表明植物的生理特性的差异,可为植物开发利用及保护提供科学依据。

References:

- [1] Zhang Z D. The 10 Key Forestry Ecological Projects in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997: 1-2.
- [2] Zhang H J, Gao Z Q, Xie M S, Wang Y J, Li J. Overall arrangement of multi-functional protection forest system in the Three-Gorge reservoir area of the Yangtze River. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000, 9(4): 479-486.
- [3] Li Q Y, Zhao W Z, Li Q S, Chang X L. Responses of *Nitraria sphaerocarpa* Maxim. population to disturbance of blown sand in the edge of Desert Oasis. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11): 2484-2491.
- [4] Wang W F, Wang T, Li Z X, Zhang W M. The effects of blown sand on the shrub belt over the top of the Mogao Grottoes. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11): 2492-2500.
- [5] Kang L X, Wang S L. Study on the ecological benefits of shelter-forest system in coastal area. Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology, 1995, 22(3): 1-5.
- [6] Qin R X. Tree Species Selection and Arrangement and its ecological economic benefit in Tung tree land//The proceedings of Construction of the Shelter-forest System in the Upper and Middle Reaches of Yangtze River. Beijing: China Forestry Publishing House, 1991: 489-492.
- [7] Brandle J R, Hodges L. Windbreak practices//Garrett H E, Rietveld W J, Fisher R F eds. North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy Inc, 2000: 79-115.

- [8] Li C P, Guan W B, Fan Z P, Su F X, Wang X L. Advances in studies on the structure of farmland shelterbelt ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 2037-2043.
- [9] Woodwell G M, Whittacker R H, Reiners W A, Likens G E, Delwiche C C, and Botkin D B. The biota and the world carbon budget. *Science*, 1978, 199:141-146.
- [10] Yang G, Xie Y H, Chen X S, Li F, Ren B, Qin X Y. Changes of soil particle composition and chemical characteristics after "returning farmland to lake" in the Dongting Lake area. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6392-6400.
- [11] Wu H F, Xie Z Z. Afforestation technique and Benefit analysis of Shelterbelt System Construction Engineering in Dongting Lake District//The Proceedings of Construction of the Shelter-forest System in the Upper and Middle Reaches of Yangtse River. Beijing: China Forestry Publishing House, 1991: 212-216.
- [12] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Soil Chemical and Physical Analyses*. Shanghai: the Science & Technology Press in Shanghai, 1978: 469-470.
- [13] Wu Z Y. *Chinese Vegetation*. Beijing: Science Press, 1980.
- [14] Yang D D, Luo C D, Gong Y B, Liang J. The Dynamic of soil nutrient under forest and grass composite pattern in area of conversion of farmland to forests. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(s1): 101-105.
- [15] Xu L F, Wang K L, Zhu H H, Hou Y, Zhang W. Effects of different land use types on soil nutrients in karst region of Northwest Guangxi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 10(5): 1013-1018.
- [16] Luo W H, Huang S X, Li R T, Tang W X, Zhou T J, Wang Y. Effect of culture substrata on seedlings of rare and endangered plants from limestone regions. *Rural Eco-environment*, 2010, 17(4): 12-16.
- [17] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Chinese Soil*. Beijing: Science Press, 1978: 495-498.
- [18] Yuan Z K. Resources and Environment of Dongting Lake Wetland. Hunan: Hunan Normal University Press, 2008: 85-92.
- [19] Zhan S X, Chen F S, Hu X F, Gan L, Zhu Y L. Soil nitrogen and phosphorus availability in forest ecosystems at different stages of succession in the central subtropical region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4673-4680.
- [20] Fang Y T, Mo J M, Zhou G Y, Per Gundersen, Li D J, Jiang Y Q. The short-term responses of soil available nitrogen of Dinghushan forests to simulated N deposition in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2353-2359.
- [21] Ning X B, Xiang W H, Fang X, Yan W D. Chemical element concentration in calcite, calcareous soil and plants on the rocky desertification area in Huaxi, Guiyang. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(5): 34-41.
- [22] Fan W H, Zhang Y Z, Wan S Z, Wang B. Study on the contents of chemical elements in different plants of Natural Grassland Reserve of Wutai Mountain. *Acta Agrestia Sinica*, 1996, 4(1): 55-62.

参考文献:

- [1] 张志达. 全国十大林业生态建设工程. 北京: 中国林业出版社, 1997:1-2.
- [2] 张洪江, 高中琪, 解明曙, 王玉杰, 李洁. 三峡库区多功能防护林体系构成与布局的思考. *长沙流域资源与环境*, 2000, 9(4): 479-486.
- [3] 李秋艳, 赵文智, 李启森, 常学礼. 荒漠绿洲边缘区泡泡刺种群对风沙干扰的响应. *生态学报*, 2004, 24(11): 2484-2491.
- [4] 汪万福, 王涛, 李最雄, 张伟民. 敦煌莫高窟崖顶灌木林带防风固沙效应. *生态学报*, 2004, 24(11): 2492-2500.
- [5] 康立新, 王述礼. 沿海防护林体系生态效益研究概述. *江苏林业科技*, 1995, 22(3): 1-5.
- [6] 覃儒信. 油桐林地治理的树种配置及其生态经济效益. *长江中上游防护林建设论文集*. 北京: 中国林业出版社, 1991:489-492.
- [8] 李春平, 关文彬, 范志平, 苏繁星, 汪西林. 农田防护林生态系统结构研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 2037-2043.
- [10] 杨刚, 谢永宏, 陈心胜, 李峰, 任勃, 秦先燕. 退田还湖后洞庭湖区土壤颗粒组成和化学特征的变化. *生态学报*, 2009, 29(12): 6392-6400.
- [11] 吴惠芳, 谢正卓. 洞庭湖区建设防护林体系工程的意义、营造技术及效益分析. *长江中上游防护林建设论文集*. 北京: 中国林业出版社, 1991:212-216.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 科学技术出版社, 1978:469-470.
- [13] 吴征镒. *中国植被*. 北京: 科学出版社, 1980.
- [14] 杨丁丁, 罗承德, 宫渊波, 梁剑. 退耕还林区林草复合模式土壤养分动态. *林业科学*, 2007, 43(增刊1): 101-105.
- [15] 许联芳, 王克林, 朱捍华, 候娅, 张伟. 桂西北喀斯特移民区土地利用方式对土壤养分的影响. *应用生态学报*, 2008, 10(5): 1013-1018.
- [16] 骆文华, 黄仕训, 李瑞棠, 唐文秀, 周太久, 王燕. 不同栽培基质对石山珍稀濒危植物苗期生长的影响. *农业生态环境*, 2010, 17(4): 12-16.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. *中国土壤*. 北京: 科学出版社, 1978:495-498.
- [18] 袁正科. *洞庭湖湿地资源与环境*. 湖南: 湖南师范大学出版社, 2008:85-92.
- [19] 詹书侠, 陈伏生, 胡小飞, 甘露, 朱友林. 中亚热带丘陵红壤区森林演替典型阶段土壤氮磷有效性. *生态学报*, 2009, 29(9): 4673-4680.
- [20] 方运霆, 莫江明, 周国逸, Per Gundersen, 李德军, 江远清. 南亚热带森林土壤有效氮含量及其对模拟氮沉降增加的初期响应. *生态学报*, 2004, 24(11): 2353-2359.
- [21] 宁晓波, 项文化, 方晰, 闫文德. 贵阳花溪石灰岩、石灰土与定居植物化学元素含量特征. *林业科学*, 2009, 45(5): 34-41.
- [22] 樊文华, 张毓庄, 万淑贞, 王镔. 五台山草地自然保护区不同植物化学元素含量的研究. *草地学报*, 1996, 4(1): 55-62.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 21 2010

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

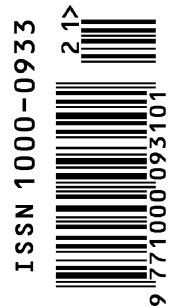
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元