

土壤养分循环实地采样调查方法*

黄敏^{1,2} 苏以荣^{1*} 黄道友¹ 吴金水^{1,3} 黄巧云³

(¹中国科学院亚热带农业生态研究所,长沙 410125;²武汉理工大学资源与环境工程学院,武汉 430070;³华中农业大学资源与环境学院,武汉 430070)

【摘要】 讨论了一种在区域尺度上研究生态系统中土壤养分循环的样区采样及调查方法.即在满足土壤养分循环研究所要求的代表性、重现性、随机性及时间性等原则的基础上,利用地形图及航空照片等资料,在区域中选定合适面积和数量的样区后,在各样区内按统一标准采集土壤和植物样品.考虑区域土壤养分循环受自然环境条件和社会经济条件等因素的制约,野外采样过程中有必要对采样单元的实地情况进行调查记载,并就样区内所有农户的基本状况、种植业结构及肥料投入等有关土壤养分循环的影响因子进行农户调查.对我国亚热带农业生态系统中土壤养分循环进行了案例研究,探讨了该采样调查方法在土壤养分循环研究中的应用.

关键词 样区 采样调查 土壤养分循环 方法 区域生态系统

文章编号 1001-9332(2006)02-0205-05 **中图分类号** S154.1, S158.3 **文献标识码** A

An on-the-spot sampling and survey method for soil nutrient cycling study. HUANG Min^{1,2}, SU Yirong¹, HUANG Daoyou¹, WU Jinshui^{1,3}, HUANG Qiaoyun² (¹*Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China*; ²*School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China*; ³*College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(2): 205~209.

In this paper, an on-the-spot sampling and survey method for studying the soil nutrient cycling in a regional scale was discussed, with considering the principles of representation, reproducibility, randomness and timeliness. Firstly, some representative sampling areas in a definite region should be selected, based on the relevant hypsographic maps and airscapes. During the course of sampling soil and plant, a field survey related to the sampling sites should be carried out to understand the natural affecting factors on the soil nutrient cycling in a regional agro-ecosystem scale. Moreover, the farmers' basic status, crop production, and applied amount of fertilizers and their allotment should be also investigated. A case study of nutrient cycling in subtropical regions of China was carried out to approach the application of the method in the study of soil nutrient cycling in some regions.

Key words Sampling area, Sampling and survey, Soil nutrient cycling, Method, Regional ecosystem.

1 引言

养分循环是生态系统最基本的功能之一,人为因素控制下的农业生态系统的养分循环是建立持续农业的物质基础.长期以来,关于土壤养分循环的研究多集中在两个方面,一是采用实验室模拟的方法研究养分的转化过程^[8],二是通过田间定位试验长期监测土壤-植物系统的养分盈余与平衡^[12-14, 22].这些研究在一定程度上增加了人们对土壤养分循环过程的了解,但这些研究中的环境条件、施肥栽培等管理模式都与农业生产实际严重不符.目前,土壤养分循环研究正由实验室模拟和田间定位试验等传统研究向区域实地研究的方向发展,而建立相应的调查和采样方法是研究区域农业生态系统中土壤养分循环问题的重要前提.

近几年,我国在运用“3S”技术(GIS-地理信息系统技术、RS-遥感技术、GPS-全球定位系统技术)研

究区域范围的土壤养分时空变异及管理方面做了不少工作^[6, 9, 10, 19],但究其数据来源主要是全国土壤普查数据^[7]和小面积范围内采样实测的数据^[9, 10, 19].前者因采样点过于稀疏、其数据不充分或精度不够,易导致结论的不确定性,其结论运用到实践中存在一定的盲目性^[1, 11];后者因采样面积不够和生态系统类型单一,而不具有一个完整的区域生态系统的特点,这样易犯以偏概全的错误^[11, 25].本文针对这两类数据来源的不足,提出了一种在区域尺度上研究农业生态系统中土壤养分循环的实地采样及调查方法,以期应用3S技术在区域尺度上研究土壤养分循环、空间分布与养分管理相结合等方面提供一种方法范例.

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-426)、国家自然科学基金重点项目(40235057)和国家“十五”科技攻关资助项目(2004BA606A-08).

** 通讯联系人. E-mail: yrsu@isa.ac.cn
2005-01-10 收稿, 2005-04-27 接受.

2 方法建立的原则

要正确评价整个区域的养分循环状况,只能通过正确的抽样技术,用统计学方法研究样本测试值的统计量,从而估计总体(整个区域)的养分状况^[10]。样区实地采样方法的原则是在研究区域内选择样区以及在样区内确定采样单元的基本依据,它是将各样区研究结果拓展到整个区域的理论保证。其具体要求如下:

2.1 代表性原则

样区仍属于在区域范围的抽样观察,选择样区时首先须考虑样区在整个区域中的典型性和代表性。区域生态系统包括地理景观等时空格局及各要素之间的相互作用过程^[17],在以土壤养分循环为研究目的选择样区时,应以生态学和地理学的区域划分理论为基础,所确定的样区要能代表研究区域的完整地貌单元和生态群落结构。另外,人类活动也是影响区域生态系统中土壤养分循环过程的重要因子,选择样区时还须同时考虑社会经济因素的代表性。从气候特征、地形地貌、生态系统类型、社会经济因素等多个层面选择具有代表性的样区,是由样区研究结果向区域推断的首要条件。

2.2 重现性原则

重现性是指在已定的样区内多次重复采样,结果都能获得相同的规律性。要保证研究区域结果重现性,必须统一区域内各样区的采样标准和方法,并有足够密度的样点,尽可能消除采样方法引起的人为误差。为便于样区内重复采样与样品化验结果的正确分析,在整个采样过程中,有必要对各采样单元的地理位置、土地利用方式、农艺管理措施等实地情况进行详尽的记载,尽可能全面地考虑区域生态系统中影响土壤养分循环的因素。

2.3 随机性原则

在大尺度上,区域土壤养分受地带性规律和时间性节律的支配,但在小尺度上,由于受土壤母质及耕作施肥非均匀性的影响,它们却表现为“随机分布”的特点。从理论上讲,区域中的样区、样区中的采样单元、采样单元中的样点数都是越密越接近真实值,但在实践中却不可能做到。利用统计学原理的随机性原则,可以用样点来反映其代表的采样单元,以采样单元来反映代表的样区,以样区来反映代表的区域。在选定的样区内按统计学要求设置适当数目的采样单元,根据每个样点都有相同概率的原则进行随机采样。

2.4 时间性原则

由于农业生态系统中的土壤^[7]和植物^[12]养分含量、植物生物量^[20]都存在季节性变化,各样区采样时间不一致易导致样区间结果缺乏可比性,也无法保证样区内土壤养分特征及循环规律与整个研究区域接近。保证各个样区采样时间的相对统一,是样区研究结果拓展到整个区域的关键之一。

3 方法实施的过程

按照养分循环的途径和范围,可将区域土壤养分循环划分为地球化学循环和生物循环,前者反映

养分进入和流出土壤系统的循环过程,后者为植物和土壤之间的元素循环^[18]。因此,本方法重点考虑了土壤和植物两大部分的采样与调查,主要包括确定采样方案、样品的采集及实地调查、农户调查和数据核查4个主要步骤。

3.1 定点采样

3.1.1 土壤采样方法 区域生态系统中土壤体系复杂,样区内样品的合理采集是土壤养分循环研究的重要前提。1)确定采样方案。采样方案包括选择样区、确定采样密度和采样单元等内容。通过查阅研究区域的相关资料,划出样区的大致范围,而后获得含有样区的大比例尺地形图及航片。利用这些地形图及航片,确定能代表完整地貌单元和生态群落结构的样区边界。若样区分散在多张地形图或航片上,须将这些地形图或航片拼接或剪切成一张含有完整采样样区的图片,以便实地采样。联产承包责任制在我国农村实行了20多年,独立的农户是农业生产中最基本的经营决策单位,土壤养分的输入、输出状况因农户不同而差异很大^[16,23]。因此,样区中采样单元的划分可基于不同农户的田(地)块而随机确定,即事先在航片上对所有田(地)块进行编号,再利用随机函数抽取号码以确定采样单元。要指出的是,航片上水田的边界明显,可直接编号;旱地、果园和林地等的边界一般难以辨认,可事先在航片上画出网格后再编号。2)实地土样采集。选定采样单元后,在实地找到航片上所选的田(地)块,采集土壤样品。由于航片拍摄与实地采样存在时间差距,航片所显示的利用方式不一定与实地情况完全吻合。因此,对于被选定而不适合采样的单元,可根据实地情况作适当调整。在各采样单元内,按一定线路随机多点采集土壤混合样品,每个采样单元的样点数视土壤差异和面积大小而定(一般不少于15点),每一点采集的土样厚度、深浅、宽窄应保持一致,每个土样1 kg左右。以土壤养分循环为研究目的而采集的样品,一般采集耕层土壤(0~20 cm)即可,若要了解土壤养分的垂直分布状况,可适当在采样单元内采集土壤剖面样品。在采样过程中,对各采样单元用精度合适的GPS定位,这既方便后期研究的重复采样,也有利于用GIS技术实现土壤养分信息在空间上的拓展。

3.1.2 植物调查采样及其生物量的估算 植物是生态系统中土壤养分循环的重要环节,它从土壤中吸收养分,又通过其残体将所吸收的养分部分还入土壤。植物生物量作为生态系统获取能量能力的主要指标,直接影响土壤养分的收入和支出状

况^[11,12,15].因此,样区内植物群落的调查采样及其生物量的估算,是研究土壤养分循环必不可少的部分.植物群落的调查采样方法是以样方作为整个研究样区的代表,而样方的面积、形状和数量应根据样区内植物群落的类型、结构及功能等特征来确定.以研究土壤养分循环为目的调查植物群落时,样方的选择必须与土壤采样单元相对应.植物群落的样方面积因样区的不同而异,各群落的样方面积大小范围一般为:林地 $5\text{ m}\times 5\text{ m}\sim 50\text{ m}\times 50\text{ m}$,其中灌木林 $5\text{ m}\times 5\text{ m}\sim 20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 、乔木林 $20\text{ m}\times 20\text{ m}\sim 50\text{ m}\times 50\text{ m}$;草地 $1\text{ m}\times 1\text{ m}\sim 3\text{ m}\times 3\text{ m}$;农田可依作物类型而定,一般为 $2\text{ m}\times 2\text{ m}\sim 5\text{ m}\times 5\text{ m}$ ^[2~5,12,20,22,24].当然,样方形状不一定是正方形的,有人^[5]发现长方形样方可以反映群落更多的变异情况.样区内各植物群落调查的样方数一般为10~20个,其调查内容包括植物的丰富度、密度、频率、高度、生物量等^[4].

植物生物量通常采用分级采样法直接测定^[3].在林地样方内,可按乔木生长状况分级进行每木检尺,再按生长级选伐样木,并测定干、枝、叶、根等各组分的生物量,以此测定值与胸径 D 的平方(D^2)乘以树高 H (D^2H)建立相对生产式后,对全林的生物量进行估计^[2~4,20].在灌木样方内,则选择10~20株标准样株,并以50 cm为一层,对地上部分齐地面分层采样,分别测定其基径(D)和株高(H),按径阶标准木法计算得到各器官生物量^[5,24].对于灌丛和林下草本,通常齐地面将在样方内植株整体割下求出其生物量^[20,24].对于农田作物生物量的测定,可通过考种测定样方内所有植株的生物量,或通过经济产量换算出整个样区的生物量.植物地下部生物量可用挖土块法测定,即在样方内挖3~5个土壤剖面,再在各个剖面上取一定体积土块,以土块中洗出的根系来推算出地下部生物量^[15,20,21].

采集植物样品应结合其生物量测定同时进行^[3,4],各类植物样品一般不少于0.5 kg.对乔木和灌木而言,可在整株树的不同区分段混合采样,即将树木各区分段的干材、干皮、树叶、树枝以及不同粗度的根系分别混合后,再分别采集不同区段的样品.对灌丛、林下草本及一般农作物样品的采集,一般在所调查的样方内按梅花形机械布置5个 1 m^2 的小样方,分类采集地上部分和地下部分的样品.死地被物可分为未分解、半分解和已分解3个组分进行采集.将采集好的样品置于布袋内,附上注明植物名称、组织器官、采集地点、采样时间、采集人等内容的标签.

3.2 采样单元的实地调查

采样单元的实地调查是对采样单元实地情况的观察记录,其内容因土地利用方式的不同而异,其过程与上文的样品采集同步进行.由于采样单元的实地调查是一项细致的资料收集工作,采样前应准备充分,须拟定调查内容的提纲,如采样单元的野外编号、地理位置、土壤类型、植被种类以及土壤综合特征等.对农田而言,还包括户主姓名、种植模式、作物产量、施肥灌溉及肥力简评等内容.采样过程中,随带熟悉样区情况的当地群众3~5名,起向导及辅助采样的作用,更重要的是为各采样单元提供某些信息,比如采样田(地)块近年来的种植模式、施肥灌溉情况、大致产量等.采样单元的实地调查资料可为后期的数据处理、结果分析及报告写作提供参考.采样单元的实地调查内容,有助于土壤养分状况与样区自然条件的结合,从而阐明自然环境及人为因素对土壤养分循环的影响.

3.3 样区内的农户调查

农户调查是以了解影响土壤养分循环因素为目的、以农户为基本单位、对样区内所有农户开展的社会调查,在农户调查中应用最广的是参与式调查,包括关键人物访谈、群体访谈和问卷调查等.一般由3~5个专业人员逐一访谈样区内的所有农户,实践证明这种调查方式所获的结果较为可靠^[16].同采样单元的实地调查一样,为保证农户调查内容的齐全无误,调查前有必要拟好提纲,提纲主要包括农户的家庭状况、种植结构、经营规模以及肥料投入等方面.其中,家庭状况包括户主姓名、文化程度、人口数与劳力数、承包土地总面积与各类土地的比例、收入来源与支出途径等;种植结构包括作物类型及其种植制度,各类作物的种植面积、产量、成本等;肥料投入情况包括有机肥、化肥的总量及各种肥料在各作物上的用量分配等.

除受地形、地貌、气候、土壤、植被等自然条件的约束外,区域土壤养分循环还受农户生产经营行为的影响.从1979年农村实行联产承包、分田到户的政策以来,农户越来越以自身可能获得的经济效益为依据,来选择土地利用方式和变更农业生产上的投入^[16,23].因此,在区域实地采样的基础上进行的农户调查,有助于了解驱动土壤养分循环的社会经济因素,从而为区域农业资源的合理配置与管理提供科学依据.

3.4 核查调查数据

数据核查是保证调查资料准确可靠的关键步

骤,没有这一步骤,即便再全面的数据和再科学的分析也可能使这一资料失去价值.无论是采样单元的实地调查数据,还是农户生产经营状况的调查资料,都是直接而分散的第一手记载,其科学性和可靠性难以保证,因而有必要进行核查与整理.调查数据的核查方法主要有两种,一是以农户为单位,将采样单元的实地调查数据与农户调查资料相结合,通过计算其收入与支出、投入总量与分配比例等是否相符,来核查调查数据的合理性和可靠性;二是将样区的农户调查数据与当地行政管理部门提供的农业统计资料进行比较,在适当的误差范围验证调查数据的一致性.对于有疑问的调查数据要及时修正和补漏,必要时须重新调查.值得指出的是,核查调查数据的人员不仅要具备一定的专业知识,而且要熟悉样区情况,这样更能保证上述调查数据核查分析的可靠性.

4 案例与讨论

下面以“亚热带农业生态系统土壤磷素循环”为例,来说明该方法在区域土壤养分循环上的研究思路.在这项研究中,在兼顾交通的便利程度和已有工作基础的情况下,在我国亚热带的平原区、丘陵区、低山区这三大典型区域内,按上述原则共选择了6个样区(图1),各样区面积为3.5~5.0 km².其中,在丘陵区布设了3个样区,即代表北亚热带黄棕壤的咸宁样区、代表北亚热带红壤的桃源样区、以及代表中亚热带红壤的鹰潭样区;在低山区布设了代表南亚热带红壤的肯福样区;在平原区布设了2个样区,即代表中亚热带湖区平原的沅江样区和代表南亚热带峰林平原的大才样区.通过对这6个样区采

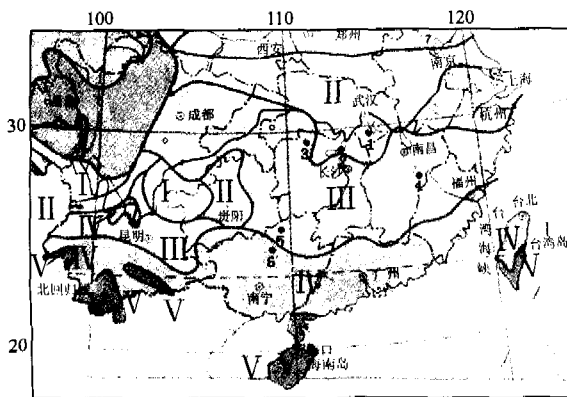


图1 我国亚热带区域6个样区的分布图

Fig. 1 Location of the six sampling areas of subtropical regions in China. 1) 咸宁 Xianning; 2) 沅江 Yuanjiang; 3) 桃源 Taoyuan; 4) 鹰潭 Yingtan; 5) 天才 Tiancai; 6) 肯福 Kenfu.

I: 暖温带 Warm temperate zone; II: 北亚热带 North subtropical zone; III: 中亚热带 Middle subtropical zone; IV: 南亚热带 South subtropical zone; V: 边缘热带 Marginal tropical zone.

样和调查结果的分析 and 归纳,可得出亚热带3大典型区域土壤磷循环特点. GIS/GPS 技术可实现样品信息在空间上的链接,它能将采样单元所反映信息拓展至样区,将各样区土壤磷循环特征拓展至整个亚热带区域.调查资料与样区土壤磷循环规律的结合,有利于从自然条件、农业格局和人类活动等方面来揭示驱动土壤磷循环的因素与机制,从而建立我国亚热带农业生态系统土壤磷循环及其优化管理理论.

这里仅以桃源样区为例,介绍北亚热带红壤丘陵区样区的选择、样品的采集和调查等过程.首先,从湖南省测绘局获取了湖南省桃源县盘塘镇王家档村比例尺为1:10 000的地形图及其航片.借助这些资料,可划出具有丘陵区完整的地貌单元和生态群落结构的样区边界,该样区的实地面积为3.5 km².联产承包制造成了农民耕作经营分散的特点,而丘陵区的自然地理条件使得单元田(地)块面积更加狭小.在地形部位、灌溉条件、肥力水平等条件基本一致的范围内,样区内田(地)块单元的面积一般不超过0.20 hm²;果园虽成片经营,但同一农户连片承包的面积也不大于0.33 hm²;林地未承包到户,丘陵地形将各类林地的连片面积限制在1.00~2.00 hm²之间.因此,可按利用方式设置该样区的采样密度,即每公顷农田(水田和旱地)采集5个土样、果园为3个、林地为0.5~1个.在利用随机函数抽取编号确定采样单元时,由于航片上果园和林地的边界不明显,需事先在航片上划分网格并相应编号.根据上述采样密度,每个网格反映的实地面积以100 m×100 m为好,而后再将各网格平分为9分,即产生9个可随机抽取的编号.最后在选定的采样单元内,按S形线路随机采集15~20点的表层(0~20 cm)土壤,混合成一个土样.对此样区的植物进行调查采样时,不同植物群落的样方面积分别为:人工林地20 m×20 m、果园10 m×10 m、水田1 m×1 m、旱地2 m×2 m,其中,林地和果园的样方数为10个,水田和旱地的样方数为15个.2003年9~10月,此样区内共采集土样536个、植物样52个.在采集样品过程中,同时调查采样单元的野外实地状况,并尽可能在采样单元的中心部位用GPS(精度<5 m)标定其地理坐标.采样期间,专业人员对样区内252家农户的家庭状况、种植结构、经营规模以及肥料投入等情况进行了访谈式调查.在采样结束后,所有专业人员集中核查了实地调查和农户调查资料.

任何一项采样调查之前,都要根据研究目的来设计方案,以确立满足一定精度要求的采样方式和

样品数量^[10,17]. 本文强调在采样调查前,须以样区大比例尺地形图及其航片为辅助资料来确定样区边界、采样密度及采样方式等.利用随机函数确定采样单元进行“随机”多点采样的方法,避免了确定采样单元时的主观性,保证了样品在样区内的随机分布,提高了样品的代表性.同时,本方法还容许采样人员根据实地情况有一定比例的额外采样,从而减小了各采样单元呈群团状分布的可能.对区域土壤养分循环的传统研究,多集中在区域内定位试验的某几个土壤-植物系统,而大尺度的实地研究还比较少.本文提出的样区实地采样及调查方法,克服了传统定位试验研究上的不足,具有准确性高、信息量大、成果周期短等优点.但由于本方法只涉及区域内某一时期的采样与调查,土壤养分循环在时间上的信息量仍十分有限,如能定期对样区内土壤、植物、动物及人类活动进行动态的采样、调查和研究,将能更系统地监测区域土壤养分循环的时空变化,更全面地揭示驱动区域生态系统土壤养分循环的因子.

5 结 语

正确合理的采样调查方法是开展区域尺度上土壤养分循环研究的前提.本方法是在满足区域生态系统中土壤养分循环研究所要求的代表性、重现性、随机性及时间性等原则基础上,重点考虑了土壤和植物两大部分的采样调查.它主要包括4个步骤:1)制定采样方案.即借助航片和地形图等资料,确定区域内样区的类型、数量和面积,及采样密度和采样方法;2)样品的采集及实地调查.即按既定的方案采集土壤和植物样品,并对采样单元的地理位置、土壤植被类型、土地利用方式、农田投入产出以及植被生物量等情况进行现场调查或估算;3)农户调查.即对样区所有农户的生产管理和经营状况进行社会调查;4)数据核查与验证.即对上述采样单元的实地调查和农户调查所获得的数据进行核查.总之,本方法仅仅是一个探索,所选取的指标体系及相应理论可能还欠完善,尤其是工作量大,需要投入充足的人力、物力和财力,希望引起同行的兴趣,共同探讨,以期在实践中不断修改完善.

参考文献

- 1 Ben-Dor E. 2000. Quantitative remote sensing of soil properties. *Adv Agron*, 75:173~243
- 2 Chen L-Z (陈灵芝). 1986. Study on the biomass of forest in the mountain area in Beijing. *Acta Phytocool Geobot Sin* (植物生态学与地植物学学报), 10(1):25~30(in Chinese)
- 3 Department of Science and Technology of Chinese Forestry Ministry(林业部科技司). 1994. Methodology for Long Term and Located Research of Forest Ecosystem. Beijing: China Science and

Technology Press. (in Chinese)

- 4 Dong M(董 鸣). 1996. Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities. Beijing: China Standard Press. (in Chinese)
- 5 Fang S-Z(方升佐), Xu X-Z(徐锡增), Tang L-Z(唐罗忠). 1995. Studies on the crown structure and biomass production of *Metasequoia glyptostroboides* plantations. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 6(3):225~230(in Chinese)
- 6 Guo X-D(郭旭东), Fu B-J(傅伯杰), Ma K-M(马克明), et al. 2000. Spatial variability of soil nutrients based on geostatistics combined with GIS-A case study in Zunghua City of Hebei Province. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(4):557~563(in Chinese)
- 7 He ZL, Wu J, O'Donnell AG, et al. 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture. *Biol Fert Soils*, 24:421~428
- 8 Huang M(黄 敏), Xiao H-A(肖和艾), Huang Q-Y(黄巧云), et al. 2004. Effects of amendment of organic materials on transformation of P in red-earth soil under flood-drought cultivation. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 41(4):584~589(in Chinese)
- 9 Huang S-W(黄绍文), Jin J-Y(金继运), Yang L-P(杨俐苹), et al. 2003. Spatial variability and regionalized management of soil nutrients in the grain crop region in Yutian County. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 40(1):79~88(in Chinese)
- 10 Jiang C(姜 斌), Yang L-P(杨俐苹), Jin J-Y(金继运), et al. 2001. Soil variability and rational sampling quality. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 7(3):262~270(in Chinese)
- 11 Li F, Chaplin J. 1998. Evaluation of large area field sampling methods for crop residue coverage measurement. *Trans ASAE*, 41(3):645~651
- 12 Li S-Y(李淑仪), Liao X-R(廖新荣), Peng S-L(彭少麟), et al. 2000. Mineral element by seasonal change at outcome tree on *Cirtus grandis* var. *shatinyu* Hout. in Meizhou. *Ecol Sci* (生态科学), 19(1):19~22(in Chinese)
- 13 Li Z-P(李忠佩), Tang Y-L(唐永良), Shi H(石 华), et al. 1998. Nutrient cycling and balance of paddy fields in different fertilization systems in red soil region of subtropical China. *Chin Sci Agric Sin* (中国农业科学), 31(1):46~54(in Chinese)
- 14 Liu J-L(刘建玲), Zhang F-S(张福锁). 2000. Dynamics of soil P pool in a long-term fertilizing experiment of wheat-maize rotation I. Crop yield effect of fertilizer P and dynamics of soil total P and inorganic P. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(3):360~364(in Chinese)
- 15 Migue R, Brown VK, Pandey CB, et al. 1995. The vertical distribution of below ground biomass in grassland communities in relation to grazing regime and habitat characteristics. *J Veget Sci*, 6:63~72
- 16 Ouyang J-L(欧阳进良), Song C-M(宋春梅), Yu Z-R(宇振荣), et al. 2004. The farm household's choice of land use type and its effectiveness on quality and environment in Huang-Huai-Hai Plain. *J Nat Res* (自然资源学报), 19(1):1~11(in Chinese)
- 17 Veni G. 1999. A geomorphological strategy for conducting environmental impact assessments in karst areas. *Geomorphology*, 31:151~180
- 18 Walbridge MR, Richardson CJ, Swank WT. 1991. Vertical distribution of biological and geochemical P subcycles in two southern Appalachian forest soils. *Biogeochemistry*, 13:61~85
- 19 Wang J(王 军), Fu B-J(傅伯杰), Qiu Y(邱 扬), et al. 2002. Spatial heterogeneity of soil nutrients in a small catchment of Loess Plateau. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 22(8):1173~1178(in Chinese)
- 20 Xiang W-H(项文化), Tian D-L(田大伦), Yun W-D(闫文德), et al. 2003. Biomass dynamics and nutrient accumulation of natural restoration at early stage after fallow in clear-cutting forestland of Chinese fir plantation. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 23(4):695~702(in Chinese)
- 21 Yu W-T(宇万太), Yu Y-Q(于永强). 2001. Advances in the research of underground biomass. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(1):927~932(in Chinese)
- 22 Yu Y-Q(于永强), Yu W-T(宇万太), Zhang L(张 璐). 2002. Seasonal fluctuation of plant biomass in land remained bare in Hailun experimental station. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(6):685~688(in Chinese)
- 23 Zhang X-L(张秀林), Xu X-M(徐小明). 1996. Farm household behavior in production under different policy environment. *J Agrotech Econ* (农业技术经济), (4):27~32(in Chinese)
- 24 Zhao C-Y(赵成义), Song Y-D(宋郁东), Wang Y-C(王玉潮), et al. 2004. Estimation of aboveground biomass of desert plants. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(1):49~52(in Chinese)
- 25 Zhao S-D(赵士洞), Luo T-X(罗天祥). 1998. Approaches to the regional scale bio-productivity of the terrestrial ecosystems. *Res Sci* (资源科学), 20(1):23~34(in Chinese)

作者简介 黄 敏,女,1973年生,博士.主要从事土壤环境与区域生态方面的研究,发表论文多篇. E-mail: hmin2002@eyou.com

责任编辑 肖 红