

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

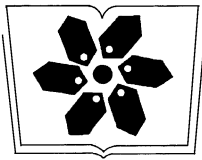
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

中国生态学会
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 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征·····	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态·····	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征·····	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布·····	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响·····	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性·····	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态·····	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响·····	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应·····	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化·····	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态·····	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响·····	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异·····	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性·····	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响·····	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响·····	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究·····	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例·····	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素·····	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性·····	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究·····	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究·····	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析·····	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征·····	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究·····	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累·····	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性·····	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化·····	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展·····	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角·····	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用·····	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评·····	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态·····	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响·····	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	



封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201204270606

方斌, 吴金凤, 倪绍祥. 浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析. 生态学报, 2012, 32(20): 6489-6500.

Fang B, Wu J F, Ni S X. Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6489-6500.

浦江县土壤碱解氮的空间变异与 农户 N 投入的关联分析

方 斌*, 吴金凤, 倪绍祥

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

摘要: 尝试以作物种植前、后土壤 N 的空间变化为基础与农户调查数据相结合, 以 GIS 技术为手段, 辅以地统计分析, 探讨县域作物土壤环境空间变化特征及其与农户土地管理行为, 特别是 N 投入行为间关系。其结果对更深入揭示农田碱解氮的演化规律, 指导农民合理 N 投入, 减少投入成本, 提升生态环境, 具有十分重要的作用。通过对 Moran's I 指数分析, 结果表明: 农业 N 投入普遍偏高, 过剩量大; 不同区域作物 N 投入存在较大差异, 且农户各自惯性投入依然较强。平原区变异系数大的主要原因在于种植规模化品种少, 粮食作物和经济作物 N 投入差距大; 山区和半山区的变异系数小的原因是由于规模化经营尚未形成, 种植作物的多样性和 N 投入的不稳定性综合形成的。此外, 研究还表明, GIS 空间分析技术与经典试验相结合能有效分析不同农户间的作物种植前后土壤 N 的变化差异, 对建立针对性的、差异化农地利用对策具有十分重要的作用。下一步研究可结合土地利用与覆盖变化、土壤物质循环作更深入探讨。

关键词: 碱解氮; 空间变异; N 投入; 关联分析; 浦江县

Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County

FANG Bin*, WU Jinfeng, NI Shaoxiang

School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

Abstract: Building and maintaining soil quality is the basis for improving agricultural products quality. The value of available nitrogen (N) largely determines the soil quality and affects the agro-ecosystem quality. A series of classical field experiments have been conducted to analyzed the soil nutrients and examine the effects of soil nutrients on different planting crops. And different kinds of soil dynamics models have been established. There are very few studies on comprehensive analysis through the integration of soil nutrients spatial variability for the fields before and after the crop planting date with household's crop variety and nutrients management level. In this paper, based on the exploration of the spatial variability of soil nitrogen and household land management behavior, GIS combined with Geostatistics was applied to analyze the spatial variation characteristics of soil environment and its correlation with household nitrogen inputs at Pujiang County. The research outcomes will play an important role in revealing evolution rule of agricultural land available nitrogen, guiding reasonable nitrogen inputs, reducing input cost and protecting eco-environment. With the rapid industrial expansion, the economic development indicators and development pressure on farmland in Pujiang country are slightly higher than the national average. A household survey in this region has been conducted for 10 years. Supported by the National Fund and based on the research results of an EU project—IRMLA, this study aims to achieve the further new discoveries regarding the

基金项目: 国家自然科学基金(40971105); 江苏省高校哲学社会科学研究重点项目(2010ZDIXM049); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

收稿日期: 2012-04-27; **修订日期:** 2012-08-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wenyanfang731@163.com

optimal use of farmland resources.

Pearson's correlation analysis showed that sampled variables for two times are normally distributed. The strength of a linear relationship for the contents of alkali-hydrolysable nitrogen was found, with close coefficient of variation and degree of variation of only 1.71%. The results showed that soil alkali-hydrolysable nitrogen content was not only determined by the characteristics of soil but also by household-induced nitrogen input. Furthermore, the correlograms of Moran's I further showed the following results: high nitrogen input to agricultural land with high excess volume; different N fertilizer input in different agricultural areas, indicating that current autistic type mode of operation characterized with family household and more self-consciousness restrict the applications of state-of-the-art techniques; the larger Coefficient of Variation (CV) in plain areas due to low planting diversity and big difference between grain and economic crops; smaller CV in mountains and terrace areas due to non-formed scale plantation and nonstability of planting diversity and nitrogen inputs. The combination of GIS spatial analysis technology and classical test can effectively analyze the changing differences of soil nitrogen before and after the crop planting and set up oriented and differentiated agricultural land use policy. With the basis of measured data, the study revealed the special change rule of agricultural land use type and available N and the interrelationship between land cover and land use. Due to the lack of experimentation support for N cycle, the further study should focus on the integration of land-use cover change and soil material cycle. this study, we only analyzed the measured data for one year and basically reflected the spatial variability of soil available nitrogen. Provided that the test data for many years in the same site be used, the achieved research results should be more precise and objective.

Key Words: available nitrogen; spatial variability; nitrogen input; correlation analysis; Pujiang county

土壤质量是优质农产品形成的基础,是影响农产品质量的关键性因素。而 N 的有效含量不仅决定了土壤质量的好坏,还影响着区域农田生态环境质量^[1-3]。因此,对农田 N 开展研究无疑具有十分重要的作用。经典试验对土壤养分作了很多有价值的分析,也探讨了土壤各种养分对不同作物的作用机理,并构建了土壤动力学模型^[4-6]。研究认为,土壤水解性氮或称碱解氮,也叫有效氮,能反映土壤近期内氮素供应情况,包括无机态氮(铵态氮、硝态氮)及易水解的有机态氮(氨基酸、酰胺和易水解蛋白质)^[7-9]。长期以来,对土壤中可溶性无机氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$)在不同生态系统中的迁移和转化进行了大量的研究^[10-12]。并发现,可溶性有机氮在不同生态系统养分迁移和循环中起着重要的作用^[13-15]。同时,相关理论还揭示出土壤养分在不同环境条件下会表现出空间异质性。而运用 GIS 技术分析得出,无论是大尺度还是小尺度,土壤空间变异性均普遍存在^[16-19]。对碱解氮空间变异性的研究可归纳为以下 3 个方面:(1)不同植被类型的土壤碱解氮空间变异性与植被种类、土层厚度、地形特征及海拔高度等都有一定的关系;并认为气候条件和土壤类型是影响碱解氮在不同纬度分布的主要原因;(2)作物养分投入量与方式的不同对土壤碱解氮会产生不同的效应;(3)不同尺度下地形是作物碱解氮空间变异性的主要影响因素之一^[20-22]。研究还表明,不同的土地利用方式不仅导致土地覆盖变化,引致地表环境与土壤条件的改变,还会导致土壤肥力改变^[23-26],影响土壤有机碳的转化与储存^[27-28]。由此,土地利用及其覆盖变化、土壤物质循环均成为生态与环境研究的主要内容之一^[29-30]。但是,把作物种植前、后土壤养分的空间变化特征与农户作物种植类型及养分管理水平结合作综合分析的文献则鲜有发现。本论文尝试以作物种植前、后土壤 N 的空间变化为基础与农户调查数据相结合,以 GIS 技术为手段,辅以地统计分析,探讨县域作物土壤环境空间变化特征及其与农户土地管理行为,特别是 N 投入行为间关系。其结果可进一步揭示农田碱解氮的演化规律,可根据不同区域的特征指导农民合理 N 投入,减少投入成本,提升生态环境。

1 研究对象与方法

1.1 研究区的选择

浙江省浦江县位于浙江省中部偏西,金衢盆地的北缘,是浦阳、壶源两江之发源地。地理坐标界于东经

119°42′—120°07′、北纬 29°21′—29°41′。东西宽 39.25 km,南北长 36.5 km。全县土地面积为 907.6637km²,约占全国陆域面积的万分之一。境内地貌分西北山区和浦江盆地两大类型。西北部山区属浙中丘陵山地地貌,以低、高丘为主。浦江盆地属于金衢丘陵盆地地貌。以平畈、岗地、低丘为主。根据海拔高度和农业利用特点可将浦江的地形平原区海拔(<150 m)、半山区(150 m<海拔< 500 m)、中低山区(海拔>500 m),符合“七山二水一分田”中国东部地形特征。

浦江县属亚热带季风气候区,四季分明,气温适中,光照充足,雨量丰沛,自然资源丰富,有着良好的农业资源环境。由于农业用地分别邻近浦阳江、壶源江和大陈江,因而又形成 3 种小气候带,分别为浦江盆地温暖少雨区(I 区)、壶源江谷温和次多雨区(II 区)、中低山温凉多雨区(III 区)。各气候带特征具体见表 1。

选择该县作为研究区除其自然地理形态和典型农业资源特性外,还包括以下 3 方面的原因:(1)区域经济发展水平略高于全国平均水平;(2)耕地保护的壓力正不断加大;(3)该区域的农户调查已有欧盟项目 IRMLA(综合农业资源管理与土地利用分析)成果的基础,也是目前国家基金所设置的研究区。而 TechnoGIN(综合农业资源分析模型)是借助 IRMLA 项目开发的大型综合农业投入产出分析软件,其研究结果已得到专家的认可^[31-37]。

表 1 浦江各农业气候带的主要土壤特征

Table 1 The main soil characteristics of each agricultural climate in PuJiang

编号 No.	海拔/m Elevation	年平均温度/℃ Mean annual temperature	年降雨量 mm Annual precipitation	≥10 ℃ 的积温 The accumulative temperature ≥10	土壤类型 Soil classification
I	70—300	16—17	1250—1400	4900—5200	冲积型和潜育型水稻土
II	28—500	15—16	1400—1500	4600—4900	洪积型水稻土
III	500—1200	13.5—15	1500—1577	3900—4600	壤土

1.2 主要研究方法

1.2.1 农户调查

(1) 调查方法

在浦江县选取了 107 个代表性农户进行调查,农户的选取采取点、线、面相结合的方式。面:尽量做到覆盖面广。将全县分三片:平原、半山区、中低山区,并兼顾到全县的每个乡镇。同时把农作物种类和种植面积、各地气候差异、典型产品和重点产业相结合综合考虑,尽量做到平衡。线:以公路为一线,池塘、沟渠为二线,山间小路为三线。点:除考虑各种不同的作物外,还要兼顾好、中、差三类生产水平的农户。具体调查点分布见图 1。在调查人员的安排上,采取乡镇从事农业技术推广专业人员和在校教师、研究生相结合的方式,根据选取的农户、统一标准、逐户调查。

(2) 调查内容

在调查之前先设计详细的调查表,与本研究相关的主要内容包括:1)农户家庭土地利用方式与农业生产管理,包括养分投入,特别是 N 投入;2)农户耕种田块的基本信息,如:种植面积、规模化程度、地形条件、地理位置、土壤性质等,为对土地利用方式的空间分析奠定基础;



图 1 浦江县的地理特征

Fig. 1 Geographical feature of PuJiang county

1.2.2 试验采样与分析

(1) 采样点的选取

根据种植作物的不同从 107 户农户家庭的责任田中取样 183 个样点,其中,水稻(包括水稻-油菜)共 57 块,葡萄 33 块,蔬菜 32 块,桃形李 21 块,其它 30 块。采样地块同时考虑坡度、坡向、相邻性等特征,并做好地理特征的相关信息采集。各样点见图 1。

(2) 土壤取样方法

①采样时间:第一次取样为作物播种前(3 月 3 日—12 日,共 10 d),第二次取样为作物收获后、有施肥前(11 月 25 日到 12 月 4 日共 10 d)。两次取样的田块完全相同。

②采样部位和深度:根据耕层厚度,确定采样深度,一般取样深度 0—20 cm。

③采样方法、数量:采用多点混合土样采集方法,每个混合农化土样由 20 个样点组成。每个点的取土深度及重量尽量均匀一致,土样上层和下层的比例基本相同。样品处理、储存等过程没接触金属器具和橡胶制品。每个混合样品一般取 1 kg 左右,如果采集样品太多,可用“四分法”弃去多余土壤。做好采样记录:土样编号、采样地点及经纬度、土壤名称、采样深度、前茬作物及产量、采样日期、采样人等。

(3) 试验分析方法

样品主要参照鲁如坤的《土壤农业化学分析方法》中的扩散吸收法对土壤有效 N 进行测定,并按国家标准的方法测试与分析^[38-39]。

1.3 GIS 技术的应用

①利用 ArcGIS 对浦江县 1:5000 的地形图进行数字化得到坡度、坡向、山地和平原等相关信息,绘制等高线。

②提取高度为 150、300、600 m 的等高线,以及浦江县界线图通过线转面的方法生成不同高度的高程单元。

③根据浙江省浦江县农业气候区图建立 3 个气候带。

④一批数据中,离群点的出现是不可避免的,它有可能就是真实异常值,也可能是由于不正确的观测或记录引起的如果离群值是真实异常值,这点可能就是研究和理解这个现象的重要点;反之,如果它是由于测量或数据输入的明显错误引起的,生成表面之前,就需要改正或剔除他们。为了尽量减少离群值对数据真实性的影响,原始采样点的数据首先进行探索性数据分析,利用地统计学中直方图和半变异/协方差函数去识别离群值,并剔除离群值。

经典统计学里通常用变异系数(CV)的大小确定其变异程度,当 $CV \leq 10\%$ 时为弱变异性,当 $10\% \leq CV \leq 100\%$ 时为中等变异性,当 $CV \geq 100\%$ 时为强变异性。变异系数的计算公式为 $CV\% = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$ (1),式中, CV% 为 变异系数大小; S 为标准方差; $\bar{X}$ 为变量均值。

⑤利用 Arcgis 空间统计模块中的空间自相关,即 Spatial Autocorrelation (Moran's I) 进行空间变异分析^[40-41]。根据浦江县的地形特征和对角线长约 45000 m,不同采样点的距离一般设置在 1000 m 左右,故自相关建立的有效范围为 1000—50000 m。Moran's I 指数与统计学上的相关系数相近,其值变化于 1 和-1 之间。当 $I=0$ 时代表空间无关,当 $I>0$ 时为正相关,而 $I<0$ 时为负相关,其计算公式为:

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \omega_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \omega_{ij} \right) \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})} \quad (i \neq j)$$

式中, x_i , x_j 分别代表空间要素 x 在空间单元 i 和 j 中的观测值; $\bar{x}$ 为 x 的平均值; ω_{ij} 为相邻权重; N 为总的空间单元数,分析时,将 Moran's I 指数与滞后距离尺度相结合,便可得到不同尺度下空间相关关系变化,然后利用尺度-自相关系数图直观地表现空间相关性随尺度的变化。

2 试验结果与分析

以两次取样的试验结果为基础,进行空间变异性分析,主要包括全县不同土地利用类型的土壤碱解氮综合空间分析、不同气候带下的土壤空间异质性差异分析、不同作物的土壤空间异质性差异分析。

2.1 数据正态检验和相关性分析

2.1.1 正态检验

正态分布检验是土壤碱解氮 Pearson 相关分析和 Moran's I 指数分析的前提,本文利用单样本 K-S 检验 (Kolmogorov-Smirnov Test) 对两个样本分别进行检验。第一次采样数据的均值为均值 53.94,标准差为 10.14,最极端差别为 0.08,第二次采样数据的均值为 87.73,标准差为 16.87,最极端差别为 0.04,根据 $D(x)$ 计算出的 K-S 的 Z 统计量分别是 1.03、0.50,渐近显著性(双侧)为 0.24、0.96,都达到了 0.05 的显著水平。因此,可以认为两次采样数据都符合正态分布。具体可见表 2。

表 2 单样本 K-S 检验结果

Table 2 The result of Kolmogorov-Smirnov Test

		碱解氮-1(N-1)	碱解氮-2(N-2)
N		183	183
正态参数 ^{a,b}	均值 Mean value	53.94	87.73
Normality parameter ^{a,b}	标准差 Standard deviation	10.14	16.87
最极端差别	绝对值 Absolute value	0.08	0.04
The most extreme difference	正 Positive	0.08	0.04
	负 Negative	-0.06	-0.03
Kolmogorov-Smirnov Z		1.03	0.51
渐近显著性(双侧) Asymptotic significant(bilateral)		0.24	0.96

a 检验分布为正态分布;b 根据数据计算得到

2.1.2 作物种植前、后土壤碱解氮的相关性分析

为了进行作物种植前、后土壤碱解氮的 Pearson 相关分析,两次采样数据的散点分布(图 2),显示碱解氮的两次采样数据存在一定的线性相关的,其中残差平方和 $R^2=0.215$,拟合度较高。通过 Pearson 相关分析发现两次采样数据均在 0.01 水平(双侧显著性检验),相关系数 $r=0.46$ 。根据统计学理论,线性相关系数 $|r|$ 越大,两个变量的线性相关性越强,如果 r 的绝对值大于 0.80,则认为两变量之间具有较强的线性相关关系,如

果小于 0.30 则有较弱的线性相关或可视为不存在线性相关。由此,可得出作物种植前、后土壤中碱解氮呈中强度线性相关。这一结果也说明土壤中碱解氮含量不仅仅受土壤本身特性的影响,还会受 N 肥投入等人为因素的影响,且人为影响在不同区域差异较大。

2.2 土壤氮的空间异质性

浦江县第一次样品与第二次样品的实测数据主要体现出以下 4 点特征:(1)两次实测 N 含量均符合正态分布;(2)第二次实测样品 N 的含量 99.9% 高于第一次实测的 N 含量,第一次实测碱解氮的平均含量为 53.78 mg/kg,第二次为 87.73 mg/kg,差值达 33.96 mg/kg。(3)两次变异系数较为接近,第一次为 0.19,第二次为 0.19,变异程度仅为 1.71%。(4)差值主要集中于 30—50 之间,该段数据达到了总数据的一半以上,说明 N 的过剩量较大,这一点与 TechnoGIN 模型测定结果一致,由于本次运用 TechnoGIN 测试的结果与文献方斌发表的论文基本一致^[32-33],两次测试结果的空间分布结果见图 3。

研究认为:(1)两次数据的变化均符合正态分布,说明土壤数据的变化与农户惯性投入有较为密切的关

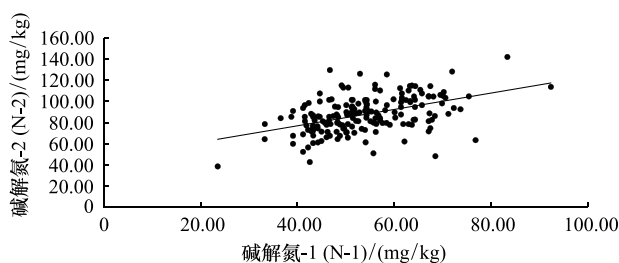


图 2 作物种植前、后土壤中碱解氮的相关性

Fig. 2 N correlation of crop planting after and before in soil

系。(2)第二次采样是作物收获后,其氮量远大于第一次,通过 TechnoGIN 模型测算 N 的投入过剩程度较高,达到了 63.14%。(3)两次 N 含量的变异程度小,说明区域环境对 N 的降解能力和农户投入均较为稳定。(4)差值偏大的主要原因仍存在于人们对 N 投入的认识上,仍认为 N 量投入高,作物产量增长快,这一点从调查数据中得到证实。

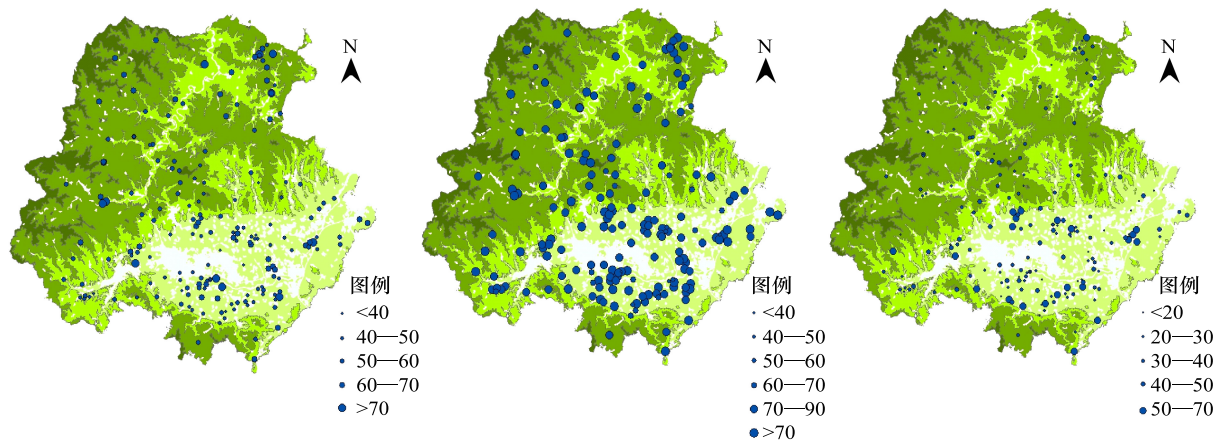


图3 不同采样点的氮含量分布状况

Fig.3 N content distribution of different sampling point

* 按从前到后的顺序分别为第一次实测 N 含量空间状态、第二次的空间状态、第二次与第一次的差值状态,以下同

通过对两次采样样点在不同步长下的自相关性分析发现:(1)两者随着步长的加大都表现为正相关。(2)第一次实测 N 含量随着步长的增大而减小,且变化较为平缓;第二次实测 N 含量与第一次则相反,其值随着步长的增大而增大,且波动性也较大。(3)第一次 N 含量的自相关系数在步长 1000 m 内达到了最大,值为 0.76,而第二次 N 含量的自相关系数在步长 2000 m 内达到了最大,值为 0.19,且随着步长的继续加大,其值趋于稳定(图 4)。

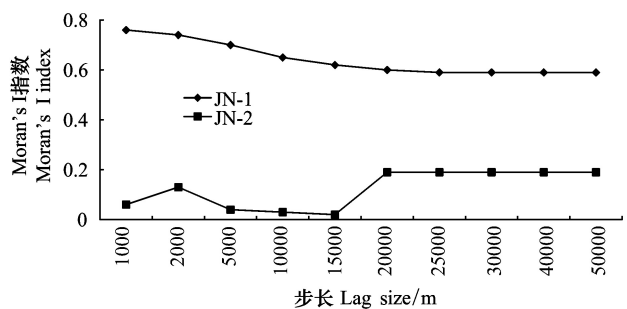


图4 氮含量的 Moran's I 指数

Fig.4 Moran's I index of N content

根据调查结果和参考 TechnoGIN 模型分析的数据:

(1)N 的绝对投入仍然是作物增产的重要来源。(2)随着步长的加大,第一次实测 N 含量的 Moran's I 指数会随着步长的加大而减小,说明这一值与区域环境的自然属性关系较密切,而受农户投入的影响不大。第二次实测数据与第一次表现出不同结果,说明农户养分投入对其影响更大。(3)第一次 N 含量的 Moran's I 指数在步长 1000 m 时达到最大,以后逐渐减少并趋于一致,说明区域自然环境对氮的消解能力较为接近,农户投入随着范围的加大而表现出较大的一致性,第二次实测开始波动性大,但随着步长的加大而趋于一致也说明邻近农户投入差异较大(可能与种植不同作物有关),而随着步长的加大其值趋于稳定,说明随着范围加大农户投入有较大的一致性(范围大,同类作物的样本数量增加)。

2.3 不同气候带氮的空间变异特征

为进一步了解不同区域样本的变异情况,研究选择浦江县独特的地形特征所形成的、有明显小气候带的区域作为评价单元。

2.2.1 浦江盆地温暖少雨区

该区域为浦江县的主要农地区,也是浦江县海拔最低的平原区,主要作物以水稻、葡萄等作物种植趋于规模化。通过对该区域样点 N 含量作异质性分析发现:(1)前后两次 N 含量变异系数分别为 0.21 和 0.22,变异

正向,程度达 6.31%。(2)前后两次实测平均值分别为 52.49mg/kg 和 88.05 mg/kg,差值为 35.57 mg/kg,差异较大。(3)前后两次实测值的标准差分别为 10.88 和 19.40,差值为 8.52 mg/kg,第二次的标准差值增加较大。(4)两次实测值的 Moran's I 指数都很稳定,分别是在 0.05 和 0.01 左右(图 5)。分析原因:(1)N 含量平均值和标准差的差异大主要有两方面的因素:其一,尽管该区域以水稻和葡萄为主要农作物类型,但两者化肥投入的差异较大。其二,相似区域自然环境对过剩 N 量的降解能力差别不大,N 的过剩量大,保留在土壤中没及时降解的 N 量就多。(2)该区域属平原区,主要以经济作物为主,农户的投入多,其 N 含量自然呈正向变异。而由于水稻和经济作物 N 投入的差异较大,导致其正向变异程度达到 6.31%。(3)由于该区域以规模经营为主,农户家庭投入的惯性较强,因而其自相关较为稳定。但由于粮食作物和经济作物 N 投入差异大,以及不同农户对作物的投入差异较大,导致其自相关性低。

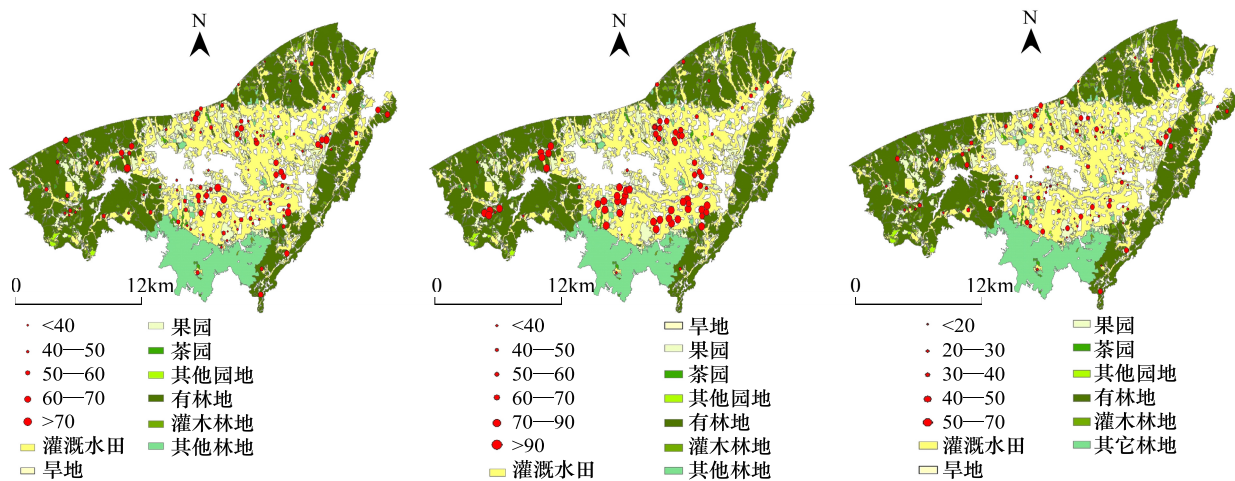


图 5 浦江盆地温暖少雨区不同采样点的氮含量分布状况

Fig. 5 N content distribution of different sampling point In Basin of warm little rain area in PuJiang

2.2.2 壶源江谷温和次多雨区

该区域为壶源江河流地带,海拔 150—300 m,在壶源江峡谷地,梯形平原和溪流峡谷地。起源于冲或洪积性沉淀粘性或粘壤性土,有灌溉系统,排泄能力好。该区域早期主要以水稻为代表型土地利用类型,目前发展较为多样化,没有形成相对稳定的作物种植模式。通过对该区域进行异质性分析发现:(1)前后两次变异系数分别为 0.17 和 0.14,变异负向,程度达 14.42%。(2)前后两次实测平均值分别为 55.78 mg/kg 和 88.11 mg/kg,差值为 32.33 mg/kg,差异较大。(3)前后两次实测值的标准差分别为 9.37 和 12.67,差值为 3.30 mg/kg,第二次的标准差值有所增加。(4)两次实测值的 Moran's I 指数都很稳定,分别是在 0.70 和 0.63 左右(图 6)。分析原因:(1)该区域位于浦江县较偏远地区,作物种植差异大,2005 年前,仍以粮食作物为主,近几年随着国家对农政策和市场变化的影响,其种植结构发生了较大变化,也出现了很多的反复。因此,其变异系数呈负向,且程度较大也就较为正常。(2)而随着经济作物种植面积的加大,N 的投入量加大,其土壤 N 含量的平均值和标准差值也自然加大。(3)由于该区域作物种植类型多样,养分投入差异大,反而有利于其自相关系数的稳定,且相关性较强。但由于其自相关系数超过 1,说明该区域的 N 含量的投入极其不稳定。

2.2.3 中低山温凉多雨区

该区域为大陈江河流地带,海拔大于 300 m 的山区,主要位于山区的山峦夹击处。粘壤或壤性土;平地或缓坡地(坡度<6度),有一定的灌溉条件。该区域早期也是以水稻为代表型的土地利用类型,但由于温度较平原区低,目前,高山蔬菜是这一区域的推广型土地利用类型。通过对该区域进行异质性分析发现:(1)前后两次变异系数分别为 0.1436 和 0.1482,变异正向,程度仅为 3.21%。(2)前后两次实测平均值分别为 56.12 mg/kg 和 86.45 mg/kg,差值为 30.335 mg/kg,差异较大。(3)前后两次实测值的标准差分别为 8.06 和 12.

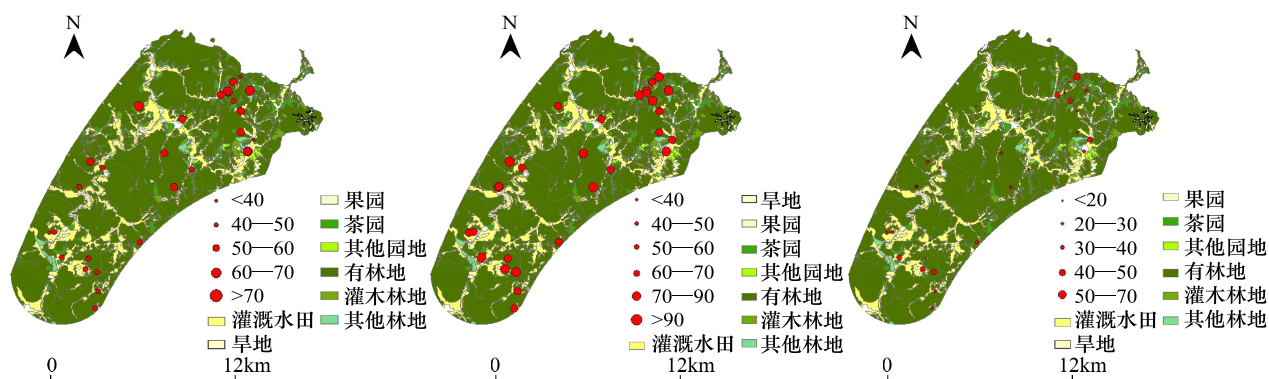


图6 壶源江谷温和次多雨区不同采样点的氮含量分布状况

Fig. 6 N content distribution of different sampling point in river of Huyuan mild rain area in PuJiang

81, 差值为 4.75 mg/kg, 第二次的标准差值有所增加(图 7)。(4) 两次实测值的 Moran's I 指数都很稳定, 分别是在 0.53 和 0.45 左右。主要原在于:(1) 该区域与半山区较为相似, 但由于其作物种植的多样性更加丰富, 且仍以水稻和旱作为主, N 肥的投入相对较低, 只有高山蔬菜的化肥投入较多, 但高山蔬菜的种植面积较小, 对调查结果只能产生较小的影响, 如 N 含量的平均值和标准差加大, 但变异系数基本不变。(2) 该区域的种植习惯仍建立在传统模式上, 因而其个体投入的差异性较小, 因而自相关性较稳定且达到了 0.45 和 0.53。

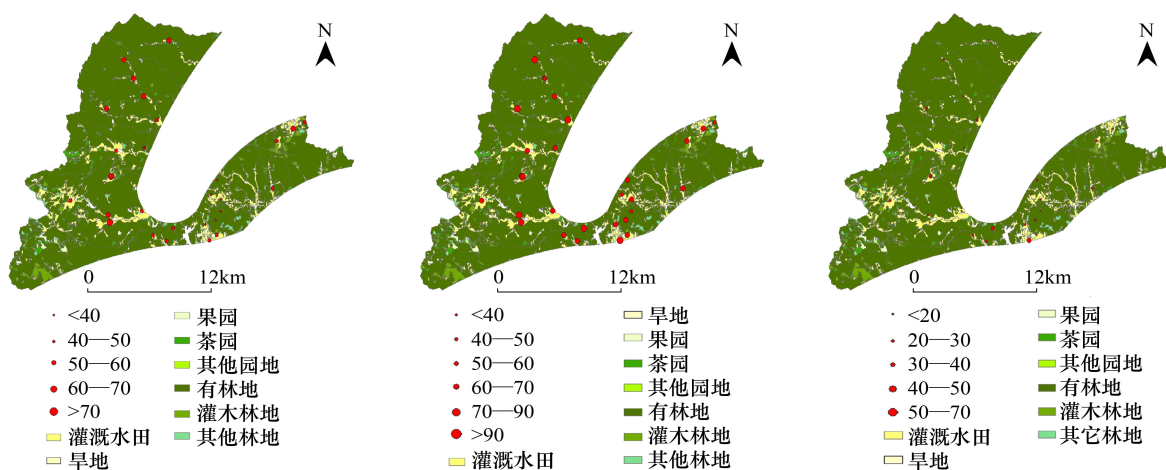


图7 中低山温凉多雨区不同采样点的氮含量分布状况

Fig. 7 N content distribution of different sampling point in Mountain low temperature and more rain area in PuJiang

2.3 不同作物氮的空间变异特征

从不同作物的情况看:(1) 常规作物, 如水稻(水稻-油菜)的标准差和变异系数变化较小, 而水果、蔬菜则相反, 特别是蔬菜则表现出很强的变异性。(2) 水果中葡萄的变异系数也很小, 原因在于浦江的葡萄绝大多数是规模化经营, 其平原区的种植面积差不多是该区域作物种植总面积的 1/3, 且大部分作物种植集中成片。(3) 蔬菜土壤 N 含量的平均值和标准差都较大, 原因在于蔬菜种植虽然以近郊区为主, 但在山区和半山区均有种植, 而蔬菜的种类较多, 农户投入自然很难统一。(4) 水果桃形李 N 含量的平均值和标准差均有较大差异, 主要原因在于尽管桃形李为浦江的特色农产品, 价格较高。但由于该产品的特殊地理性和较难管理, 因此, 种植并不是很普遍, 因而在养分投入上自然存在较大差异(表 3)。

表 3 不同作物土壤碱解氮的空间变化特征值比较

Table 3 Comparing characteristic value of the Soil Alkali-hydrolyzable Nitrogen's space variation among different crops

	水稻(水稻-油菜) Rice(Rice-Rape)		蔬菜 Vegetable		葡萄 Grape		桃形李 Plum like peach	
	种植前 Before planting	收获后 After harvest	种植前 Before planting	收获后 After harvest	种植前 Before planting	收获后 After harvest	种植前 Before planting	收获后 After harvest
样点数 Sites	57	57	32	32	33	33	21	21
最小值 Min.	33.25	59.94	39.11	65.77	33.28	48.23	41.54	60.63
最大值 Max.	76.85	114.56	92.42	400.31	83.42	141.94	63.69	214.97
平均值 Mean	54.77	85.61	57.46	101.08	52.14	85.04	49.39	99.08
标准差 SD	10.18	13.74	10.32	55.24	9.89	19.52	8.24	41.53
变异系数 CV	0.19	0.16	0.18	0.55	0.19	0.23	0.17	0.42

通过对 4 种主要作物的 Moran's I 指数进行分析发现,在步长达到 5000 m 以上时,该系数都趋于一致,均在 -0.05—0.09 间,且十分稳定(图 8)。说明:(1)随着步长的加大,农户 N 投入的差异性加大,而且这种差异性较为稳定,或者说农户养分投入的惯性较强。(2)尽管在平原区很多作物都处于规模经营状态,但是,这种规模经营仍然以农户家庭为主体,农户对作物产量的理解不同,有的只是追求更高产量(认为产量越高获得的经济收益就越高),有的追求稳定产量(稳定的产量能保证较好的品质,维持良好的地力),因而各自养分投入的差异较大,导致自相关性小。(3)不同作物生长的环境不一样,也会导致其相关性较低。

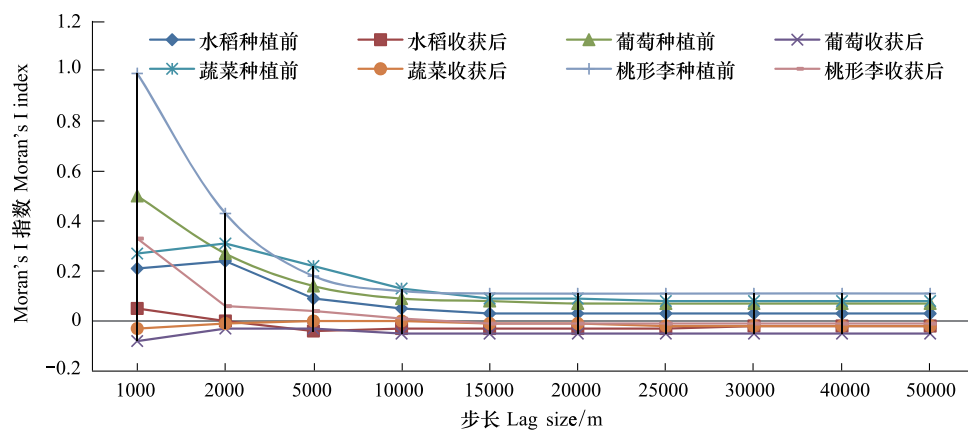


图 8 不同作物氮含量的 Moran's I 指数

Fig. 8 Moran's I index of N content in different crops

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) Moran's I 指数特征表明:农业 N 投入普遍偏高,过剩量大;不同区域作物 N 投入存在较大差异,且农户各自惯性投入依然较强;说明目前以家庭为单位的、自主意识较强的自闭型经营方式为主的发展模式制约着新技术的应用。

(2) 平原区变异系数大的主要原因在于其种植规模化的品种少,粮食作物和经济作物投入差距大;山区和半山区的变异系数小的原因是由规模化经营尚未形成,种植作物的多样性和 N 投入的不稳定性综合形成的。因此,加强山区和半山区 N 投入的科学化和开放性有重要意义。

(3) GIS 空间分析技术与经典试验相结合能有效分析不同农户间的作物种植前后土壤 N 的变化差异,这对建立针对性的、差异化农地利用对策具有十分重要的作用。

3.2 讨论

(1) 论文以实测数据为基础,揭示了农地土地利用类型与有效 N 的空间变化规律,做到了土地利用与土

地植被的有机结合,但在氮循环上缺乏试验支撑。

(2) 研究对农户投入后土壤变化进行分析,并运用 TechnoGIN 模型数据进行验证,能将“精细养分管理”和“测土配方”所推行的作物投入与农户投入作对比,并运用到空间分析中是今后研究的主要内容。

(3) 本研究只用了一年的实测数据作为支撑进行分析,得出的结论基本反映了作物土壤有效氮的空间变化规律,使用连续多年同样时点的测试数据作分析,得出的结论会更客观。

References:

- [1] Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9 (1): 1-6.
- [2] Yin J, Fei L J, Tian J C, Wang Y F, Han B F, Zhang X K, Mian S P. Research advance of nitrogen fertilizer losses from paddy field. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(6): 189-191.
- [3] Jones D L, Shannon D, Murphy D V, Farrar J. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(5): 749-756.
- [4] Zhu Z L. *China Study of Soil Nitrogen*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992.
- [5] Murphy D V, Macdonald A J, Stockdale E A, Goulding K W T, Fortune S, Gaunt J L, Poulton P R, Wakefield J A, Webster C P, Wilmer W S. Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 30(5/6): 374-387.
- [6] Perakis S S, Hedin L O. Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature*, 2002, 415 (6870): 416-419.
- [7] Li J M, Li S X. Relation of mineralizable N to organic N components. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2003, 9(2): 158-164.
- [8] Lu H L, Li S Q, Jin F H, Shao M A. Effect of soluble organic nitrogen on evaluating soil N-supplying capacity with water-logged incubation method. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(4): 1073-1082.
- [9] Fan X H, Lin D X, Shen M, Qin S W. Characteristics of mineralization and nitrification in the calcareous soils from a long-term fertilization experimental field. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 340-343.
- [10] Russow R, Stange C F, Neue H U. Role of nitrite and nitric oxide in the processes of nitrification and denitrification in soil: results from ^{15}N tracer experiments. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(4): 785-795.
- [11] Wang R P, Yu W M, Huang J G, Yuan L, Li S Y. Study on nitrogen mineralization and nitrate leaching in fields. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 80-83.
- [12] Zhang S L, Yang X Y, Lu D Q, Tong Y A. Effect of soil moisture, temperature and different nitrogen fertilizers on nitrification. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2147-2153.
- [13] Siemens J, Kaupenjohann M. Contribution of dissolved organic nitrogen to N leaching from four German agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2002, 165(6): 675-681.
- [14] Chapin F S III. New cog in the nitrogen cycle. *Nature*, 1995, 377(6546): 199-200.
- [15] Liu Y, Zhou G Y, Liu J X. Advances in studies on dissolved organic nitrogen in terrestrial ecosystems. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(5): 573-577.
- [16] Guo X D, Fu B J, Ma K M, Chen L D, Yang F L. Spatial variability of soil nutrients based on geostatistics combined with GIS: a case study in Zunghua City of Hebei Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 557-563.
- [17] Zhang S J, He Y, Fang H. Spatial variability of soil properties in the field based on GPS and GIS. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19(2): 39-44.
- [18] Feng N N, Li T X, Zhang X Z, Wang Y D, Xia J G. The spatial variability of the content of organic matter in hilly tea plantation soils with different sampling scales. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 349-356.
- [19] Li Z B, Chen Y Q, Yao Y M, Shi S Q. Spatial variability of available middle-elements and microelements in soil of Songnen Plain. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(5): 127-133.
- [20] Wang L, He S L, Li S W, Yao Z Z, Zhao X Y, Yi S L, Zheng Y Q, Deng L. Study on spatial variability of soil Alkali-hydrolyzable nitrogen at Microscale in hilly citrus orchard. *South China Fruits*, 2011, 40(3): 15-19.
- [21] Zhang M Q, Xu Z P, Yao B Q, Lin Q, Chen Z C, Li J, Yan M J, Zhang J L. Soil conditions and formulated fertilization for major crops in Fujian II. Sufficiency indices of alkali- hydrolyzable N, Olsen-P and available K in soil. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 24(1): 68-74.
- [22] Zhang Z M, Yu X X, Xu J, Gan J, Wang X P, Li J H. Spatial variability and prediction of soil available nitrogen of different vegetation types.

- Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(5): 12v18.
- [23] Li Z P, Tang Y L, Shi Ha, Zhang T L. Characteristics of C and N accumulation in infertile red soil under different rotation systems. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(10): 1236-1242.
- [24] Xu X W, Pan G X, Hou P C. Impact of different land use on topsoil organic carbon density in Anhui Province. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(6): 193-197.
- [25] Yu W T, Jiang Z S, Li X Y, Ding H X. Effects of land use type on soil organic carbon storage in aquic brown soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2760-2764.
- [26] Li Y L, Peng S L, Zhao P, Ren H, Li Z A. A study on the soil carbon storage of some land use types in Heshan, Guangdong, China. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(5): 548-552.
- [27] Xia J Q, Zhang M K, Xu J M. Effects of the reclamation of forest land on organic carbon, nitrogen and phosphorus pools in red soils of different Texturel. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(2): 185-189.
- [28] Zhang L Q, Zhang M K. Changes of organic C, N and P pools in red soil in transformation between agricultural land and forestry land. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2006, 23(1): 75-79.
- [29] Chen Y Q, Yang P. Recent progresses of international study on land use and land cover change (LUCC). *Economic Geography*, 2001, 21(1): 95-100.
- [30] Wu X Q, Cai Y L. Advances of researches on relationship between LUCC and soil erosion. *Progress in Geography*, 2003, 22(6): 576-583.
- [31] Fang B Wang G H. A TechnoGIN-based analysis of nutrient coefficients on fruit crops. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(1): 21-26.
- [32] Fang B, Wang G H. Analysis of crop nutrition limiting factors by TechnoGIN in Pujiang County of Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2005, 31(4): 417-522.
- [33] Fang B Wang G H, van den Breg M, Roetter R. Identification of technology options for reducing nitrogen pollution in cropping systems of Pujiang. *Journal of Zhejiang University Science*, 2005, 6(10): 981-990.
- [34] Fang B. Poverty and biodiversity in rural areas based on two investigations in Pujiang County, China. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(5): 1924-1932.
- [35] Ponsioen T C, Laborte A G, Rötter R P, Hengsdijk H, Wolf J. TEchnoGINv3: a technical coefficient generator for cropping systems in East and Southeast Asia. *Quantitative Approaches in Systems Analysis* no. 26. Wageningen (The Netherlands): C. T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, 2003.
- [36] Fang B, Wang G H, Lü C H. Research on harmonious growth of eco-economy and agricultural N input. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 214-219.
- [37] Lu R S. *Soil Agricultural Chemical Analysis Method*. Beijing: Agricultural Sciencetech Press, 2000.
- [38] The People's Republic national standards (GB/T 17141—1997), soil quality-Determination of lead, cadmium- graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. State Bureau of Environmental Protection and State Bureau of Technical Supervision Release.
- [39] Hu W, Shao M A, Wang Q J. Scale-dependency of spatial variability of soil moisture on a degraded slope-land on the Loess Plateau. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(8): 11-16.
- [40] Shi Z, Li Y. *Geostatistics and its Application to Soil Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2006.

参考文献:

- [1] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策. *土壤与环境*, 2000, 9(1): 1-6.
- [2] 尹娟, 费良军, 田军仓, 王艳芳, 韩丙芳, 张学科, 勉绍平. 水稻田中氮肥损失研究进展. *农业工程学报*, 2005, 21(6): 189-191.
- [4] 朱兆良, 文启孝. *中国土壤氮素研究*. 南京: 江苏科技出版社, 1992.
- [7] 李菊梅, 李生秀. 可矿化氮与各有机氮组分的关系. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(2): 158-164.
- [8] 卢红玲, 李世清, 金发会, 邵明安. 可溶性有机氮在评价土壤供氮能力中的作用与效果. *中国农业科学*, 2008, 41(4): 1073-1082.
- [9] 范晓晖, 林德喜, 沈敏, 钦绳武. 长期试验地潮土的矿化与硝化作用特征. *土壤学报*, 2005, 42(2): 340-343.
- [11] 王荣萍, 余炜敏, 黄建国, 袁玲, 李淑仪. 田间条件下氮的矿化及硝态氮淋溶研究. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 80-83.
- [12] 张树兰, 杨学云, 吕殿青, 同延安. 温度、水分及不同氮源对土壤硝化作用的影响. *生态学报*, 2002, 22(12): 2147-2153.
- [15] 刘艳, 周国逸, 刘菊秀. 陆地生态系统可溶性有机氮研究进展. *生态学杂志*, 2005, 24(5): 573-577.
- [16] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 陈利顶, 杨福林. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 557-563.
- [17] 张淑娟, 何勇, 方慧. 基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究. *农业工程学报*, 2003, 19(2): 39-44.
- [18] 冯娜娜, 李廷轩, 张锡洲, 王永东, 夏建国. 不同尺度下低山茶园土壤有机质含量的空间变异. *生态学报*, 2006, 26(2): 349-356.

- [19] 李志斌, 陈佑启, 姚艳敏, 石淑芹. 黑龙江松嫩平原土壤有效态中微量元素的空间分布特征. 干旱区资源与环境, 2008, 22(5): 127-133.
- [20] 王亮, 何绍兰, 李松伟, 姚珍珍, 赵旭阳, 易时来, 郑永强, 邓烈. 微尺度下丘陵柑桔园碱解氮空间变异性研究. 中国南方果树, 2011, 40(3): 15-19.
- [21] 章明清, 徐志平, 姚宝全, 林琼, 陈子聪, 李娟, 颜明娟, 张建丽. 福建主要粮油作物测土配方施肥指标体系研究 II. 土壤碱解氮、Olsen-P 和速效钾丰缺指标. 福建农业学报, 2009, 24(1): 68-74.
- [22] 张振明, 余新晓, 徐娟, 甘敬, 王小平, 李金海. 不同植被类型土壤碱解氮空间变异性及预测. 北京林业大学学报, 2009, 31(5): 12-18.
- [23] 李忠佩, 唐永良, 石华, 张桃林. 不同轮作措施下瘠薄红壤中碳氮积累特征. 中国农业科学, 2002, 35(10): 1236-1242.
- [24] 许信旺, 潘根兴, 侯鹏程. 不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响. 水土保持学报, 2005, 19(6): 193-197.
- [25] 宇万太, 姜子绍, 李新宇, 丁怀香. 不同土地利用方式对潮棕壤有机碳含量的影响. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2760-2764.
- [26] 李跃林, 彭少麟, 赵平, 任海, 李志安. 鹤山几种不同土地利用方式的土壤碳储量研究. 山地学报, 2002, 20(5): 548-552.
- [27] 夏建强, 章明奎, 徐建民. 林地开垦后对不同质地红壤碳氮和磷库的影响. 土壤通报, 2005, 36(2): 185-189.
- [28] 张履勤, 章明奎. 林地与农地转换过程中红壤有机碳、氮和磷库的演变. 浙江林学院学报, 2006, 23(1): 75-79.
- [29] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展. 经济地理, 2001, 21(1): 95-100.
- [30] 吴秀芹, 蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展. 地理科学进展, 2003, 22(6): 576-583.
- [31] 方斌, 王光火. 基于 TechnoGIN 的果树作物养分因子效应分析. 果树学报, 2006, 23(1): 21-26.
- [32] 方斌, 王光火. 对浙江省浦江县作物养分限制因子的 TechnoGIN 分析. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(4): 417-522.
- [36] 方斌, 王光火, 吕昌河. 农业 N 肥投入与生态经济效益的协调增长. 生态学报, 2007, 27(1): 214-219.
- [37] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [38] 中华人民共和国国家标准(GB/T 17141—1997), 土壤质量铅、镉的测定石墨炉原子吸收分光光度法. 国家环境保护局、国家技术监督局发布.
- [39] 胡伟, 邵明安, 王全九. 黄土高原退耕地土壤水分空间变异的尺度性研究. 农业工程学报, 2005, 21(8): 11-16.
- [40] 史舟, 李燕. 地统计学在土壤学中的应用. 北京: 中国农业出版社, 2006.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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