

紫色丘陵区小流域不同土地利用方式土壤氮磷储量特征

李义玲¹, 李太魁², 顾令爽¹, 杨小林^{1,3*}

(1. 河南理工大学, 河南焦作 454000; 2. 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南郑州 450002; 3. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041)

摘要 [目的]了解紫色丘陵区小流域不同土地利用方式下土壤氮磷特征。[方法]采集典型小流域林地、旱地、水旱轮作田的分层土壤样品,研究不同土地利用方式下土壤氮磷含量及储量变化,探讨土地利用方式对紫色丘陵区小流域土壤氮磷库的影响。[结果]3种土地利用方式下,土壤全氮、硝态氮、全磷含量存在显著差异,相同土层土壤全氮含量表现为水旱轮作田>林地>旱地,旱地和水旱轮作田的硝态氮、全磷含量显著高于林地。土壤全氮、硝态氮、全磷含量均随土壤深度增加而下降,表现出明显的表聚性。土壤全氮储量表现为水旱轮作田(684 t/hm²)>旱地(448 t/hm²)>林地(372 t/hm²);土壤全磷储量与土壤全氮储量变化规律相似,水旱轮作田土壤全磷储量(389 t/kg)最高,其次是旱地(373 t/hm²)和林地(153 t/hm²);林地与旱地、水旱轮作田土壤硝态氮储量具有显著差异,且表现为旱地(104.68 kg/hm²)>水旱轮作田(79.70 kg/hm²)>林地(14.81 kg/hm²)。[结论]紫色丘陵区林地土壤养分固持潜力较大,而耕地土壤氮磷等养分流失风险较高。

关键词 紫色丘陵区;土地利用方式;土壤全氮储量;土壤全磷储量;垂直分布**中图分类号** S153.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)31-0133-05**Characteristics of Soil Nitrogen and Phosphorus Reserves of Different Land Use Modes of Small Watershed in Purple Hilly Area**LI Yi-ling¹, LI Tai-kui², GU Ling-shuang¹ et al (1. Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000; 2. Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract [Objective] To clarify the characteristic of soil nitrogen and phosphorus of different land use modes in the purple soil area of central Sichuan Basin. [Method] Soil samples were collected on soil profile for forest land, upland field and paddy field from 27 sampling sites within a small watershed, and the variation of soil nitrogen and phosphorus contents and reserves of different land use modes was researched, and the effect of the land use modes on the soil nitrogen and phosphorus pools in the watershed of Central Sichuan Basin was identified. [Result] The contents of soil total nitrogen (STN), nitrate nitrogen (NO₃⁻-N) and soil total phosphorus (STP) were significant influenced by land use modes, and the contents of STN in the same soil layer under different land use modes were as the following orders: paddy field>forest land>upland field; and the contents of soil NO₃⁻-N and STP in paddy field and upland field were significantly higher than that in forest land. The contents of STN, NO₃⁻-N, and STP under different land use modes decreased with the increase of soil depth and showed obvious characteristic of surface accumulation. The stocks of STN under different land use modes were as the following orders: paddy field (684 t/hm²)>upland field (448 t/hm²)>forest land (372 t/hm²); the STP stocks had the same trend as STN stocks, and the STP stocks was highest in paddy field (389 t/kg), followed by upland field (373 t/hm²) and forest land (153 t/hm²); the soil NO₃⁻-N stocks in forest land were significant different with the stocks in paddy field and upland field, and the NO₃⁻-N stocks were as the following order: upland field (101.68 kg/hm²)>paddy field (79.70 kg/hm²)>forest land (14.8 kg/hm²). [Conclusion] The potential of soil nutrient sequestration was significant in forest land, especially for STN, and the risk of nutrient loss from upland field and paddy field was very high in the purple soil area of central Sichuan Basin.

Key words Purple soil hilly area; Land use modes; Soil total nitrogen stock; Soil total phosphorus stock; Vertical distribution

作为控制植物生长发育的必需养分元素,土壤氮磷在农业可持续发展 and 环境方面具有重要作用。土壤氮磷等养分储量体现了土壤生产力的高低和土壤质量的好坏^[1],然而,“过剩”的土壤氮磷是水质恶化的重要来源。掌握不同土地利用方式下土壤氮磷等养分元素状况是农业可持续发展的基础,也是流域水环境管理的关键。目前关于土壤养分储量的研究主要集中在土壤碳储量方面,而对土壤氮储量,特别是土壤磷储量的研究相对较少^[2]。

土壤氮磷储量特征受氮磷含量的深刻影响,而土壤氮磷含量分布受气候、成土母质、土地利用类型等因素的影响^[3-4]。其中,土地利用方式不同,土壤有机物输入^[5]、冠层结构^[6]、土壤物理、化学性质^[7-8]、人为影响^[9]显著不同,对土壤碳氮磷等养分含量分布影响最为显著。如农田土壤因受人为扰动大,土壤全氮不断以无机氮形式释放,降低土壤氮

含量,故林地、灌丛、草地等土壤全氮含量多高于农田土壤^[10-12]。由于人为施肥的影响,耕地土壤全磷含量往往高于林地和草地^[13-14],但生物量差异对土壤总磷影响也十分显著,研究表明,永久性草地的土壤全磷含量高于农田土壤^[15]。因此,深入揭示区域不同土地利用方式对土壤氮磷养分含量及储量的影响,不仅可评价流域土壤生产状况,也为流域土地资源优化管理、土壤氮磷的养分价值发挥以及减少面源污染提供理论依据。

目前,对于土壤养分特征的研究,主要集中于林地、草地、灌丛、湿地、耕地等,研究内容集中在表层土壤养分含量的空间变异特征、影响因素、驱动力以及单一土地利用方式下土壤养分储量,特别是林地、旱地和湿地生态系统土壤养分储量^[4-6,12-14],缺少相同区域条件下,流域不同土地利用方式土壤养分储量的对比研究,特别是紫色土区不同土地利用方式土壤氮磷等养分垂直分布及其储量特征的研究更少。作为长江三峡乃至整个长江流域水环境的重要影响区,紫色丘陵区强烈的农业活动以及严重的水土流失导致土壤氮磷流失逐年增加,造成区域内流域水体环境恶化严重,也给长江流域水环境安全造成巨大压力。由于目前缺少紫色丘陵区土壤养分垂直分布及储量特征研究,也难以以为流域土

基金项目 国家科技重大水专项(2012ZX07205-001);教育部人文社科基金项目(16YJJCZH051);河南省软科学研究计划项目(172400410178);河南省教育厅人文社科重点研究项目(2016-ZD-015)。

作者简介 李义玲(1983—),女,河南商丘人,工程师,硕士,从事土壤生态学研究。*通讯作者,副教授,博士,硕士生导师,从事农业面源污染研究。

收稿日期 2018-06-11

地资源、土壤养分资源的优化管理以及流域土壤氮磷流失控制提供依据。因此,笔者以川中丘陵紫色土区典型小流域为研究对象,研究该区域不同土地利用类型下土壤氮磷垂直分布特征与储量水平,以期为流域养分资源管理和氮磷污染控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 选择四川省盐亭县的截流堰小流域为研究对象,该区属于中亚热带季风气候,年均气温 17.3 °C,年均降水量 826 mm。土壤类型以石灰性紫色土和水稻土为主,成土速度快,土层较薄,水土流失严重。小流域海拔 380~680 m,总面积 35 hm²,其中林地占 36.0%,旱地占 42.0%,水旱轮作田占 12.0%,居民点占 3.5%,道路和坑塘等其他占 6.5%(图 1)。林地多为 20 世纪 70 年代种的柏木林(*Cupressus funebri*),灌木主要包括黄荆(*Vitex negundo*)、刺梨(*Rosa roxburghii*)、马桑(*Coriaria sinica*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)等,草本多为豆科(Leguminosae)、禾本科(Gramineae)、莎草科(Cyperaceae)植物。旱地与水旱轮作田于 5—9 月分别种植玉米和水稻,10 月至次年 4 月分别种植小麦和油菜。该区域多数农户于 5 月底和 10 月底对作物进行集中施肥,少数农户在作物种植 30 d 后进行追肥,氮、磷和钾肥年施用量分别为 330 kg/hm² N、180 kg/hm² P₂O₅ 和 72 kg/hm² K₂O。

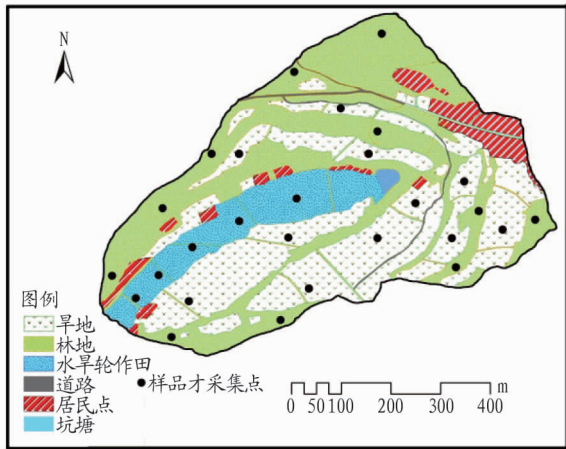


图 1 研究区小流域土地利用与土壤样品采样点分布

Fig. 1 Distribution of land use and sampling points in small watershed of the study area

1.2 样品采集与分析 为减少施肥对研究结果的干扰,故在冬季作物收获季采集土壤样品。根据截流堰小流域土地

利用变化随机调查林地($n=11$)、水旱轮作田($n=5$)、旱地($n=11$)共计 27 个样点,共采集 97 个土壤样品,其中林地 33 个样品、旱地 44 个样品、水旱轮作田 20 个样地(图 1)。由于川中丘陵区紫色土土壤“浅薄化”特征明显,土层厚度主要分布在 20~60 cm^[16],该研究流域中林地和耕地土层深度分别在 30 和 50 cm 左右,因此旱地和水旱轮作田土壤剖面深度确定为 50 cm,林地土壤样品深度确定为 30 cm,按照土壤深度分 3~4 层(0~10、10~20、20~30、30~50 cm)分层取样。采用环刀法测定土壤容重,同时在土壤剖面周边随机选择 3 个采样点,用土钻分层取样,并将每层土样混合后装入自封袋。土壤混合样品带回实验室后分成 2 份:一份捡去残根、石子等杂物,自然风干后过 0.149 mm 筛,用于测定土壤全氮和全磷含量;一份鲜样过 2 mm 筛用于测定土壤硝态氮含量。其中,土壤全氮采用凯氏定氮法测定;土壤全磷采用钼锑抗比色法测定;硝态氮通过流动分析仪 AA3 (BRAN+LUEBBE, Germany)测定。

1.3 数据分析 基于土壤全氮、全磷和硝态氮含量和土壤容重计算每一个样点的土壤氮磷储量。其中,某一土层和一定土层深度的土壤氮磷储量分别采用公式(1)和(2)计算:

$$ST_i = EC_i \times B_i \times D_i \times 10 \quad (1)$$

$$ST_s = \sum_i^m EC_i \times B_i \times D_i \times 10 \quad (2)$$

式中, ST_i 、 ST_s 分别为某一土层和一定土层深度的土壤氮磷储量, m 为土层数, EC_i 为土层 i 中氮磷含量(g/kg), B_i 为土层 i 中土壤容重(g/cm³), D_i 为土层 i 的厚度(m)。

采用 Excel 2010 软件对试验数据进行统计分析。采用 SPSS 13.0 软件进行方差分析和差异显著性检验,分析不同土地利用类型、不同土层深度对土壤氮磷含量与储量的影响,并在差异显著时进行多重比较($P<0.05$, LSD, t 检验)。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤氮磷含量特征 由表 1 可知,不同土地利用方式下各土层深度土壤全氮含量均表现为水旱轮作田>林地>旱地。单因素方差分析结果表明,旱地与水旱轮作田、林地的土壤全氮含量差异显著,但水旱轮作田与林地之间土壤全氮含量差异不显著。旱地和水旱轮作田的土壤硝态氮和土壤全磷含量在各土层中均高于林地,且旱地、水旱轮作田与林地之间硝态氮和全磷含量差异显著,但旱地与水旱轮作田之间差异不显著。可见,氮肥和磷肥的人为施用对土壤硝态氮和全磷含量影响显著。

表 1 不同土地利用方式下各土层土壤氮磷含量

Table 1 Soil nitrogen and phosphorus contents under different land use types

土层 Soil layer//cm	全氮 Total nitrogen//g/kg			硝态氮 Nitrate nitrogen//mg/kg			全磷 Total phosphorus//g/kg		
	林地 Forest	旱地 Dry land	水旱地 Flood and drought land	林地 Forest	旱地 Dry land	水旱地 Flood and drought land	林地 Forest	旱地 Dry land	水旱地 Flood and drought land
0~10	1.23±0.31 b	0.96±0.20 a	1.35±0.11 b	6.10±4.73 a	18.43±7.16 b	13.40±1.85 b	0.44±0.07 a	0.74±0.17 b	0.73±0.07 b
10~20	0.88±0.31 ab	0.79±0.14 a	1.06±0.15 b	3.46±2.70 a	16.12±6.56 b	11.17±0.62 b	0.40±0.05 a	0.67±0.08 b	0.65±0.06 b
20~30	0.84±0.54 b	0.65±0.14 a	0.92±0.19 b	2.56±2.11 a	13.52±5.02 b	10.54±2.14 b	0.37±0.04 a	0.56±0.06 b	0.54±0.04 b
30~50	—	0.47±0.14 a	0.85±0.19 b	—	13.58±5.47 a	10.62±2.06 a	—	0.40±0.08 a	0.47±0.03 a

注:同行不同小写字母表示不同土地利用类型间差异显著($P<0.05$)

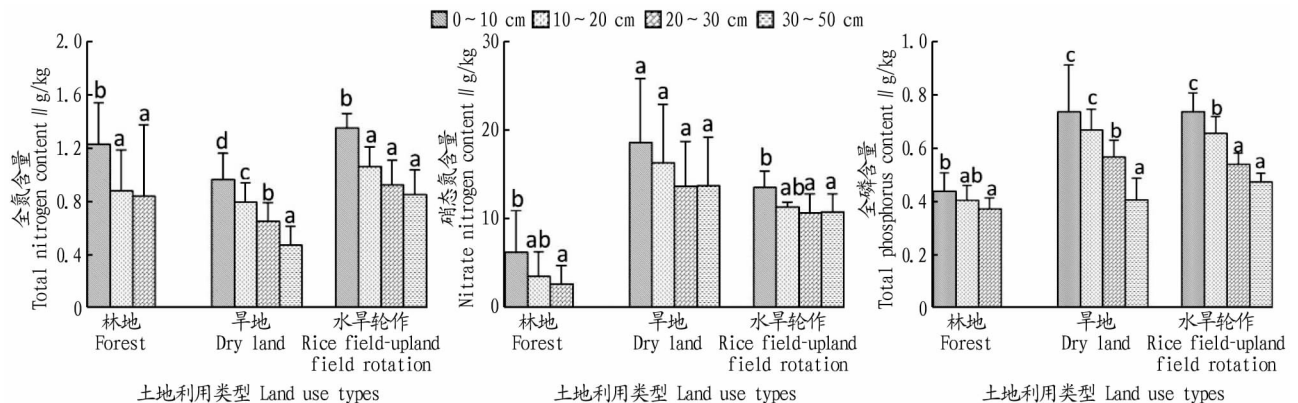
Note: Different lowercases in the same line stand for significant differences between different land use types at 0.05 level

2.2 不同土地利用方式下土壤氮磷含量垂直分布特征 由图2可知,3种土地利用方式下土壤全氮、硝态氮、全磷含量均随土壤深度增加而降低,具有明显的“表聚”效应。林地和水旱轮作田0~10 cm 土层土壤全氮含量与其他土层土壤全氮含量差异显著($P<0.05$),其中,林地0~10 cm 土层土壤全氮含量分别为10~20、20~30 cm 土层土壤全氮含量的1.40和1.50倍;水旱轮作田0~10 cm 土层土壤全氮含量分别是10~20、20~30、30~50 cm 土层土壤全氮含量的1.30、1.50和1.60倍。旱地土壤全氮垂直变异更加显著(图2a),0~10、10~20、20~30、30~50 cm 土层土壤全氮含量分别为0.96、0.79、0.65、0.47 g/kg,0~10 cm 土层土壤全氮含量分别为10~20、20~30、30~50 cm 土层的1.22、1.48和2.04倍。

土壤硝态氮含量随土壤深度的变化趋势与全氮含量分布特征类似(图2b)。其中,林地0~10 cm 土层土壤硝态氮

含量是10~20、20~30 cm 土层土壤硝态氮含量的1.8和2.4倍。水旱轮作田0~10 cm 土层土壤硝态氮含量是10~20、20~30、30~50 cm 土层土壤硝态氮含量的1.20、1.27和1.26倍。而旱地不同土层硝态氮含量分别为18.43、16.12、13.52、13.58 mg/kg,0~10 cm 土层土壤硝态氮含量是10~20、20~30、30~50 cm 土层土壤硝态氮含量的1.14、1.36和1.36倍。

土壤全磷含量也随土壤深度的增加而逐渐减小,表现出明显的表聚性(图2c)。旱地和水旱轮作田0~10 cm 土层土壤全磷含量分别是10~20、20~30、30~50 cm 土层土壤全磷含量的1.10、1.30、1.80倍和1.10、1.40和1.60倍。林地0~10 cm 土层土壤全磷含量分别是10~20、20~30 cm 土层的1.10和1.20倍。可见,林地全磷含量的变异明显小于旱地和水旱轮作田。



注:不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercases stand for significant differences between different soil layers at 0.05 level

图2 不同土地利用方式下不同土层土壤全氮、硝态氮、全磷含量

Fig. 2 The content of soil total nitrogen, nitrate nitrogen and soil total phosphours at various levels of depth under three land use types

2.3 不同土地利用类型下土壤氮磷储量特征 由表2可知,水旱轮作田各层土壤全氮储量均显著高于林地和旱地,0~50 cm 土层土壤全氮储量累积为684 t/hm²,分别是旱地(448 t/hm²)和林地(372 t/hm²)的1.53和1.84倍。从土壤全氮储量的垂直分布看,3种土地利用方式下0~10 cm 土层土壤全氮储量占总储量的26.2%~40.6%,表明表层土壤全氮储量的贡献率最大。

3种土地利用方式下土壤全磷储量变化规律与土壤全氮相似,总体表现为水旱轮作田>旱地>林地,且旱地(373 t/hm²)和水旱轮作田(389 t/kg)的土壤全磷储量分别是林地(153 t/hm²)的2.43和2.54倍。从土壤全磷储量的垂直分布看,3种土地利用方式下0~10 cm 土层土壤全磷储量占总储量的25.0%~35.3%,表明表层土壤全磷储量贡献率较大。

统计分析结果表明,3种土地利用方式下,林地与旱地和水旱轮作田土壤硝态氮储量具有显著差异,且表现为旱地>水旱轮作田>林地。旱地(104.68 kg/hm²)和水旱轮作田(79.70 kg/hm²)的土壤硝态氮储量分别是林地(14.81 kg/hm²)的7.07和5.38倍。从土壤硝态氮储量的垂直分布看,林地、旱地和水旱轮作田0~10 cm 土层土壤硝态

氮储量分别占总储量的49.4%、22.9%、22.2%,表明林地表层土壤硝态氮储量的贡献率较高,但旱地和水旱轮作田表层土壤硝态氮储量的贡献率相对较低,这可能与耕地、林地硝态氮主要来源差异以及人类耕作影响有关。

3 讨论

影响土壤氮磷等养分分布的因素包括气候状况、母质条件、土壤类型、土地利用方式、作物施肥等^[17]。然而,对母质条件和气候状况较一致的区域,土地利用方式是影响土壤氮磷等养分元素输入和输出的关键因素,并深刻影响土壤中氮磷储量分布和有效性^[18]。紫色土丘陵区地形复杂,坡耕地多整改为台地,台地过渡带之间多为陡坡林地,流域低洼处多为水旱轮作田,形成了旱地、林地、水旱田相互交错的特点,居民点又分散其中,地块单元十分分散,复杂的下垫面结构势必导致土壤氮磷含量和储量存在显著的空间异质性。该研究发现,紫色土丘陵区典型流域3种土地利用类型的土壤氮磷含量及储量具有明显差异,但各土地利用方式下土壤全氮、全磷和硝态氮的含量均随土壤深度增加而减少,表现出明显的表聚性^[19-21],这可能与表层枯落物存量较高以及耕作层较浅有关^[22]。

表2 不同土地利用方式下土壤氮磷储量

Table 2 Soil nitrogen and phosphorus reserves under different land use types

土层 Soil layer cm	全氮 Total nitrogen//t/hm ²			全磷 Total phosphorus//t/hm ²			硝态氮 Nitrate nitrogen/kg/hm ²		
	林地 Forest	旱地 Dry land	水旱轮作 Rice field-upland field rotation	林地 Forest	旱地 Dry land	水旱轮作 Rice field-upland field rotation	林地 Forest	旱地 Dry land	水旱轮作 Rice field-upland field rotation
0~10	151 b	124 a	179 b	54 a	95 b	97 b	7.32 a	23.98 b	17.73 b
10~20	111 ab	104 a	141 b	51 a	88 b	87 b	4.28 a	21.21 b	14.83 b
20~30	110 a	88 a	125 a	48 a	77 b	73 b	3.21 a	18.39 b	14.27 b
30~50	—	132 a	239 a	—	113 a	132 a	—	41.10 a	32.87 a
0~50	372 a	448 a	684 b	153 a	373 b	389 b	14.81 a	104.68 b	79.70 b

注:同行不同小写字母表示不同土地利用类型间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercases in the same line stand for significant differences between different land use types at 0.05 level

研究表明,林地枯枝落叶的存量对土壤有机碳影响很大,也引起土壤全氮含量增加,农田地表覆盖物少,且受人为扰动大,土壤中有机碳氮转化为 CO_2 和无机氮的程度较高,从而导致农田全氮含量往往较低。Wang等^[22]和Gelaw等^[23]分别对我国北部和埃塞俄比亚北部山区的土壤碳氮储量进行研究,结果发现耕地转化为草地、次生灌丛和林地均可显著提高土壤碳氮含量和储量。但该研究发现,紫色土丘陵区3种土地利用方式中,相同土层深度土壤全氮含量表现为水旱轮作田>林地>旱地的特点。水旱轮作田全氮含量较高可能是由于该区域水田作物留茬量较大,秸秆还田比例较高,且土壤水分高、甚至是淹水条件降低了土壤有机物的分解和矿化^[24]。旱地秸秆的收割与焚烧降低了土壤有机质输入,且人为耕作改变了土壤通透性和孔隙度,促进了表层土壤有机物的分解和矿化为无机氮,加速氮素的流失^[13],并导致旱地土壤全氮含量较低。由于该区域林地人为干扰较小,长期的凋落物累积和植物根系更新等因素虽促进了表层土壤氮素累积,但研究区人工林多为常绿柏木林、且林龄较短,也限制了土壤有机物的输入总量。故研究区土壤全氮含量呈水旱轮作田>林地>旱地的趋势。

研究表明,人为施肥、耕作方式、耕作制度等随机性因素是中小尺度土壤磷素空间变异的主因,而土壤类型、土壤质地、矿化过程、成土过程等结构性因素影响程度较小^[25]。该研究发现,旱地和水旱轮作田土壤全磷含量和储量远高于林地,说明人为施肥、耕作管理等随机性因素是导致旱地和水旱轮作田全磷含量和储量较高的主因,而林地人为干扰较小,土壤全磷含量与储量受结构性因素影响为主,导致土壤全磷含量较低。

生态系统中土壤硝态氮的水平取决于有机物矿化、大气沉降和作物施肥等输入量和微生物固定、植物吸收和淋溶损失等输出量之间的差额^[26]。但人为施肥是农田土壤硝态氮水平的决定性因素^[27]。Zhu等^[28]对川中丘陵区坡耕地硝态氮流失特征研究发现,由于人为施肥的影响,紫色土区旱地土壤硝态氮年流失通量达 34.3 kg/hm^2 。该研究也发现耕地土壤硝态氮含量显著高于林地,可见紫色土区强烈的人类活动显著增加了耕地土壤硝态氮流失的风险。

由于土壤氮磷含量、土壤容重和土层深度差异^[19,29],区域尺度土壤氮磷储量差异较大。研究表明,我国北方灌丛1 m深土壤全氮、全磷储量分别为 $710、420\text{ t/hm}^2$ ^[4];豫西黄

土丘陵区不同树龄的栎类、侧柏林表层土壤(0~20 cm)全氮储量为 $159\sim 234\text{ t/hm}^2$ ^[19];广西南亚热带林地土壤氮储量为 $1\ 059\sim 1\ 791\text{ t/hm}^2$ ^[30];若尔盖高原湿地1 m深土壤全氮、全磷储量分别为 $1\ 500\sim 3\ 400、240\sim 490\text{ t/hm}^2$ ^[9];长江流域耕地表层土壤全氮储量(0~20 cm)为 $538\sim 882\text{ t/hm}^2$ ^[31],土壤全磷储量(0~30 cm)为 $230\sim 480\text{ t/hm}^2$ ^[32]。可见,川中紫色土丘陵区林地与耕地土壤全氮储量($372\sim 684\text{ t/hm}^2$)总体水平较低,这可能与紫色土区林地类型、林龄以及耕地耕作管理方式有关。也说明应加强紫色土区林地植被的保护和恢复重建,促进不同类型植被群落演替更新,并通过增加耕地秸秆还田量以及保护性耕作等措施,提高紫色土区土壤有机碳氮含量,促进土壤生产力的自我恢复,降低作物施肥量,从而降低氮流失风险。相反,耕地土壤磷($373\sim 389\text{ t/hm}^2$)和硝态氮储量($79.70\sim 104.68\text{ kg/hm}^2$)水平却相对较高,这与紫色土区强烈的作物施肥活动有关,“过剩”的土壤磷和硝态氮势必随着耕地水土流失进入水体,增加紫色土丘陵区区域内地表水水质恶化和富营养化的风险。

4 结论

该研究以紫色土丘陵区典型小流域为研究对象,研究不同土地利用方式下土壤氮磷含量及储量特征,结果表明,紫色土丘陵区土地利用方式对土壤氮磷含量及储量影响显著,土壤全氮、全磷和硝态氮的含量均随土壤深度增加而减少,表现出明显的表聚性。川中丘陵紫色土区林地与耕地土壤全氮储量($372\sim 684\text{ t/hm}^2$)总体水平较低,应重视紫色土丘陵区的植被保护与恢复重建,优化耕作措施,增加土壤碳氮含量和储量,提高土壤生产力的自我恢复能力。紫色土区强烈的作物施肥活动导致耕地土壤磷($373\sim 389\text{ t/hm}^2$)和硝态氮储量($79.70\sim 104.68\text{ kg/hm}^2$)水平较高,增加了区域内地表水水质恶化和富营养化的风险。

参考文献

- [1] AL-KAISI M M, YIN X, LICHT M A. Soil carbon and nitrogen changes as influenced by tillage and cropping systems in some Iowa soil[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2005, 105(4): 635-647.
- [2] 张泽宇, 李占斌, 李鹏, 等. 汉江小流域土壤氮素空间分布特征及影响因素[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 46-52, 58.
- [3] ELLERT B H, GREGORICH E G. Storage of carbon, nitrogen and phosphorus in cultivated and adjacent forested soils of Ontario[J]. Soil science, 1996, 161(9): 587-603.
- [4] 郭焱培, 杨弦, 安尼瓦尔·买买提, 等. 中国北方温带灌丛生态系统碳、氮、磷储量[J]. 植物生态学报, 2017, 41(1): 14-21.
- [5] YU D P, WANG X Y, YIN Y, et al. Estimates of forest biomass carbon stor-

- age in Liaoning province of northeast China: A review and assessment[J]. PLoS One, 2014, 9(2): 1-12.
- [6] FINZI A C, VAN BREEMEN N, CANHAM C D. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: Species effects on soil carbon and nitrogen [J]. Ecological applications, 1998, 8(2): 440-446.
- [7] SIX J, PAUSTIAN K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool [J]. Soil biology and biochemistry, 2014, 68: A4-A9.
- [8] SAKIN E. Organic carbon organic matter and bulk density relationships in arid-semi arid soils in Southeast Anatolia region [J]. African journal of biotechnology, 2014, 11: 1373-1377.
- [9] GELAW A M, SINGH B R, LAL R. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, North Ethiopia [J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2014, 188 (15): 256-263.
- [10] 董云中, 王永亮, 张建杰, 等. 晋西北黄土高原丘陵区不同土地利用方式下土壤碳氮储量 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 955-960.
- [11] SCHROTH G, D'ANGELO S A, TEIXEIRA W G, et al. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: Consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years [J]. Forest ecology and management, 2002, 163(1/2/3): 131-150.
- [12] 曹静娟, 尚占环, 郭瑞英, 等. 开垦和弃耕对黑河上游亚高山草甸土壤氮库的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(4): 171-175.
- [13] 陈志超, 杨小林, 刘昌华. 万安流域不同土地利用类型土壤全磷时空分异特征 [J]. 土壤通报, 2014, 45(4): 857-862.
- [14] 孔庆波, 白由路, 杨俐苹, 等. 黄淮海平原农田土壤磷素空间分布特征及影响因素研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2009(5): 10-14.
- [15] 朱海强, 李艳红, 张小萌. 艾比湖湿地不同植物群落下土壤全磷空间变异 [J]. 水土保持研究, 2017, 24(5): 45-50.
- [16] 朱波, 祝福虹, 高美荣, 等. 土层厚度对紫色土坡地生产力的影响 [J]. 山地学报, 2009, 27(6): 735-739.
- [17] BANGROO S A, NAJAR G R, RASOOL A. Effect of altitude and aspect on soil organic carbon and nitrogen stocks in the Himalayan Mawer Forest Range [J]. CATENA, 2017, 158: 63-68.
- [18] PAN K W, XU Z H, BLUMFIELD T, et al. In situ mineral ^{15}N dynamics and fate of added $^{15}\text{NH}_4^+$ in hoop pine plantation and adjacent native forest in subtropical Australia [J]. Journal of soil and sediments, 2008, 8(6): 398-405.
- [19] 王艳芳, 刘领, 李志超, 等. 豫西黄土丘陵区不同林龄栎类和侧柏人工林碳、氮储量 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(1): 25-32.
- [20] LI D F, SHAO M A. Soil organic carbon and influencing factors in different landscapes in an arid region of northwestern China [J]. CATENA, 2014, 116: 95-104.
- [21] 王隼, 耿增超, 余雕, 等. 秦岭典型林分土壤活性有机碳及碳储量垂直分布特征 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1569-1577.
- [22] WANG T, KANG F F, CHENG X Q, et al. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China [J]. Soil & tillage research, 2016, 163: 176-184.
- [23] GELAW A M, SINGH B R, LAL R. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia [J]. Agriculture, ecosystems and environment, 2014, 188: 256-263.
- [24] 庞凤, 李廷轩, 王永东, 等. 县域农田土壤氮素空间分布特征及其影响因素 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1497-1503.
- [25] 杨小林, 李义玲, 朱波, 等. 紫色土小流域不同土地利用类型的土壤氮素时空分异特征 [J]. 环境科学学报, 2013, 33(10): 2807-2813.
- [26] MO J M, YU M D, KONG G H. The dynamics of soil NH_4^+-N and $\text{NO}_3^- -\text{N}$ in a pine forest of Dinshushan, as assessed by ion exchange resin bag method [J]. Journal of plant ecology, 1997, 21(4): 335-341.
- [27] 黄容, 潘开文, 王进闯, 等. 岷江上游半干旱河谷区 3 种林型土壤氮素的比较 [J]. 生态学报, 2010, 30(5): 1210-1216.
- [28] ZHU B, WANG T, KUANG F H, et al. Measurements of nitrate leaching from a hillslope cropland in the Central Sichuan Basin, China [J]. Soil science society of America journal, 2009, 73(4): 1419-1426.
- [29] 肖春艳, 贺玉晓, 赵同谦, 等. 退耕湿地典型植被群落土壤氮分布及储量特征 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 138-142, 147.
- [30] 王卫霞, 史作民, 罗达, 等. 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 [J]. 生态学报, 2013, 33(3): 925-933.
- [31] 李双来, 胡诚, 乔艳, 等. 水稻小麦种植模式下长期定位施肥土壤氮的垂直变化及氮储量 [J]. 生态环境学报, 2010, 26(6): 1334-1337.
- [32] 武俊喜, 程序, 焦加国, 等. 1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中耕地类型及其土壤氮磷储量的变化 [J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6309-6322.

名词解释

扩展总被引频次: 指该期刊自创刊以来所登载的全部论文在统计当年被引用的总次数。这是一个非常客观实际的评价指标, 可以显示该期刊被使用和受重视的程度, 以及在科学交流中的作用和地位。

扩展影响因子: 这是一个国际上通行的期刊评价指标, 是 E·加菲尔于 1972 年提出的。由于它是一个相对统计量, 所以可公平地评价和处理各类期刊。通常, 期刊影响因子越大, 它的学术影响力和作用也越大。具体算法为:

$$\text{扩展影响因子} = \frac{\text{该刊前 2 年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该刊前 2 年发表论文总数}}$$

扩展即年指标: 这是一个表征期刊即时反应速率的指标, 主要描述期刊当年发表的论文在当年被引用的情况。具体算法为:

$$\text{扩展即年指标} = \frac{\text{该期刊当年发表论文在统计当年被引用的总次数}}{\text{该期刊当年发表论文总数}}$$

扩展他引率: 指该期刊全部被引次数中, 被其他刊引用次数所占的比例。具体算法为:

$$\text{扩展他引率} = \frac{\text{被其他刊引用的次数}}{\text{期刊被引用的总次数}}$$

扩展引用刊数: 引用被评价期刊的期刊数, 反映被评价期刊被使用的范围。

扩展学科扩散指标: 指在统计源期刊范围内, 引用该刊的期刊数量与其所在学科全部期刊数量之比。

$$\text{扩展学科扩散指标} = \frac{\text{引用刊数}}{\text{所在学科期刊数}}$$

扩展学科扩散指标: 指期刊所在学科内, 引用该刊的期刊数占全部期刊数量的比例。

$$\text{扩展学科扩散指标} = \frac{\text{所在学科内引用被评价期刊的数量}}{\text{所在学科期刊数}}$$