

# 异龙湖湖滨带不同环境梯度下土壤养分空间变异性

翟红娟, 崔保山\*, 赵欣胜, 刘世梁, 胡波, 姚敏

(环境模拟与污染控制国家联合实验室, 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

**摘要:** 随着环境梯度的变化, 生态系统的特征会发生明显的变异, 土壤是其重要的表征要素。以纵向岭谷区红河流域异龙湖湖滨带为案例, 运用多种统计分析方法对其不同环境梯度下土壤单个养分指标和土壤养分综合质量的空间分布特征进行了研究, 结果表明: 在北部湖滨坡地, 海拔对土壤养分空间分布的影响并不十分显著, 而坡位对其影响较大; 北部湖滨农田土壤, 水分梯度对钾的影响较大, 全氮和有机质则一部分受水分梯度影响, 另一部分受径流作用的影响; 异龙湖湖滨带土壤养分综合质量指数大小的排序为: 南部湖滨农田 > 北部湖滨农田 > 北部湖滨坡地 > 南部湖滨坡地。还探讨了不同环境因子对单个土壤养分指标和土壤养分综合质量的影响, 其中, 气温、湿度、坡向和坡型对土壤中磷空间分布的影响较大, 土壤含水量、坡度和海拔对土壤有机质、全氮和全钾的影响较大; 土壤含水量即水分梯度对土壤养分综合质量影响最大。

**关键词:** 环境梯度; 土壤养分; 湖滨带; 异龙湖; 纵向岭谷区

文章编号: 1000-0933(2006)01-0061-09 中图分类号: Q149, S158.2 文献标识码: A

## Spatial variability and distribution of soil nutrient contents along different environmental gradients of Yilong lake shore

ZHAI Hong-Juan, CUI Bao-Shan\*, ZHAO Xin-Sheng, LIU Shi-Liang, HU Bo, YAO Min (State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 61 - 69.

**Abstract:** The characteristic of ecosystem changes along the environmental gradients and the soil is one of its important indicators. We studied the spatial variation and distribution of soil nutrient contents in Yilong lake area, located in the Longitudinal Range-Gorge Region with rich biodiversity and being one of the largest Plateau Lakes of YunNan Province, China. Soil samples were taken from four areas along the different environmental gradients, concluding Northern Farm (NF), Northern Hill (NH), Southern Farm (SF) and Southern Hill (SH). The organic matter, total N, P, and K (TN, TP, TK), and available N, P, and K (AN, AP, AK) in the soil samples were measured. The soil quality index was calculated by principle component analysis, using the measured soil nutrient contents. Correlation matrix was created among various soil nutrient contents and altitude or soil moisture content for NH or NF, respectively. Average contents of soil nutrients were calculated in the studied four areas.

Principle component analysis showed that the critical factor affecting the space distribution of the NH soil nutrients was not the altitude but the slope. The contents of most nutrients were lowest at the foot and the peak of the NH and were highest at the middle of it except the potassium. The soil of NH was rich in organic matter and total nitrogen. In NF, however, the soil nutrient contents gradually decreased with the decrease of soil moisture except the organic matter and total nitrogen, probably because some of organic matter and total nitrogen was moved by precipitation from the hill soil with high content of them to the farm near the road. The soil moisture played an important role to determine the soil nutrient contents distribution. The soil of NF was rich in potassium

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划资助项目(2003CB415104)

**收稿日期:** 2005-08-20; **修订日期:** 2005-11-20

**作者简介:** 翟红娟(1981-), 女, 山东人, 硕士, 主要从事湿地生态与环境研究. E-mail: zhj\_2018@126.com

**通讯作者:** Author for correspondence. E-mail: cuibs@163.com

**Foundation item:** National Key Basic Research Development Program of China (No. 2003CB415104)

**Received date:** 2005-08-20; **Accepted date:** 2005-11-20

**Biography:** ZHAI Hong-Juan, Master, mainly engaged in wetlands ecology and environment. E-mail: zhj\_2018@126.com

and phosphorus while the NH soils contained high contents of the organic matter and nitrogen. The soil of Yilong lake shore generally contained low content of phosphors but high content of potassium. The soil quality of the four studied areas was in the order: SF > NF > NH > SH, indicated by the integrated soil quality index.

This study also investigated the relationship between the single soil nutrient factors and soil quality index and the environmental factors. The environmental factors included air humidity, soil moisture, slope, altitude, air temperature, slope shape, and orientation. The results showed that the air temperature, air humidity, orientation, and the slope shape played an important role to the phosphorus spatial distribution. On the other hand, the soil moisture, slope, and the altitude played an important role to the spatial distribution of the organic matter, total nitrogen and Potassium. In addition, the soil moisture was the critical factor affecting the soil quality. The regression equation between soil nutrient primary components and soil quality was: soil quality = 1.842 + 0.465 N\_PC\_1 + 0.214 N\_PC\_2 (N\_PC was the primary component of the soil nutrient factors).

**Key words:** environmental gradients; soil nutrients; Yilong lake shore; Longitudinal Range-Gorge Region

湖滨带是湖泊流域水生生态系统与湖泊流域陆生生态系统之间一种非常重要的生态过渡带,由相邻的水陆两个生态系统相互作用而成<sup>[1]</sup>。湖滨带是一个敏感而脆弱的地区,又是生物多样性极其丰富的地区,具有重要的生态、环境和社会功能,是湖泊生态系统的最后一道天然屏障,在湖泊生态系统的保护方面具有不可替代的作用。湖滨带的变化将会直接引起湖泊生态系统的一系列变化,而土壤是反映湖滨带生态系统变化的一个重要因素,其中,土壤养分含量又是反映土壤质量或土壤健康状况的一个重要指标<sup>[2-5]</sup>。土壤的养分特征与气候、水分、海拔、人为干扰等很多因素有关<sup>[6-9]</sup>,在不同条件下,控制土壤中元素的因素不同,导致其具有较高的空间变异性<sup>[10]</sup>。

土壤养分的空间分布和很多环境因素有关,异龙湖湖滨带梯度分异明显,周围的湖滨坡地具有明显的海拔梯度;湖滨农田随着距离湖泊的远近呈现出明显的水分梯度;以湖泊为中心,向外依次分布有鱼塘、农田、公路和坡地,呈现出明显的结构梯度。许多研究结果表明,沿环境梯度的变化,土壤养分含量具有明显的空间分异性<sup>[11-18]</sup>。已有的对土壤养分含量空间分布特征的研究多是对一个环境梯度进行阐述,并且侧重于对单个养分指标的研究,而异龙湖湖滨带地形地貌特殊,环境梯度变化复杂,本文运用多元统计学方法,分析不同环境梯度下土壤养分单个指标和综合质量指标的空间分异特征,并找出环境因子对其空间分异的影响。揭示异龙湖湖滨带各环境梯度下土壤养分含量的空间分布规律,了解环境因子对土壤单个养分因子和土壤养分综合质量的影响,有利于掌握异龙湖湿地生态系统的变化并揭示其变化的原因,并为异龙湖湿地生态系统的保护和恢复研究提供一定的科学依据。异龙湖是云南省九大高原湖泊之一,位于纵向岭谷区的红河流域。对异龙湖的研究可以对比纵向岭谷区澜沧江流域和红河流域高原湖泊的异同性,对纵向岭谷区的研究和高原湖泊的保护、治理都具有极其重要的理论意义和现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

西南纵向岭谷区是指位于我国西南、与青藏高原隆升直接相关联的横断山及毗邻的南北走向的山系河谷区,自西向东依次分布有高黎贡山、怒江、怒山、澜沧江、云岭和元江等相间分布的高山河流,该区域地带性和非地带性分异明显,气候类型复杂。异龙湖(E 102°30' ~ 102°38', N 23°39' ~ 23°42')位于纵向岭谷区的红河流域,在石屏县城东南 3km 处(图 1),仅靠珠江支流南盘江与红河两大流域分水岭,是云南省九大高原湖泊之一。由于异龙湖水位不断下降和水土流失造成的海河河床抬高,致使异龙湖唯一的出湖河流海河淤积堵塞严重,河面愈来愈窄,已经失去源头作用。目前,湖泊泄流防洪靠 20 世纪 70 年代打通的清鱼湾隧洞泄入五郎沟河,再经小河底河进入红河水系。异龙湖现有湖泊面积 31km<sup>2</sup>,本区径流面积 360.40km<sup>2</sup>,平均水深 2.75m,属于浅水湖泊湿地。异龙湖流域主要分布有红壤、水稻土、冲积土和紫色土 4 个土类,以红壤分布最广,水稻土次之。红壤主要分布于山区、半山区和坝子边缘地带,异龙湖湖滨带坡上土壤主要为红壤,有机质和营养元素缺乏,土壤结构较差。湖滨农田土壤则以为水稻土和冲积土为主,水稻土主要呈酸性到中性反应,有机质和营

养元素含量较高,冲积土呈中性至弱碱性反应,土壤理化性质较好。

## 1.2 样品的采集和分析

### 1.2.1 样品的采集

(1)样带和样方的布设 样地的设置采用梯度格局法,分别考虑了海拔梯度,水分梯度,坡向,坡型等各种环境因素。主要选择了4个样区:北部湖滨坡地(NH)、北部湖滨农田(NF)、南部湖滨坡地(SH)和南部湖滨农田(SF)。北部湖滨带,在公路上方,沿垂直于公路的方向从坡脚至坡顶布设两条样带,在样带上每隔海拔20~30m布设一个样方,从坡脚到坡顶共布设6个样方。公路下方是农田生态系统,以鱼塘外围为基点,按照距湖边鱼塘距离的远近布设样方,本文选择的是距离鱼塘分别100、200、300、500、1000、1500、1800m的农田,布设两条样带。异龙湖南部湖滨带采取和北部相同的样方布设方法,根据南部湖滨带实际状况,沿水分梯度取距鱼塘分别为100、200、300、500m处的湖滨农田土壤,湖滨坡地则沿海拔梯度从坡脚到坡顶设四个样方。样带和样方的布设如图1。

(2)取样方法 采用GPS定位,利用调查表记录采

样点的环境状况。每个样方大小均为5m×5m,在每个样方内进行3次随机取样,将混合样作为样方的一个最终样。土壤表层样品的采集采用挖掘法,去除地表植被和草根层后,采土壤剖面0~20cm的表层土。

1.2.2 样品分析 土壤样品风干研磨,过100目筛。全氮(TN)采用半微量开氏法测定,有机质(OM)的测定采用重铬酸钾容量法;全磷(TP)的测定采用熔融-比色法;全钾(TK)采用熔融-火焰光度法;速效磷(AP)采用浸提-比色法;速效钾(AK)采用浸提-火焰光度法;pH值采用酸度计测定(水土比=5:1)。

## 2 结果与分析

### 2.1 北部湖滨坡地(NH)不同海拔梯度下土壤养分含量分布特征

异龙湖北岸靠乾阳山,湖岸线较平直,湖滨周围坡地海拔多在1400~1700m之间,坡度较缓,下坡有蒙宝铁路穿过。样区位于异龙湖北部湖滨坡地,坡上土壤发育较差,岩石裸露,岩性坚硬,冲沟较少。样地坡上植被稀疏,海拔1460m以下植被覆盖主要是稀树草丛,以上至坡顶植被类型为灌草丛,土壤类型主要为红壤。图2是异龙湖北部湖滨样地内不同海拔梯度下坡地土壤养分含量的分布图。土壤OM和TN的含量随着海拔梯度的变化具有相似的变化规律,即随着海拔的递增先升高后降低;土壤中TP和AP的含量随着海拔的升高也呈现出明显的先增加后降低的趋势,在坡中部达到最大。坡脚处OM含量最低为21.77g/kg,中下坡土壤OM含量最大,达到124.54g/kg,其含量相差较大;坡脚处TN的含量最小为1.08g/kg,中坡土壤的TN含量达到最高,最大值为5.06g/kg。TK和AK的分布则和其它养分分布规律相反,TK在坡脚处含量最高,在中坡含量最低,AK则呈现无明显规律的变化,在坡顶处的土壤含量最高。

在北部湖滨带,沿海拔梯度的递增,除了钾以外的土壤养分含量的空间分布具有一定的规律性:坡脚和坡顶处土壤养分含量最低,中坡处土壤养分含量最高,即坡位的差异对土壤养分含量具有较大影响。坡脚处本是养分汇集地,但是由于紧靠公路,又有铁路穿过,人为干扰较为严重,对土壤中养分含量具有很大的影响;坡顶植被稀疏,OM返还量较少,加上水土流失带来的部分养分的流失,使坡顶处土壤养分的含量亦很低。TK和OM、TN、TP之间的相关系数分别为-0.826\*、-0.825\*、-0.859\*,均呈显著的负相关(表1)。异龙湖北部湖滨坡地土壤中OM和TN含量普遍较高,磷和钾的含量普遍较低。

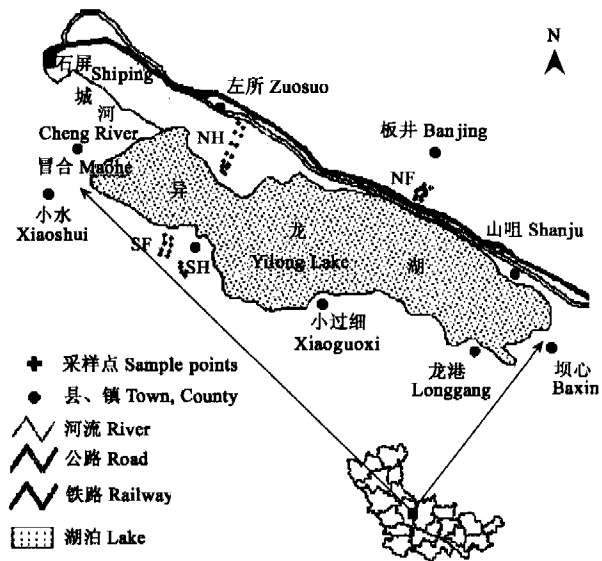
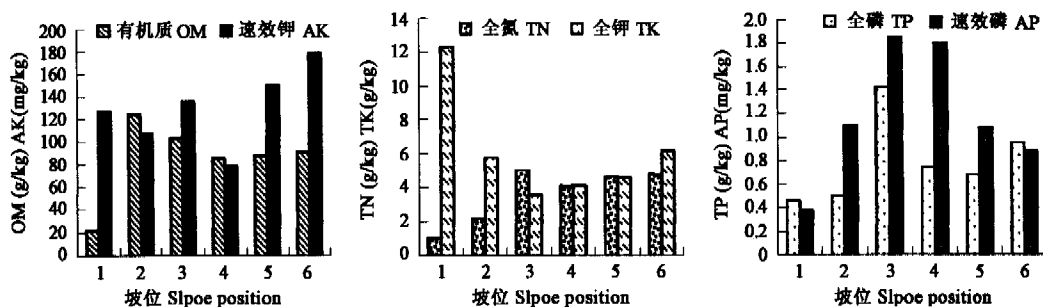


图1 异龙湖位置图和土壤样方布设图

Fig. 1 The position of the Yilong lake and the distribution of the soil samples  
 NF 北部湖滨农田 Northern farm; NH 北部湖滨坡地 Northern hill; SF 南部湖滨农田 Southern farm; SH 南部湖滨坡地 Southern hill; 下同 the same below



1 山脚 Hillbottom; 2 中下坡 Middle-down hillside; 3 中波 Middle hillside; 4 中上波 Middle-upper hillside; 5 上坡 Upper hillside; 6 坡顶 Hilltop

图 2 北部湖滨坡地(NH)不同海拔梯度下土壤主要养分含量分布图

Fig.2 Comparison of soil nutrient contents along the altitude gradient in the NH soil

表 1 北部湖滨坡地(NH)土壤主要养分含量和海拔之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between soil nutrient contents and soil water moisture of NH

项目 Item	海拔 Altitude (m)	有机质 OM (g/kg)	全氮 TN (g/kg)	全磷 TP (g/kg)	全钾 TK (g/kg)	速效磷 AP (mg/kg)	速效钾 AK (mg/kg)
海拔 Altitude(m)	1						
有机质 OM (g/kg)	0.345	1					
全氮 TN(g/kg)	0.813	0.508	1				
全磷 TP(g/kg)	0.338	0.351	0.765	1			
全钾 TK(g/kg)	-0.562	-0.826*	-0.825*	-0.578	1		
速效磷 AP(mg/kg)	0.222	0.593	0.646	0.644	-0.859*	1	
速效钾 AK(mg/kg)	0.510	-0.048	0.361	0.311	0.091	-0.420	1

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

2.2 北部湖滨农田(NF)不同水分梯度下土壤养分含量分布特征

异龙湖湖滨农田土壤含水量的特点是,随着距湖泊距离的增加,其土壤含水量呈现明显的递减趋势,沿土壤水分梯度的变化土壤养分含量的分布随之发生变异。从北部湖滨农田(NF)土壤水分梯度下主要养分含量的分布图(图3)可以看出,水分梯度下农田土壤 OM 和 TN 含量的分布规律相似,随着距湖泊距离的增加先减小后增大,在距离鱼塘约 1000m 处含量最低,距离鱼塘 1800m 处即靠近公路的农田土壤 OM 和 TN 含量最高,这可能与公路上方坡上土壤水土冲刷有关。农田土壤 TP、TK、AP 和 AK 的含量随着距湖泊距离的增加呈现明显的不断减小的趋势,靠近鱼塘的农田土壤 TP、TK、AP 和 AK 含量最高,尤其是 AP 含量极高,而靠近公路的农田土壤 TP、TK、AP 和 AK 含量最低。鱼塘不断投放的饵料使得鱼塘中含有较高的养分,而靠近公路的农田受到的人为扰动较大,另外,土壤含水量较低,使得养分含量较低。公路上方坡上土壤 TP、TK、AP 和 AK 的含量也很低,不能为农田养分含量带来贡献。

为了更好的找出土壤养分含量分布和土壤含水量之间的相关关系,进行相关分析。从农田土壤各养分含量和土壤含水量之间的相关系数表(表2)可以看出,土壤中 TK 和 AK 的分布与土壤含水量之间的相关系数分别为:0.850\* 和 0.769\*,呈显著正相关,说明土壤含水量对钾分布的影响较大。TP、AP 的分布和土壤含水量之间的相关系数分别为:0.583 和 0.686,呈正相关,但相关性不是很显著。OM 和 TN 的分布则和土壤含水量相关性很小,它们的分布一部分受水分梯度影响,另一部分受公路上方坡上水土流失的影响。湖滨农田土壤的养分含量分布除了受土壤含水量的影响外,还受水土流失和径流的作用、人为施肥和耕作条件的限制以及公路附近人为干扰的影响。

2.3 不同环境梯度下土壤养分含量的分布格局

2.3.1 不同环境梯度下土壤养分含量变异性分析 4 个样区处于不同的坡向、坡位、水分和海拔,比较不同环境梯度下土壤养分含量的空间分布特征,可以看出环境梯度对其空间分布的综合作用。NF 位于北部湖滨带的农田生态系统;SF 位于南部湖滨带的农田生态系统;NH 位于北部湖滨带的坡地,植被覆盖稀疏,土壤发育

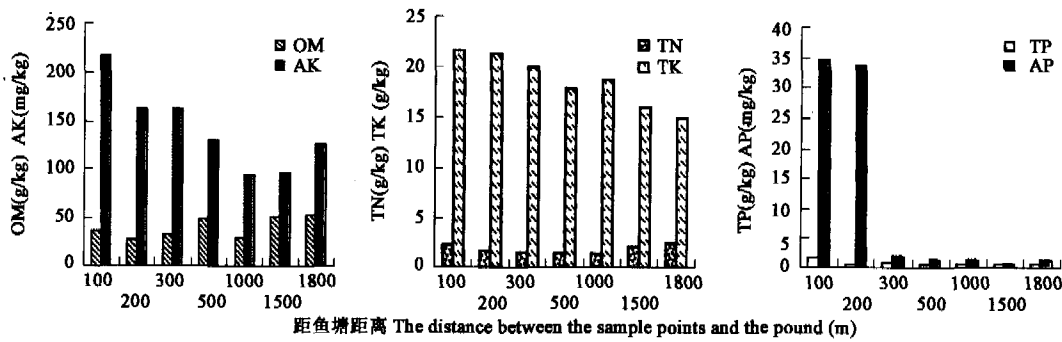


图3 北部湖滨农田(NF)不同水分梯度下土壤主要养分含量分布图

Fig.3 Comparison of soil nutrient contents along the water gradient in the NF soil

纵坐标为土壤各养分含量的值 The y-axis stands for the soil nutrient contents; OM(g/kg), AK(mg/kg), TN(g/kg), TK(g/kg), TP(g/kg), AP(mg/kg)

表2 北部湖滨农田(NF)土壤主要养分含量和土壤含水量之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between soil nutrient contents and soil water moisture of NF

项目 Item	有机质 OM (g/kg)	全氮 TN (g/kg)	全磷 TP (g/kg)	全钾 TK (g/kg)	速效磷 AP (mg/kg)	速效钾 AK (mg/kg)	土壤含水量 (%) Soil moisture
有机质 OM (g/kg)	1						
全氮 TN(g/kg)	0.487	1					
全磷 TP(g/kg)	-0.092	0.494	1				
全钾 TK(g/kg)	-0.832*	-0.320	0.523	1			
速效磷 AP(mg/kg)	-0.522	0.220	0.656	0.776*	1		
速效钾 AK(mg/kg)	-0.352	0.241	0.851*	0.744	0.786*	1	
土壤含水量 Soil moisture (%)	-0.457	-0.307	0.583	0.850*	0.686	0.769*	1

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

较差;SH位于南部湖滨带的坡地,植被覆盖率较高,灌木丰富。表3是4个样区土壤养分特征的描述性统计表,可以看出,土壤OM和AP的中位数和平均值相差较大,说明其有特异值存在,这和农田施肥不均,人为干扰强度不同有关。除了TK和AK的变异系数稍小外,其余养分含量的变异系数都较大,尤其是AP,其变异系数达到了247,说明土壤养分含量的变化和不同的环境梯度有很大关系。

各样区土壤养分含量存在明显的差异性(图4)。

北部湖滨农田和南部湖滨农田土壤的pH值相当,处于中性,南部湖滨坡地土壤的pH值最低,平均值低至4.66,呈明显的酸性。农田所在位置历史上是被湖水淹没的沼泽地,由于长期的耕作、灌溉和施肥等影响发育成了耕作土,大量化肥和农药的使用逐步改变了农田土壤的酸碱性;南部湖滨坡地土壤pH值很低,可能和其所处环境有关,其植被覆盖主要为乔、灌丛林。

TN在南部湖滨农田土壤含量最高,平均值达到6.16g/kg,北部湖滨农田土壤TN含量平均值为3.64g/kg;南部湖滨农田土壤OM含量最高为180.50g/kg,北部湖滨农田为36.88g/kg。同为农田生态系统,北部湖滨农田土壤TN和OM含量平均值却大大低于南部湖滨农田,部分因为南部湖滨农田样区水田较多,土壤含水量普遍较高,另外,这也和南部湖滨农田氮肥和有机肥的高投入量有关。南部湖滨坡地较低的pH值和大量的乔、灌木应该适合有机质的积累,但是其有机质含量却最低,这和灌丛林内有机质的输入量和输出量有关。南部坡地植被覆盖主要为蓝桉和云南松以及一些灌草,目前砍伐现象严重,很多坡地已经被砍伐后开垦为杨梅园。有机物质的输入量主要依赖于有机残体归还量的多少及有机残体的腐殖化系数,一方面,林内植被覆盖率较高,植物的生长、繁殖等消耗了养分;然而由于人工砍伐和捡拾柴火等使枯枝落叶大部分被移走,另外,云南松

表3 土壤养分特征的描述性统计

Table 3 Descriptive statistics for soil nutrient properties

土壤性质 Soil properties	最大值 Maximum	最小值 Minimum	均值 Mean	标准差 STD	变异系数 CV (%)	中位数 Median
OM (g/kg)	319.38	19.19	76.01	71.10	93.55	40.97
TN(g/kg)	10.01	0.89	2.98	2.40	80.51	2.11
TP(g/kg)	2.62	0.19	0.80	0.47	58.68	0.76
TK(g/kg)	3.55	23.10	14.81	5.86	39.54	15.83
AP(mg/kg)	66.21	0.38	5.95	14.67	247.00	1.11
AK(mg/kg)	307.20	49.36	124.14	54.12	43.59	107.55

等树木的枯枝落叶很难被分解<sup>[19]</sup>,这两方面导致灌丛林内土壤 OM 的归还量减少;另一方面,南部坡上土壤呈砂质,对养分固定作用较差,OM 容易被分解。TP、TK、AP 和 AK 在北部湖滨农田土壤含量最高,北部湖滨坡地土壤含量最低。异龙湖湖滨带土壤磷和钾含量普遍较低,总体呈现缺磷和钾现象,尤其是南部湖滨农田土壤缺钾现象严重。北部湖滨农田土壤 TP 含量平均值为 1.12g/kg,TK 含量平均值为 23.11g/kg。

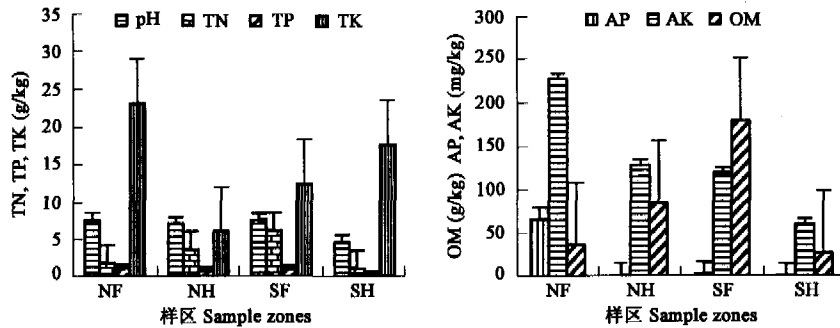


图 4 不同样区土壤养分含量的分布比较

Fig. 4 Comparison of soil nutrient contents between different sample zones

**2.3.2 不同样区土壤养分综合质量的比较** 进行土壤养分质量综合指数的计算,可以比较 4 个样区土壤养分综合质量的差异;进一步探讨环境因子对单个土壤养分因子和土壤养分综合质量之间的关系;以及为进一步得出土壤养分综合质量和单个土壤养分因子之间的回归方程打好基础;另外,对土壤单一养分指标的评测具有片面性,计算土壤养分质量综合指数对于土壤质量的综合评价具有重要作用,可以减小对土壤单一养分指标评测的误差和不显著性<sup>[20]</sup>。根据该地区土壤的特点,选取土壤 OM, TN、TP、TK、AP 和 AK 构成评价因子。对各个土壤养分质量指标值  $QI$  采取加乘法进行合成,计算公式为<sup>[21]</sup>:

$$QI = \sum_{i=1}^n W_i \times Q(x_i) \quad (1)$$

式中,  $QI$  为土壤养分质量综合指标值;  $W_i$  为各评价因子的权重向量;  $Q(x_i)$  各评价因子的得分值。各因子的权重向量表示各个土壤养分因子的重要性程度,通过对各土壤养分因子进行主成份分析,根据各个主成份中各个元素载荷量的大小以及各个主成份对所有主成份的贡献率可以对各养分因子进行排序并最后并通过矩阵计算得出各个养分因子的权重值,结果如表 4。  $Q(x_i)$  的确定采用文献中所述的方法<sup>[22]</sup>:

$x_i \leq x_{i \min}$	$Q(x_i) = x_i / x_{i \min}$	$(Q(x_i) < 1)$	差
$x_{i \min} < x_i \leq x_{i \text{mid}}$	$Q(x_i) = 1 + (x_i - x_{i \min}) / (x_{i \text{mid}} - x_{i \min})$	$(1 \leq Q(x_i) < 2)$	一般
$x_{i \text{mid}} < x_i \leq x_{i \max}$	$Q(x_i) = 2 + (x_i - x_{i \text{mid}}) / (x_{i \max} - x_{i \text{mid}})$	$(2 \leq Q(x_i) < 3)$	良
$x_i > x_{i \max}$	$Q(x_i) = 3$	$(Q(x_i) = 3)$	优

式中,  $x_i$  为养分因子测定值;  $x_{i \min}$ 、 $x_{i \text{mid}}$ 、 $x_{i \max}$  为各级分级标准;  $Q(x_i)$  为各测定因子的得分值。根据异龙湖湖滨带土壤的特点和对其进行的综合分析,本文简单确定异龙湖湖滨带土壤养分评价因子分级标准如表 5,将异龙湖湖滨带土壤养分综合质量分为 4 级:差,一般,良,优。最后根据公式(1)计算各个样方的土壤养分质量综合指标值。

图 5 为不同样区的土壤养分质量综合指标平均值,从图中可以看出,南部湖滨农田(SF)的土壤养分质量综合指标值最高,为 2.16,大于 2,土壤养分综合质量较高;北部湖滨农田(NF)的土壤养分质量综合指标值为 1.86,位居第 2,介于 1.00~2.00 之间,土壤养分综合质量一般;北部湖滨坡地(NH)土壤养分质量综合指标值和北部湖滨农田相当,其有机质和 TN 含量较高;南部湖滨坡地(SH)的土壤养分质量综合指标值仅为 1.07,接

近于1,土壤养分综合质量相对较差。4个样区土壤养分综合质量大小的顺序为:南部湖滨农田(SF) > 北部湖滨农田(NF) > 北部湖滨坡地(NH) > 南部湖滨坡地(SH)。

#### 2.4 环境因子对单个土壤养分因子和土壤养分综合质量的影响分析

为进一步探讨环境因子对土壤单个养分因子和土壤养分综合质量的影响,需要进行相关分析,为了减少指标因子的量,首先对环境因子和单个土壤养分因子进行主成份分析,本文选择的环境因子为:气温,空气湿度,土壤含水量,海拔,坡度,坡向和坡型。其主成分分析结果如表6,相关分析结果如表7。环境因子前3个主成分的累计贡献率达到了91.693%,因此前3个主成分基本上包含了各个环境因子的信息。由前3个主成分的指标因子负荷量可以看出,第1主成分分量主要体现了气温、湿度、坡向和坡型的信息;第2主成分分量主要体现了坡度和海拔的信息;第3主成分分量主要体现了土壤含水量的信息。土壤养分因子的前3个主成分的累计贡献率为86.140%,超过了80%,基本可以反映出土壤养分因子对土壤养分综合质量的影响。第1主成分分量主要体现了OM、TN和TK的信息;第2主成分分量主要体现了TP和AP的信息;第3主成分分量主要体现了AK的信息。

表4 异龙湖湖滨带土壤养分评价因子权重

元素 Nutrient factors	OM	TN	TP	TK	AP	AK
权重 Weight	0.151	0.157	0.133	0.129	0.126	0.304

表5 异龙湖湖滨带土壤养分评价因子分级标准

Table 5 Different level standard of soil nutrient elements of Yilong lake shore

养分因子 Nutrient factors	$x_{min}$	$x_{mid}$	$x_{max}$
有机质 OM (g/kg)	25	77.5	150
全氮 TN (g/kg)	1	2.2	5
全磷 TP (g/kg)	0.5	0.8	1.2
全钾 TK (g/kg)	7	14.7	21
速效磷 AP (mg/kg)	0.8	1.5	10
速效钾 AK (mg/kg)	80	126.2	200

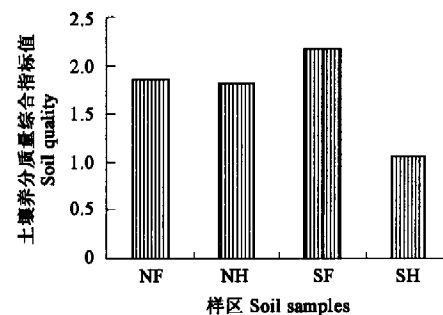


图5 不同样区的土壤养分综合质量比较

Fig.5 Comparison of soil quality between different sample zones

表6 主成分分析结果表

Table 6 The results of principal components analysis

变量名 Variable	主成分 Primary component			变量名 Variable	主成分 Primary component		
	E_PC1	E_PC2	E_PC3		N_PC1	N_PC2	N_PC3
气温 Air Temperature	0.895	0.331	-0.071				
湿度 Air Humidity	-0.862	-0.129	0.458	OM	0.926	0.100	0.039
坡度 Slope	0.223	0.932	-0.140	TN	0.938	0.191	0.029
水分 Soil Moisture	-0.214	-0.383	0.850	TP	0.264	0.821	0.294
海拔 Altitude	0.135	0.878	-0.275	TK	-0.767	0.315	0.202
坡向 Orientation	0.830	-0.076	-0.504	AP	-0.218	0.859	0.209
坡型 Slope shape	0.774	0.512	0.089	AK	-0.084	0.705	-0.701
特征值 Eigenvalue	4.304	1.356	0.759	特征值 Eigenvalue	0.926	0.100	0.039
贡献率 Variance(%)	61.488	19.368	10.836	贡献率 Variance(%)	40.823	34.249	11.068
累计贡献率 Cumulative(%)	61.488	80.857	91.693	累计贡献率 Cumulative(%)	40.823	75.072	86.140

N\_PC 代表土壤养分因子的主成分, E\_PC 代表环境因子的主成分 N\_PC stands for the primary component of the soil nutrient factors and the E\_PC stands for the primary component of environmental factors

环境因子的第3主成分和土壤养分综合质量之间的相关系数为0.590\*\*,具有显著的相关性,即土壤含水量对土壤养分综合质量具有显著的影响,而环境因子的第1主成分和第2主成分对土壤养分综合质量的影响相对较小;环境因子的第1个主成分分量和养分因子的第2个主成分分量之间的相关系数为0.369\*,即气温、湿度、坡向和坡型对土壤中磷的空间分布的影响较大;环境因子第2主成分、第3主成分和养分因子第1主成分分量之间的相关系数分别为0.408\*和0.574\*\*,呈显著正相关,即土壤含水量、坡度和海拔对土壤

OM、TN 和 TK 的影响较大。土壤养分因子的第 1 主成分、第 2 主成分和土壤养分综合质量之间的相关系数分别为 0.843<sup>\*\*</sup> 和 0.388<sup>\*</sup>, 具有显著的相关性, 其中第 1 主成分即 TN 和 OM 对土壤养分综合质量的贡献最大。对土壤养分因子的主成分分量和土壤养分综合质量指标值进行回归分析, 得出土壤养分综合质量和它们之间的回归方程为: 土壤养分综合质量 = 1.842 + 0.465 N\_PC1 + 0.214 N\_PC\_2。

表 7 主成分和土壤质量之间的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between primary components and soil quality

	N_PC1	N_PC2	N_PC3	E_PC1	E_PC2	E_PC3	Q(x <sub>i</sub> )
N_PC1	1						
N_PC2	0.000	1					
N_PC3	0.000	0.000	1				
E_PC1	-0.022	0.369 <sup>*</sup>	-0.332	1			
E_PC2	0.408 <sup>*</sup>	-0.292	-0.235	0.000	1		
E_PC3	0.574 <sup>**</sup>	0.200	-0.017	0.000	0.000	1	
Q(x <sub>i</sub> )	0.843 <sup>**</sup>	0.388 <sup>*</sup>	-0.076	0.164	0.250	0.590 <sup>**</sup>	1

N\_PC 代表土壤养分因子的主成分, E\_PC 代表环境因子的主成分 N\_PC stands for the primary component of the soil nutrient factors and the E\_PC stands for the primary component of environmental factors

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

### 3 结论

纵向岭谷区特殊的地形地貌特征导致土地资源分布的地域差异性, 主要可以分为坝区、半山区、山区和高寒山区 4 类, 异龙湖湖滨带位于坝区。随着环境梯度的变化, 生态系统的特征会发生明显的变异, 土壤是其重要的表征要素。本文通过多元统计分析探讨了异龙湖湖滨带单个环境梯度下土壤养分含量的空间分布特征, 不同环境梯度即综合环境梯度下单个土壤养分因子和养分综合质量差异, 环境因子与单个养分因子和土壤养分综合质量之间的关系等。结果表明: 在北部湖滨坡地, 坡位对土壤养分空间分布的影响显著; 在北部湖滨农田土壤, 水分梯度对钾的影响较大, 全氮和有机质则一部分受水分梯度影响, 另一部分受径流作用的影响; 异龙湖湖滨带土壤养分综合质量指数大小的排序为: 南部湖滨农田 > 北部湖滨农田 > 北部湖滨坡地 > 南部湖滨坡地; 气温、湿度、坡向和坡型对土壤中磷空间分布的影响较大, 土壤含水量、坡度和海拔对土壤有机质、全氮和全钾的影响较大; 土壤含水量即水分梯度对土壤养分综合质量影响最大。由于采样密度和采样范围的限制, 结果具有相对性, 如果将采样点的设置采取大尺度和小尺度相结合的方法, 可以获得更加详细准确的信息, 这将有待进一步研究。

### References:

- [ 1 ] Lu H W, Zeng G M, Jin X C, *et al.* Theories, technologies and applications of ecological restoration and reconstruction on aquatic-terrestrial ecotone. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, 16(6): 91 ~ 93.
- [ 2 ] Yan F, Schubert S, Menge I K. Soil pH changes during legume growth and application of plant material. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 23 (3): 236 ~ 242.
- [ 3 ] Hu J M, Liu X T. Evaluation and analysis on soil quality changes on the Sanjiang Plain. *Geographica Sinica*, 1999, 19 (5): 417 ~ 421.
- [ 4 ] Liu J S, Yang J S, Yu J B, *et al.* Study of vertical distribution of soil organic carbon in wetlands Sanjiang Plain. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17 (3): 5 ~ 8.
- [ 5 ] Tian K, Chang F L, Lu M, *et al.* Impact of human disturbances on organic carbon and nitrogen in Napahai wetlands, Northwest Yunnan. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (5): 681 ~ 686.
- [ 6 ] Jian N. Carbon storage in terrestrial ecosystem of China: estimates at different spatial resolutions and their responses to climate change. *Climatic Change*, 2001, 49: 339 ~ 358.
- [ 7 ] Jonathan J H, Jeffrey L S, Robert I P. Integration of multiple soil parameters to evaluate soil quality: A field example. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 21 (3): 207 ~ 214.
- [ 8 ] Post W M, Izaurralde R C, Mann L K, *et al.* Monitoring and verifying changes of organic carbon in soil. *Climatic Change*, 2001, 51 (1): 73 ~ 99.



- [ 9 ] Li Z P, Wang X J. Analysis and evaluation of soil organic matter dynamics at a litter region scale. *Geographica Sinica*, 2000, 20 (2): 182 ~ 188.
- [ 10 ] Xie X L, Sun B, Zhou H Z, *et al.* Soil carbon stocks and their influence factors under native vegetation in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (5): 687 ~ 699.
- [ 11 ] Eric A D. Spatial covariation of soil organic carbon, clay content, and drainage class at a regional scale. *Landscape Ecology*, 1995, 10 (6): 349 ~ 362.
- [ 12 ] Tchienkoua M, Zech W. Statistical analysis of soil variability in a humid forest landscape of Central Cameroon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2004, 5: 69 ~ 79.
- [ 13 ] Thomas B W, Thomas L T. Soil nutrient distributions of mesquite dominated desert grasslands: changes in time and space. *Geoderma*, 2005, 126: 301 ~ 315.
- [ 14 ] Mohamed A E. Environmental variations of trace element concentrations in Egyptian cane sugar and soil samples (Edfu factories). *Food Chemistry*, 1999, 65: 503 ~ 507.
- [ 15 ] Saville D J, Moss R A, Bray A R, *et al.* Soil nutrient distribution in pastures flood irrigated by the border strip method. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1997, 40: 99 ~ 110.
- [ 16 ] Chen L D, Zhang S R, Fu B J, *et al.* Correlation analysis on spatial pattern of land use and soil at catchment scale. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (12): 2497 ~ 2505.
- [ 17 ] He Q H, He Y H, Bao W K. Dynamics of soil water contents on south-facing slope of dry vally area in the upper reaches of the Minjiang River. *Chin J Appl Environ Biol*, 2004, 10 (1): 068 ~ 074.
- [ 18 ] Wang S P, Zhou G S, Lv Y C. Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along northeast China transect (NECT) and their relationships with climatic factors. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26 (5): 513 ~ 517.
- [ 19 ] Tian K, Lu M, Chang F L, *et al.* Impact of Agricultural Activities and Human Disturbance on Characteristics of Wetland Soil in Jianhu Nature Reservec. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23 (2): 267 ~ 271.
- [ 20 ] Liu S L, Fu B J, Lv Y H. Assessment of soil quality in relation to land use and landscape position on slope. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (3): 414 ~ 420.
- [ 21 ] Zhang Q F, Song Y C, You W H. Relationship between plant community secondary succession and soil fertility in Tiantong, Zhengjiang Province. *Acta Ecol Sinica*, 1999, 19 (2): 174 ~ 178.
- [ 22 ] Zhang Q L, Pan X Z, Wang H J. Study on spatial distribution of soil quality and quantitative evaluation of soil fertility quality under middle spatial scale. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34 (6): 493 ~ 497.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 卢宏伟, 曾光明, 金相灿, 等. 湖滨带生态带恢复与重建的理论、技术及其技术. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(6): 91 ~ 93.
- [ 3 ] 胡金明, 刘兴土. 三江平原土壤质量变化评价与分析. *地理科学*, 1999, 19 (5): 417 ~ 421.
- [ 4 ] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 等. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究. *水土保持学报*, 2003, 17 (3): 5 ~ 8.
- [ 5 ] 田昆, 常凤来, 陆梅, 等. 人为活动对云南纳帕海湿地土壤碳氮变化的影响. *土壤学报*, 2004, 41 (5): 681 ~ 686.
- [ 9 ] 李忠佩, 王效举. 小区域水平上土壤 OM 动态变化的评价与分析. *地理科学*, 2000, 20 (2): 182 ~ 188.
- [ 10 ] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子. *土壤学报*, 2004, 41 (5): 687 ~ 699.
- [ 16 ] 陈利顶, 张淑荣, 傅伯杰, 等. 流域尺度上土地利用与土壤类型空间分布的相关性研究. *生态学报*, 2003, 23 (12): 2497 ~ 2505.
- [ 17 ] 何其华, 何永华, 包维楷. 岷江上游干旱河谷典型阳坡海拔梯度上土壤水分动态. *应用与环境生物学报*, 2004, 10 (1): 068 ~ 074.
- [ 18 ] 王淑平, 周广胜, 吕育财, 等. 中国东北样带(NECT)土壤碳、氮、磷的梯度分布及其与气候因子的关系. *植物生态学报*, 2002, 26 (5): 513 ~ 517.
- [ 19 ] 田昆, 陆梅, 常凤来, 等. 农业利用和人为干扰对剑湖湿地土壤特性的影响. *农业环境科学学报*, 2004, 23 (2): 267 ~ 271.
- [ 20 ] 刘世梁, 傅伯杰, 吕一河. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响. *生态学报*, 2003, 23 (3): 414 ~ 420.
- [ 21 ] 张庆费, 宋永昌, 由文辉. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系. *生态学报*, 1999, 19 (2): 174 ~ 178.
- [ 22 ] 张庆利, 潘贤章, 王洪杰, 等. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价. *土壤通报*, 2003, 34 (6): 493 ~ 497.