

不同土地利用方式及开垦时间对岩溶山区土壤养分空间分布的影响*

周传艳¹ 陈训^{2*} 周国逸³ 闫俊华³

(¹贵州省喀斯特资源环境与发展研究中心 贵阳 550001)

(²贵州科学院 贵阳 550001)

(³中国科学院华南植物园 广州 510650)

摘要 采集贵州普定典型岩溶山区7种土地利用方式和3个不同开垦时间(27 a、39 a、48 a)的0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm土壤样品,进行室内理化分析.结果显示,林地土壤有机质、全氮、碱解氮累积量较多,玉米黄豆地含量最少.林地土壤0~10 cm层有机质、全氮、碱解氮分别比玉米黄豆地高271.0%、317.7%、246.1%.林地和撂荒地对土壤养分循环较为有利.林地开垦为农业用地后,土壤有机质、全氮、碱解氮含量明显下降,全磷、有效磷、全钾含量没有明显变化,有效钾含量增多.开垦39 a的0~10 cm层土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、有效钾含量高于开垦27 a和48 a土壤的含量,碱解氮低于开垦27 a和48 a土壤的含量;开垦27 a的土壤全钾含量高于开垦39 a和48 a土壤的含量.开垦时间长或短对土壤养分含量的影响未表现特殊规律性,可能受到其他因素的影响.图2 参20

关键词 岩溶山区;土地利用;开垦时间;土壤养分

CLC S153 (273)

Effects of Different Land Uses and Cultivation Periods on Spatial Distribution of Soil Nutrients in Karst Mountainous Region*

ZHOU Chuanyan¹, CHEN Xun^{2*}, ZHOU Guoyi³ & YAN Junhua³

(¹Research Center of Karst Resources Environment and Development, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

(²Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

(³South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract Puding County in Guizhou, China is a typical karst mountainous region, where the 0~10 cm, 10~20 cm, 20~40 cm soil samples were collected from an area with 7 types of land uses and 3 cultivation periods (27 a, 39 a, 48 a). The contents of soil nutrients including organic matter (OM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total potassium (TK), available nitrogen (AN), available phosphorus (AP) and available potassium (AK) were determined and analyzed. The result showed that the contents of OM, TN and AN in forest land were higher than those of other land uses. OM, TN and AN in maize-soybean fields were lowest. OM, TN and AN in 0~10 cm soil of forest land were 271.0%, 317.7% and 246.1% higher than those in maize-soybean fields, respectively. Forest land and uncultivated land had advantage in soil nutrient cycling. OM, TN and AN decreased with the process of forest land becoming cultivated land, TP, AP and TK were not found with this trend, but AK increased in this process. However, in this study different cultivation periods (27 a, 39 a, 48 a) had no significant effect on soil nutrients, which indicate that other influencing factors might exist. Fig 2, Ref 20

Keywords karst mountainous region; land use; cultivation time; soil nutrient

CLC S153 (273)

土地利用变化会引起陆地生态系统类型转变^[1,2],是全球变化的重要组成部分,直接影响着人类的身体健康、生物多样性、水土质量以及地表径流和沉降速率等环境问题和自然过程.有关研究表明,在自然植被向农田转变过程中,砍伐和耕作技术通常会导致土壤有机质显著下降^[3-5],并且伴随

着土壤养分流失和土壤质量退化.碳酸盐岩是全球最大的碳库^[6],在中国西南部广泛分布,由于特殊的地质背景和湿润的气候,形成了其特有的地貌形态——岩溶地貌.

岩溶地区因其极端脆弱和独特的发育过程而备受国际重视,存在的突出问题有贫困、水土流失及“固化”CO₂等.石漠化(Karst rocky desertification)是指在亚热带脆弱的岩溶环境背景下,受人类不合理社会经济活动干扰破坏,土壤严重侵蚀,基岩大面积出露,土地生产力严重下降,地表出现类似荒漠景观的土地退化过程^[7].贵州省碳酸盐岩广泛分布,岩溶发育强烈,境内出露的碳酸盐岩面积达1.25×10⁵ km², 占全省土地总面积的71.3%.据调查^[8],贵州省石漠化土地面积已达3.20×10⁴ km², 约占全省土地总面积的18.44%,而且每年仍以3.50%~6.00%的速度递增.全省分布在岩溶地区

收稿日期: 2010-03-31 接受日期: 2010-04-21

*国家“973”计划项目(Nos. 2006CB403208, 2006CB403204)、贵州省社会发展攻关项目(No. [2007]1023)、贵州省高层次人才特助经费项目(No. TZJF200756)和贵州省省长基金项目(No. [2009]56)资助 Supported by the National “973” Program of China (Nos. 2006CB403208, 2006CB403204), the Social Development Research Project of Guizhou, China (No. [2007]1023), the High-level Talents Project of Guizhou, China (No. TZJF200756), and the Research Fund of Guizhou Governor (No. [2009]56)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: chenxunke1956@163.com)

的县(市)有73个,其中有32个县(市)土地石漠化面积大于全省平均水平,有14个县(市)土地石漠化面积大于30%,有8个县(市)石漠化状况非常严重,土地石漠化面积大于40%。近年来随着岩溶地区人口迅速增加,社会经济不断发展,土地利用变化对岩溶山区的土壤性质乃至全球的碳循环必将产生重要影响。土壤性质的空间异质性普遍存在^[9],在不同尺度影响土壤性质的主要因素不同,一般认为在区域尺度上气候和土壤母质是影响空间异质性的主要因素^[10]。而在小流域尺度,土地利用变化对土壤理化性质产生显著影响^[10-12]。以往对岩溶地区的研究也表明土壤的理化性质随着土地利用方式的改变而变化^[13-15]。但是目前尚缺乏由于特殊时期政策原因引起的农业用地不同的开垦时间所导致的土壤性质变化研究。本文以贵州省中部普定县典型岩溶峰丛洼地为例,探讨不同土地利用方式和不同开垦时间对土壤养分空间分布的影响,以期对岩溶山区生态系统的恢复重建、农业生产以及相关政策制定提供参考。

1 研究地概况

研究地为贵州省普定县(26° 13' 3"~26° 15' 3"N, 105° 41' 27"~105° 43' 28"E),土壤采样地点分别为该县坪上乡戴家偏山、城关镇大坡脚村、城关镇三棵树人村、龙潭乡茶家田村官洞坡。该区域为典型岩溶峰丛洼地景观,属湿润亚热带季风气候,全年温湿多雨,冬温夏暖,雨热同期。年平均气温15.1℃,最冷月(1月)均温5.2℃,最热月(7月)均温23℃,多年平均降雨量为1 107.9 mm。普定县为黔中暴雨中心,暴雨常引发洪灾,洪灾损失占各灾害损失的7.8%,日降雨量大于50 mm的暴雨平均每年5.2次,日降雨量大于100 mm的暴雨平均2年1次,最大日降雨量达164.7 mm。

研究区土壤主要为碳酸盐岩发育的石灰土,土质较粘重,土被分布极不均匀,基岩广泛裸露,植被退化严重。由于自然和人为双重因素的影响,该县土壤侵蚀严重,出现了连片的裸露石山和半裸露石山景象。普定县主要的土地利用方式有7种类型:1—玉米地、2—玉米黄豆地、3—向日葵地、4—林地、5—旱地、6—果树林地、7—撂荒地。其中玉米是该县普遍种植的农作物;林地指保存较好的次生阔叶混交林,多为村寨附近的风水林;果树林地包括已经郁闭成林的桃、李等经济果林;撂荒地是指闲置多年的坡耕地,其上已部分被杂草覆盖。

据资料记载,普定县的森林分别在大炼钢铁时期(1959年左右)、农业学大寨时期(1968年左右)和分田到户阶段(1980年左右)遭到严重砍伐和破坏。其土地利用方式改变距本次土壤采样时间(2007年)分别约48 a、39 a、27 a。取样地点为普定县龙潭乡茶家田村官洞坡,原植被以杉木林为主,平均胸径约25 cm。3个植被破坏阶段自坡脚向坡顶分别开垦为耕地,以种植玉米为主。

2 研究方法

2.1 土样采集与调查

为保证野外采样的科学性和可比性,依据研究目的,调查选择了普定县7种典型土地利用方式的地段,以及典型的政策性原因引起的坡耕地开垦地点进行土壤采样。在每个采

样点随机布设3个2 m×2 m的小样方,每个小样方内沿对角线取样3次,每次按3层(0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm)分别取样,将各采样点每层9个土样混匀带回实验室分析。本研究土壤调查采样点35个,采集并分析土样105份,土样分析由贵州省农科院土壤肥料研究所完成。

2.2 样品分析

土壤样品室内分析指标分别为有机质(OM)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)、有效钾(AK)、交换性钾(EP)。其中有机质采用硫酸-重铬酸钾氧化-容量法测定,全氮采用开氏法测定,全磷采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定,全钾采用氢氧化钠碱熔-火焰光度计法,碱解氮采用扩散吸收法,有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,有效钾采用1 mol/L乙酸铵浸提-火焰光度计法测定,交换性钾采用1 mol/L乙酸铵浸提-火焰光度计法测定。

3 结果与分析

3.1 普定不同土地利用方式的土壤养分变异特征

土壤有机质的最早来源是微生物,但随着生物的进化和成土过程的发展,动、植物残体就成为土壤有机质的基本来源。从图1可知,在7种土地利用方式里面,各层土壤有机质含量最高的均为林地,含量最低的是玉米黄豆地。7种土地利用方式土壤有机质含量都是0~10 cm>10~20 cm>20~40 cm。果树林地土壤有机质含量仅次于林地。4类农业用地和撂荒地土壤有机质含量都低于林地和果树林地。其原因主要是林地和果树林地受人干扰较小,有机质处于不断积累状态;农业用地人为干扰较大,并且在喀斯特石漠化地区土壤侵蚀严重,极不利于有机质的积累。

土壤最初是缺氮的,其氮素的积累,主要有4个方面:动植物残体的积累,有机、无机肥料的使用,土壤微生物的固定,以及随大气降水进入土壤。普定县岩溶山区不同土地利用方式下土壤氮素累积途径由于受有机质累积途径的影响而各不相同:林地和果树林地植被条件较好,氮素累积的来源包括上述4个方面。农业用地由于农作物生长大量消耗氮素,较难累积,氮素在土壤中的主要存在形态为有机态。因此,全氮的含量与土壤有机质的含量有密切的相关性。全氮含量的变化趋势与土壤有机质含量的变化趋势大致保持一致,即林地土壤各层的氮素含量都最高;土壤全氮含量的最低点出现在玉米黄豆地;其余5种土地利用类型土壤全氮含量相差不大。这一变化趋势所产生的原因与土壤有机质变化的原因一致。各层土壤碱解氮的最高点为林地土壤,这与土壤全氮含量有关,0~10 cm、20~40 cm层土壤碱解氮含量最低点为向日葵地,10~20 cm层土壤碱解氮含量最低点为玉米黄豆地。这可能是由于向日葵地和玉米黄豆地多分布在坡度较大地段,降雨通过溶蚀作用带走了大量的土壤碱解氮或使之向下迁移。林地和果树林地因为冠层的郁闭减少了降雨对土壤的冲刷,也减少了碱解氮的溶失。

陆地生态系统中的磷除小部分来自干湿沉降外,大多数来自土壤母质。磷与土壤矿物质紧密结合,其循环主要在土壤、植物和微生物中进行。主要过程为植物吸收土壤有效态磷,动植物残体磷返回土壤再循环;土壤有机磷(生物残体

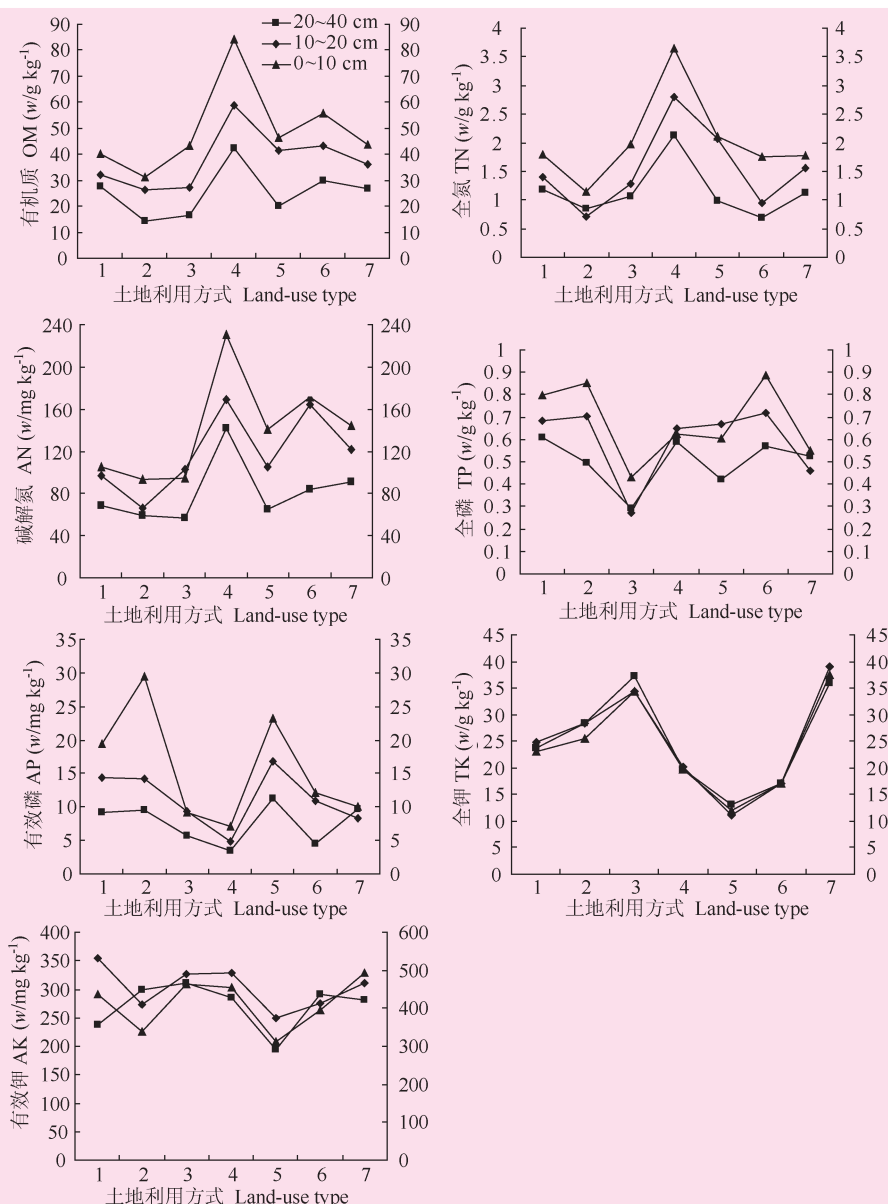


图1 不同土地利用方式对土壤养分含量的影响

Fig. 1 Effect of land-use type on soil nutrients

1: 玉米地; 2: 玉米黄豆地; 3: 向日葵地; 4: 林地; 5: 旱地; 6: 果树林地; 7: 撂荒地

1. Maize field; 2. Maize-soybean field; 3. Sunflower field; 4. Forest land; 5. Dry field; 6. Fruit tree land; 7. Abandoned land

中磷) 矿化; 土壤固结态磷的微生物转化; 土壤粘粒和铁铝氧化物对无机磷的吸附和溶解沉淀. 普定县岩溶山区土壤主要是发育在石灰岩之上, 7种土地利用类型土壤全磷受石灰岩母质的影响是一致的. 农业用地及果树林地土壤全磷含量主要受施肥与否影响, 而不施肥的林地和撂荒地土壤全磷含量相近且3个土层全磷含量差别不大. 林地土壤有效磷含量最低, 玉米黄豆地和旱田土壤有效磷含量较高, 初步分析是受施肥影响的结果.

土壤钾素的主要供给源是土壤的含钾矿物, 含钾的原生矿物和黏土矿物质能说明钾素的潜在供应能力, 土壤的实际供应水平则表现为含钾矿物分解成被植物吸收的钾离子的速度和数量. 钾素在土壤容易被土壤矿物吸附和固定, 因

此属不易流失元素. 钾素在土壤中的存在形态有: 矿物态钾、非交换性钾、交换性钾和水溶性钾, 其中土壤交换性钾和水溶性钾属有效钾. 碳酸盐类矿物由于自身所含含钾矿物较多, 且钾素的损失主要为物理损失, 因此钾素含量趋于稳定. 土壤全钾含量最高点出现在撂荒地, 其次为向日葵地. 7种土地利用类型的共同特点是各自的3层土壤全钾含量接近, 各层含量差异极小. 各土地利用类型土壤有效钾含量变化不大, 含量最低点出现在旱地. 其中玉米黄豆地和果树林地各土层有效钾含量出现如下规律: 20~40 cm>0~10 cm>10~20 cm, 初步分析与人为因素如施肥有关.

图1显示林地有利于有机质和土壤氮素积累, 而撂荒地除磷素外, 其余的土壤养分好于本研究中的4种(玉米地、玉米

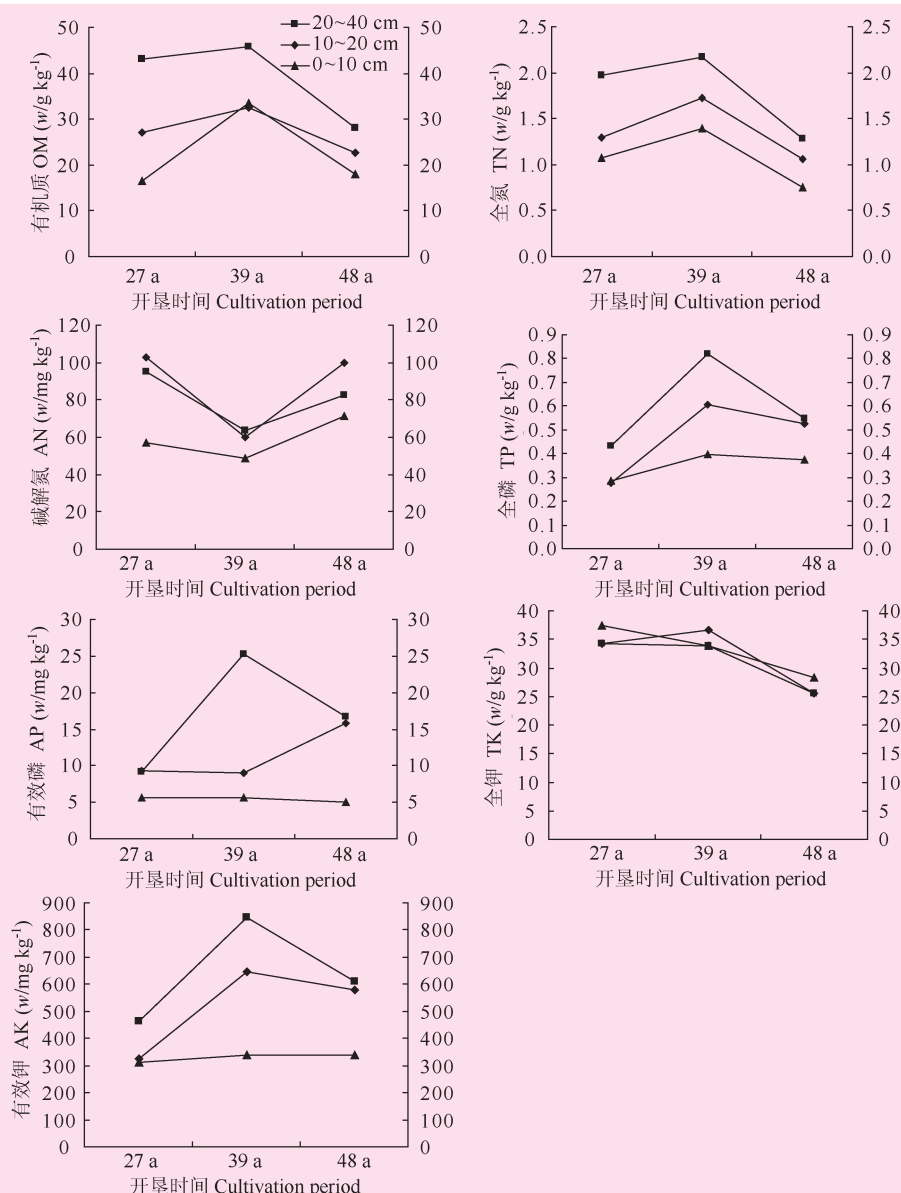


图2 不同开垦时间对土壤养分含量的影响

Fig. 2 Effect of different cultivation periods on soil nutrients

黄豆地、向日葵地、旱地) 耕地类型土壤。

3.2 普定县不同开垦时间农业用地土壤有机质变异特征

采用时空替代法, 将林地土壤有机质含量与图2中3个不同开垦时间的农业用地土壤有机质相比可知, 0~10 cm林地土壤有机质含量为84.23 g/kg, 几乎是开垦39 a农业用地土壤有机质含量45.75 g/kg的2倍。3层土壤有机质含量以开垦39 a最高, 开垦时间48 a的农业用地土壤有机质含量最低。

不同开垦时间土壤全氮含量的变化与有机质含量变化一致, 以开垦39 a的土壤全氮含量最高, 开垦48 a土壤的全氮含量最低。但是图2表明碱解氮含量最低的是开垦39 a的土壤, 开垦27 a和48 a的土壤碱解氮含量差别不大。

开垦39 a的农业用地各层土壤全磷含量最高, 开垦48 a的次之, 开垦27 a的土壤全磷含量最低。0~10 cm层土壤有效

磷含量高于10~20 cm和20~40 cm两层, 开垦39 a土壤0~10 cm层有效磷含量最高, 48 a的次之, 27 a的最低。开垦27 a和39 a 10~20 cm层与20~40 cm层土壤的有效磷含量几乎相等。20~40 cm层土壤有效磷含量几乎不受开垦时间长短的影响。

除10~20 cm层土壤全钾含量在开垦时间为39 a时有所增加外, 其余2层土壤全钾含量都随开垦时间增加而减少。然而土壤有效钾含量与全钾含量变化不一致。不同开垦时间长度的土壤有效钾含量都是0~10 cm>10~20 cm>20~40 cm。20~40 cm层土壤有效钾含量稳定, 开垦时间长短对它影响不大。开垦39 a的土壤0~10 cm层和10~20 cm层有效钾含量比开垦48 a、27 a的多。图2显示不同开垦时间各层土壤全钾含量差别最小, 这与图1中各土地利用类型各土层全钾含量差别小是一致的。各层土壤其他养分含量则表现出较明显的差异。

4 讨论

张伟等研究过广西省环江毛南族自治县岩溶地区不同土地利用方式对土壤养分的影响,认为有明显影响^[16]。这与本研究结果一致。普定岩溶山区林地土壤有机质、全氮、碱解氮含量明显高于其余6种土地利用类型,其中0~10 cm层有机质、全氮、碱解氮分别比玉米黄豆地高271.0%、317.7%、246.1%。撂荒地土壤全钾含量较高,有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、有效钾含量处于7种土地利用类型的中等水平,这与张伟等的研究结果有差别,有可能是由于取样点撂荒后的时间长短不一致造成,土壤养分循环正处于向良性方向发展和生态系统功能逐渐恢复的过程。有效钾在不同土地利用类型间差别不大。玉米黄豆地土壤有机质、全氮含量最低;向日葵地碱解氮、全磷含量最低;旱地全钾、有效钾含量最低。这说明尽管土壤母质条件一致,但种植不同的农作物对土壤养分含量会产生影响。

本研究结果表明在贵州普定岩溶山区,不同土地利用方式影响土壤养分含量。林地土壤养分含量总体高于农业用地。以往对岩溶地区土壤性质的研究也已表明,土地利用方式变化对土壤养分有重要影响^[13-14]。蒋勇军等研究发现林地转变为耕地后,土壤有机质、全氮、全磷含量大幅度降低,全钾、有效钾含量增加^[15]。在本研究中,原杉木林地被砍伐在近50 a的时间中分3个主要阶段(27 a、39 a、48 a)相继变成耕地之后,除全磷含量没有大幅度降低外,其余结果皆与蒋勇军等的研究一致,初步分析与施肥有关,并且由于对杉木林的砍伐是从山下向山顶逐渐进行,地形因素和耕作历史应该也会对结果产生一定影响。另外,从图2可知,除碱解氮外,0~10 cm土层的其他土壤养分都以开垦39 a最高,由于相继开垦为耕地的采样地点都以玉米种植为主,排除了不同植物种类对土壤营养循环的影响。由坡脚至坡顶坡度逐渐加大,虽取样点坡向一致,但坡度变化造成降水淋蚀强度不同,开垦39 a的耕地位于山腰,上部土壤淋溶的养分在此得到积累,而小地形的原因使这部分的养分不易向下转移,这也可能是造成该现象的原因之一。

有机质在岩溶生态系统土壤的形成和演化过程中具有重要作用,同纬度的地带性土壤相比,石灰土的有机质含量要高于其它土壤类型。而且石灰土普遍偏粘性,在有机质含量较高情况下有利于形成较好的团粒结构,供水供肥能力较好,反之其团粒结构就失去稳定性,使土壤抵御水土流失能力降低^[17]。大量研究表明,耕作特别是翻耕和作物移出可造成土壤有机质的显著降低^[11-12, 15, 18]。同时土壤有机质的降低又会影响土壤的团粒结构,使土壤抵御侵蚀、淋溶的能力降低,导致耕地进入逐步退化的恶性循环。尽管普定县各种农业用地类型每年都要施用一定量的农家肥,但是农业用地的有机质、全氮和碱解氮等养分含量低于林地和果树林地,说明农业用地土壤养分的流失较为严重,可能与强烈的耕作和作物换茬有关,这与张伟等的研究结果是一致的,休耕或者还林利于土壤养分循环良性发展和生态系统稳定。

地表植被覆盖对土壤的侵蚀和退化也有重要影响,良好的植被覆盖可以有效减小地表径流,防止侵蚀的发生^[19]。相对而言,林地和撂荒地均有良好的植被覆盖,土壤各养分含

量相对较高,生态系统具备积累更多有机质和向更高层次演化的潜力。果树林地虽冠层覆盖较好,但地面草本植物较少,土壤养分优势不明显。各农业用地类型植被盖度较小,每年作物收割后使土壤表层直接暴露,再加上农业用地土壤抵御侵蚀和淋溶的能力低下,水土流失严重,生态系统整体表现为“碳源”趋势,不利于区域农业的健康发展,建议岩溶山区旱作耕地的管理加大农家肥的施用。

从土壤养分的总量来看,土壤有机质最高含量(林地0~10 cm层)为84.2 g/kg,最低含量(玉米黄豆地0~10 cm层)为31.1 g/kg。土壤全氮含量受到土壤有机质含量的影响而变异明显:最高含量为3.64 g/kg,最低含量仅1.14 g/kg,相差3倍多。涂成龙等研究黔中石漠化地区生态恢复过程中土壤养分变异得到的结果^[20]与此类似,认为土壤全钾、全磷含量在生态恢复过程中变异趋于平缓,与本研究中有有机质、全氮、全磷、全钾等土壤养分受土地利用方式影响的结果并无矛盾。说明在岩溶山区林地土壤有机质高于农业用地,土地利用方式的改变影响了土壤养分循环。种植林木有利于土壤结构改良,从而达到保水、保肥的功效,在岩溶山区加大退耕还林力度对生态系统的稳定性应该是有利的。

5 结论

贵州普定岩溶山区不同土地利用方式土壤养分空间异质性明显,林地土壤有机质、全氮、碱解氮累积量较多,玉米黄豆地含量最少。0~10 cm层有机质、全氮、碱解氮分别比玉米黄豆地高271.0%、317.7%、246.1%。不同的农作物种类影响土壤养分含量。林地和撂荒地对土壤养分循环比较有利。

林地开垦为农业用地后,土壤有机质、全氮、碱解氮含量明显下降,全磷、有效磷、全钾含量没有明显变化,有效钾含量增多。不同开垦时间对土壤养分的影响表现为开垦39 a的0~10 cm层土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、有效钾含量高于开垦27 a和48 a土壤的含量,碱解氮低于开垦27 a和48 a土壤的含量;开垦27 a的土壤全钾含量高于开垦39 a和48 a土壤的含量,农业用地开垦时间长或短对土壤养分含量的影响没有表现出特殊的规律,可能受到地形、人为干扰强度等因素的影响。

References

- 1 Zhou GS (周广胜), Wang YH (王玉辉), Jiang YL (蒋延玲), Yang LM (杨利民). Conversion of terrestrial ecosystems and carbon cycling. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 2006, **26** (2): 250~254
- 2 Wang XK (王效科), Bai YY (白艳莹), Ouyang ZY (欧阳志云), Miao H (苗鸿). Missing sink in global carbon cycle and its causes. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2002, **22** (1): 94~103
- 3 Powers JS. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land-use transitions in northeastern Costa Rica. *Ecosystems*, 2004, **7**: 134~146.
- 4 Zhang FH (张风华), Pan XD (潘旭东), Li YY (李玉义). Research on successional regulation of soil environment after reclamation in the Manas river valley. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2006, **39**: 331~336
- 5 Luo GP (罗格平), Xu WQ (许文强), Chen X (陈曦). Effect of different land-use systems on soil properties in the alluvial plain-oasis in the arid land. *Acta Geogr Sin* (地理学报), 2005, **60**: 779~790
- 6 Yuan DX (袁道先). Carbon cycle in earth system and its effects on

- environment and resources. *Quaternary Sci* (第四纪研究), 2001, **21** (3): 223~232
- 7 Wang SJ (王世杰). Concept deduction and its connotation of karst rocky desertification. *Carsol Sin* (中国岩溶), 2002, **21** (2): 101~105
- 8 Government of Guizhou Province (贵州省人民政府). Guizhou Yearbook (2007). Guiyang, China: Guizhou People Publishing House (贵阳: 贵州人民出版社), 2007
- 9 Heuvelink GBM, Webster R. Modelling soil variation: Past, present, and future. *Geoderma*, 2001, **100**: 269~301
- 10 Zhao HX (赵海霞), Li B (李波), Liu YH (刘颖慧), Zhang XS (张新时). The soil properties along landscape heterogeneity on different scales in Huangfuchuan watershed. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2005, **25**: 2010~2018
- 11 Compton JE, Boone RD, Motzkin G, Foster DR. Soil carbon and nitrogen in alpine-oak sand plain in central Massachusetts: Role of vegetation and land-use history. *Oecologia*, 1998, **116**: 536~542
- 12 Guo XD (郭旭东), Fu BJ (傅伯杰), Chen LD (陈利顶), Ma KM (马克明), Li JR (李俊然). Effects of land use on soil quality in a hilly area - A case study in Zunhua County of Hebei Province. *Acta Geogr Sin* (地理学报), 2001, **56**: 417~455
- 13 Li YB (李阳兵), Xie DT (谢德体), Wei CF (魏朝富). Correlation between rock desertification and variations of soil and surface vegetation in Karst eco-system. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 2004, **41**: 196~202
- 14 Liu Y (刘玉), Li LL (李林立), Zhao K (赵柯), Wang LL (王丽). Agricultural region: A case study of Xiaojiang watershed, Yunnan. *Acta Geogr Sin* (地理学报), 2005, **60**: 751~760
- 16 Zhang W (张伟), Chen HS (陈洪松), Wang KL (王克林), Su YR (苏以荣), Zhang JG (张继光), Yi AJ (易爱军). The heterogeneity of soil nutrients and their influencing factors in peak-cluster depression areas of karst region. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2006, **39** (9): 1828~1835
- 17 Cao JH (曹建华), Yuan DX (袁道先), Pan GX (潘根兴). Some soil features in karst ecosystem. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), 2003, **18** (1): 37~44
- 18 Follett RF. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil & Tillage Res*, 2001, **61**: 77~92
- 19 Descroix L, Viramontes D, Vauclin M, Gonzalez Barrios JL, Esteves M. Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico). *Catena*, 2001, **43**: 115~135
- 20 Tu CL (涂成龙), Lin CH (林昌虎), He TB (何腾兵), Lu XH (陆晓辉). Soil nutrient variation features in rocky, desertified areas undergoing ecological restoration in central Guizhou Province. *Bull Soil & Water Conservation* (水土保持通报), 2004, **24** (6): 22~26