

宁南山区不同年限撂荒梯田土壤碳氮磷化学计量特征

王月玲¹, 马璠¹, 许浩¹, 董立国¹, 万海霞¹, 蔡进军²

(1.宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所 宁夏防沙治沙与水土保持重点实验室,
银川 750002; 2.宁夏农业资源与环境研究所, 银川 750002)

摘要:为了探究不同年限撂荒梯田对土壤碳氮磷含量及其化学计量特征的影响,为宁南山区撂荒梯田的管理利用和植被恢复提供科学依据。选择宁南山区彭阳中庄示范区不同年限撂荒梯田(2,5,15,17,20 a)为研究对象,通过野外采样与室内测定相结合的方法,对研究区 5 个不同年限撂荒梯田 0—60 cm 土壤样品中的 C,N,P 元素含量及其化学计量比特征进行了分析。结果表明:在 0—60 cm 土层,不同年限撂荒梯田的土壤 C,N 分布规律一致,均随土层深度的增加而减小,表层 0—10 cm 出现了富集现象,且随着撂荒年限增加呈先降低后升高的趋势,其他 4 层呈波动式下降趋势,土壤全磷含量分布比较均匀。土壤 C:N 随着不同撂荒年限的增加呈波动式升高趋势,撂荒 20 年 0—40 cm 土层土壤 C:N 最高,并与其他各年呈显著性变化($p < 0.05$)。土壤 C:P 和 N:P 均表现为在表层 0—10 cm 随着撂荒年限的增加,总体呈现出先降低后升高的趋势,其他各层总体呈现下降的趋势。土壤 C:P 和 N:P 随土层增加呈减小趋势。土壤 C:N 与全 N 和土壤 C 含量相关性不显著。土壤 C:P 与土壤 C 含量呈极显著的正相关,与全磷含量呈显著的正相关。土壤 N:P 与土壤全 N 含量呈极显著的正相关,与全磷含量呈显著的正相关。通过上述分析,总体反映出撂荒梯田土壤碳氮磷及其化学计量比受到不同年限和土层深度的双重影响,农地弃耕撂荒演替对土壤肥力有一定程度的改善。

关键词:碳氮磷; 化学计量比; 撂荒梯田; 宁南山区

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0025-07

Stoichiometry of Soil C, N and P in Abandoned Terrace Lands with Different Years in Hilly Region of Southern Ningxia

WANG Yueling¹, MA Pan¹, XU Hao¹, DONG Ligu¹, WAN Haixia¹, CAI Jinjun²

(1.Ningxia Key Laboratory of Desertification Control and Soil and Water Conservation,
Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences,

Yinchuan 750002, China; 2.Ningxia Institute of Agriculture Resources and Environment, Yinchuan 750002, China)

Abstract: We investigated effects of years of abandoned terrace lands on the stoichiometry of soil C, N and P, and provided scientific support for management and vegetation recovery of abandoned terrace lands in southern Ningxia. Abandoned terrace lands with different years (2 years, 5 years, 15 years, 17 years, 20 years) were selected as subjective to research the contents of soil C, N and P in 0—60 cm layers by combining the means of field sampling and laboratory analysis. The results showed that: in 0—60 cm layer, the contents of soil C and N decreased as depth increased, there was a enrichment of C and N in 0—10 cm layer, which declined first and increased as abandon years increased; the contents of C and N in 4 layers of subsurface profile declined with fluctuation, the total P evenly distributed in soil layers; the ratio of C:N increased with fluctuation as abandon years increased, the C:N was the highest in the 0—40 cm layer in abandoned land with 20 years of abandonment, and demonstrated a significant variation with other abandoned years ($p < 0.05$); the ratios of C:P and N:P in 0—10 cm layer increased first and then declined with the abandonment years, but totally decreased in other layers, the ratio of C:P and N:P decreased as soil depth increased, the ratio of C:N was not related to total N and C significantly, the ratio of C:P was extremely significant related to soil C and significant related to total P, the ratio of N:P was extremely significant related to soil N and significant related to total P. The contents and stoichiometry of C, N and P were affected by both abandonment

收稿日期:2019-03-04

修回日期:2019-03-23

资助项目:国家重点研发计划重点专项(2016YFC0501702);国家自然科学基金(41561058,31660375);宁夏回族自治区全产业链创新示范基金项目(QCYL-2018-12);宁夏农林科学院科技创新先导资金项目(NKYJ-17-11);宁夏自然科学基金(2019AAC03289,NZ17132)

第一作者:王月玲(1980—),女,宁夏固原人,硕士,副研究员,主要从事黄土高原水土保持与生态环境建设研究。E-mail:wylxnky@163.com

age and soil depth. Abandonment of terrace land can improve soil fertility to a certain extent.

Keywords: C, N and P; stoichiometry ratio; hilly region of southern Ningxia; abandoned terrace land

生态化学计量学是研究生态过程和生态作用中能量和化学元素平衡的科学,它是研究植物—土壤相互作用与从元素计量的角度分析生物地球化学元素区域循环规律的新思路^[1],是当前生态研究的热点和重要内容,受到国内外广泛学者的关注,为研究生态系统 C : N : P 养分分布和循环、养分限制及平衡机制等提供了一种综合方法^[2],对于揭示生态系统过程影响因素及其作用机制具有重要意义^[3]。土壤是陆地生态系统的重要组成部分,也是人类赖以生存与发展的重要物质基础,是植物生长发育所需营养元素的主要来源,土壤碳氮磷是保障生态系统健康及其养分循环的重要生态因子,三者含量的动态平衡及生态化学计量特征直接影响土壤肥力和植物生长^[4-5],碳、氮、磷也是植物的基本化学元素,在植物生长和各种生理调节机能中发挥着至关重要的作用,进而影响生态系统的生产力。

宁南山区地处黄土高原腹地,土壤侵蚀强烈,土壤养分流失严重,生态环境极为脆弱,这制约了区域经济的可持续发展。在该区域,耕地撂荒现象较为严重,弃耕撂荒梯田面积约占土地面积的 6% 左右。撂荒地作为一种重要的土地资源,大面积撂荒不仅是对土地资源的一种浪费,对区域生态恢复、保持水土也产生不利影响。为进一步加强对于撂荒地闲置资源的开发利用和土壤质量的可持续管理,研究撂荒后土壤质量的变化过程将具有极强的理论和实践意义。不同的生态恢复措施形成群落不同,对土壤质量提高的程度因对土壤的吸收和归还不同,导致土壤养分分布的差异^[6]。近些年来,针对土壤生态化学计量特征,相应地开展了很多研究。土壤化学计量学特征受自然因素和人类活动影响。目前,关于黄土区土壤化学计量特征的研究主要集中在不同生态治理、不同纬度、海拔、坡度或退耕恢复过程中的土壤 C, N, P 含量特征的时空分布格局^[7-12]以及植物叶片、养分添加对化学计量的影响等方面^[13-15],但是关于撂荒梯田群落演替过程中的土壤化学计量特征的研究较少。开展流域内撂荒梯田的土壤碳、氮、磷化学计量学研究,有助于了解土壤碳、氮、磷素平衡制约关系,衡量梯田撂荒后的土壤质量。土壤质量是生态修复的基础数据和评价指标,通过研究充分了解撂荒梯田的土壤质量现状,为下一步撂荒地的演替、预测评估及开发管理利用提供重要的基础数据,也是改善区域生态环境的工作重点。相关研究显示,植被恢复之后,土壤碳、氮

和磷含量将会受到影响且有助于提高土壤生产力^[16-17]。随着植被演替的进行,土壤 N : P 逐渐增加^[18]。耕地转化成林地,灌木和草地对土壤碳氮磷含量有所影响,退耕还林还草显著提高了土壤碳氮储量。与农田相比,人工植被能显著提高土壤碳氮固存能力^[19]。说明通过实施大规模的退耕还林还草植被恢复实现了土壤有机碳、氮和磷的累积。1999 年起,在国家开展的退耕还林还草、坡改梯等水土保持综合治理措施的推动下,宁南黄土区大面积的坡耕地逐步转变为林地、草地和梯田。近年来,由于农业比较优势较弱,加之移民迁出及大量劳动力外出务工、人口老龄化等自然因素和社会因素影响,大面积梯田撂荒。这在改善生态环境的同时,也影响了土壤碳、氮、磷的分布。因此,针对梯田弃耕撂荒逐步变为自然恢复的草地植被的现状,本文以生态化学计量学方法探讨宁南黄土区彭阳中庄流域 5 个不同年限撂荒梯田土壤 C, N, P 垂直分布特征,明确生态系统碳、氮、磷元素平衡的化学计量比及各元素之间的相互作用和平衡制约关系,了解弃耕梯田土壤质量现状。以期揭示研究区土壤 C, N, P 计量特征对撂荒梯田草地植被演替的影响机理奠定基础,也为梯田撂荒地的植被恢复和管理利用提供科学依据。

1 研究区概况

本研究选择宁夏南部黄土丘陵区典型流域——彭阳县白阳镇中庄村小流域为对象。该流域地处彭阳县城东北 21 km (东经 106°41′—106°45′, 北纬 35°51′—35°55′), 小流域总面积 1 944.7 hm², 其中农地面积 1 046.6 hm², 占全流域面积的 53.82%, 农业用地是流域内的主要土地利用形式。农业生产完全依赖于天然降水, 为雨养农业区。地貌类型属于黄土高原腹部梁峁丘陵地, 地形破碎, 地面倾斜度大, 平均海拔为 1 600~1 700 m, 属于典型的温带大陆性气候。区内干燥少雨, 蒸发强烈。该地区多年平均年降水量 420~500 mm, 降水季节分布很不均匀, 主要集中在 7—9 月, 而且降水的年际变差系数较大, 明显的旱季和雨季, 雨量集中月份常以暴雨形式出现, 易发局地暴雨洪水。由于降水主要分布在作物生长的后期, 极大地限制了降水的有效性。该村年平均气温 7.6℃, ≥10℃ 的积温为 2 200~2 750℃, 境内年蒸发量较大, 干燥度 (≥0℃ 的蒸发量) 为 1.21~1.99, 无霜期 140~160 d。土壤类型以普通黑垆土为典型土壤,

土壤母质为黄土及黄土状物, pH 值为 8~8.5, 土层深厚, 土质疏松, 孔隙度大, 透水性、抗冲性减弱。区域植被类型为干草原类, 主要分布有长芒草(*Stipa bungeana* Trin.)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia* Waldst. et Kit.)、赖草(*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.)、百里香(*Thymus quinquecostatus* Celak.)、西山委陵菜(*Potentilla sischanensis* Bge.ex Lehm.)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl.)等草本植物。其次还有中生和旱中生的落叶阔叶灌丛、落叶阔叶林、草甸。人工林以山桃(*Prunus davidiana* Franch.)、山杏(*Prunus sibirica* L.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*

Linn.)、柠条(*Caragana Korshinskii* Kom.)等, 林草覆盖率在 50%以上。

2 研究内容与研究方法

2.1 典型样地的选取

在研究区全面踏查的基础上, 根据植物群落组成、结构, 并结合对当地居民的访问调查结果, 在样地海拔、坡向及黄土母质基本相同的情况下, 本试验选取了无人为干扰或人为干扰相对较少且立地条件相似的 5 个不同年限撂荒梯田, 撂荒年限分别为 2, 5, 15, 17, 20 a。采样地基本概况见表 1。

表 1 样地基本情况

撂荒年限/a	经度(E)	纬度(N)	海拔/m	坡度/(°)	坡向	主要群落类型
2	106.721035°	35.953117°	1585	0	半阳坡	猪毛菜(<i>Salsola collina</i> Pall.)+狗尾草+猪毛蒿
5	106.717647°	35.955781°	1682	0	半阳坡	赖草、猪毛蒿+硬质早熟禾
15	106.726524°	35.953800°	1680	0	半阳坡	猪毛蒿+赖草
17	106.721339°	35.942355°	1614	0	半阳坡	长芒草、长芒草+达乌里胡枝子
20	106.716775°	35.954221°	1682	0	半阳坡	长芒草、赖草+硬质早熟禾

2.2 土壤样品采集与测定

于 2018 年 6 月, 在不同年限的撂荒梯田内分别选择 5 个地貌特征相似的样地, 在样地内按照“S”形采样法进行样品采集。用土钻钻取 0—60 cm 土层, 按土壤剖面不同层次取原状土(分别在 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—60 cm 处分层取样), 将采集的每个样方同层新鲜土壤样品混合均匀后, 去杂、风干、研磨, 过 0.075 mm 筛后备用, 测定土壤总有机碳、全氮、全磷含量。每一样点采样 1 kg, 样品放入样品袋中, 并进行编号。

土壤有机碳总量(TOC)在加热条件下, 采用重铬酸钾—硫酸溶液氧化法(NY/T1121.6—2006)测定; 土壤全氮含量采用半微量凯氏法(LY/T1228—1999)测定; 土壤全磷的含量采用碱熔—钼锑抗比色法(LY/T1232—1999)测定。

2.3 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据处理及制图, 利用 DPS 软件分析 C : N, C : P, N : P 与 C, N, P 之间的相关关系, 并用 LSD 多重比较分析不同年限撂荒梯田之间的差异。

3 结果与分析

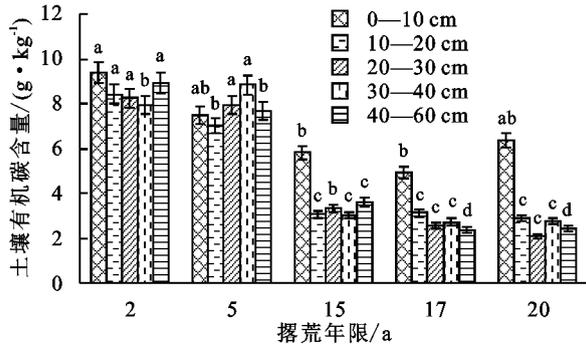
3.1 不同年限撂荒梯田土壤碳、氮、磷含量分布特征

研究区不同年限撂荒梯田土壤有机碳含量变化范围为 2.08~9.38 g/kg, 平均值±标准差为(5.31±2.62) g/kg。不同剖面层次 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—60 cm 的土壤有机碳变化范围为 4.90~9.38, 2.87~

8.41, 2.08~8.24, 2.72~8.84, 2.44~8.93 g/kg; 平均值为(6.79±1.72), (4.90±2.62), (4.82±2.99), (5.06±3.06), (5±3.08) g/kg。

由图 1 可知, 撂荒 0~20 年间表层(0—10 cm)土壤有机碳含量较其他土层明显偏高, 且随着撂荒年限增加呈先降低后升高的趋势, 其他 4 层土壤有机碳含量呈波动式下降趋势。这主要是因为撂荒前期梯田施肥对土壤养分具有较大的影响, 由于前期植被生物量较少, 随着撂荒年限的增加, 养分消耗大于累积, 土壤养分含量逐渐减少。此后, 随着植被演替的进行, 植物群落的生物量与枯落物增加, 养分富集作用增加, 土壤养分又开始逐渐累积。在垂直剖面分布中, 总体呈现出上层高于下层, 并且随着土层深度的增加而减少, 可见地表植被和凋落物对土壤有机碳的积累具有一定的贡献。分析其原因, 主要是由于植被是土壤有机碳的重要来源, 而表层土壤是植物根系主要分布和枯落物聚集的土层, 随着土层深度的增加, 植物根系较少, 枯落物分解也相应减少, 因此土壤有机碳含量由表层向深层递减, 这与饶丽仙等^[10]在宁夏典型草原不同退耕年限草地植物下研究土壤有机碳含量的变化结果是相吻合的。另外如植被生长情况、气候条件、土壤类型等环境因子对土壤有机碳含量的影响也至关重要。在宁南半干旱黄土丘陵区, 由于气候干旱, 雨水资源匮乏, 植被覆盖度低, 使得土壤有机碳的输入较少, 这也是该区域弃耕撂荒地土壤有机碳较少的主要原因。方差分析结果显示, 土壤有机碳含量在不同年限撂荒梯田的相同土层间表现出极显著差

异 ($p < 0.01$), 土壤有机碳含量在同一撂荒年限不同土层间表现出显著差异 ($p < 0.05$)。



注: 小写字母表示不同年限同一土层间的差异显著 ($p < 0.05$), 下同。

图 1 不同年限撂荒梯田土壤有机碳含量变化

土壤中的氮、磷、钾是土壤自然肥力的重要指标, 土壤全氮是决定植被营养的关键因素。土壤全氮含量直接影响植物的光合作用和初级生产过程。氮作为植物生长的重要营养元素之一, 在土壤中通常以有机态形式存在, 直接影响植物吸收及利用氮的状况。本研究中, 不同年限撂荒梯田土壤全氮含量变化范围为 0.24~1.07 g/kg, (平均值±标准差) 为 (0.62±0.29) g/kg。不同剖面层次 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—60 cm 的土壤全氮含量变化范围为 0.52~1.10, 0.34~1.02, 0.28~0.98, 0.26~0.95, 0.24~1.02 g/kg; 平均值为 (0.75±0.22), (0.60±0.30), (0.61±0.32), (0.58±0.33), (0.57±0.34) g/kg。

由图 2 可以看出, 土壤全氮含量的变化趋势与有机碳相同, 表层 (0—10 cm) 土壤全氮含量较其他土层明显偏高, 且随着撂荒年限增加呈先降低后升高的趋势, 其他 4 层土壤全氮含量呈波动式下降趋势。在垂直剖面分布中, 总体呈现出上层高于下层, 并且随着土层深度的加深而减少。方差分析结果表明, 不同年限撂荒梯田各层次间的土壤全氮含量差异极显著 ($p < 0.01$), 同一撂荒年限不同剖面层次土壤全氮含量差异显著 ($p < 0.05$)。

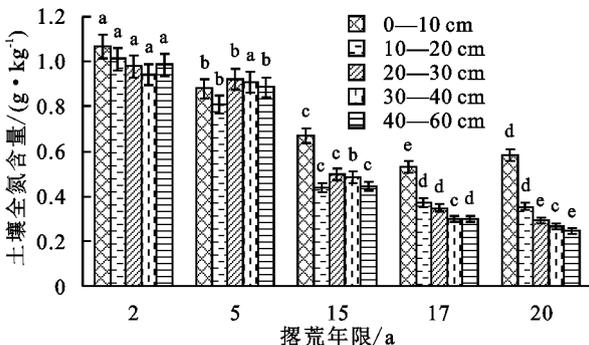
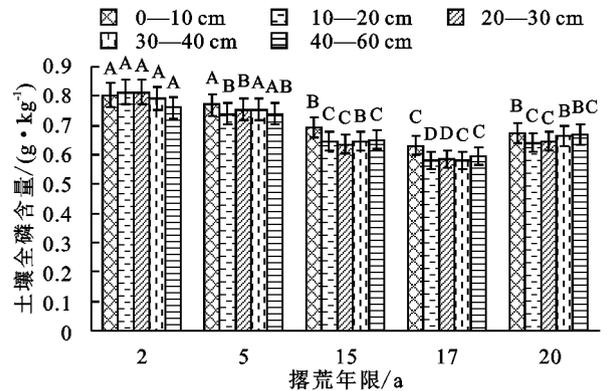


图 2 不同年限撂荒梯田土壤全氮含量变化

作为土壤养分的重要组成部分, 磷也是植物生长所必需的重要营养元素之一, 全磷含量反映了土壤磷

元素潜在的供应能力。通过本研究发现, 不同年限撂荒梯田土壤全磷含量变化范围为 0.56~0.83 g/kg, (平均值±标准差) 为 (0.69±0.08) g/kg。不同剖面层次 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—60 cm 的土壤全磷含量变化范围为 0.61~0.80, 0.56~0.82, 0.58~0.80, 0.56~0.80, 0.58~0.78 g/kg; 平均值为 (0.71±0.07), (0.68±0.09), (0.69±0.09), (0.68±0.08), (0.68±0.07) g/kg。由图 3 可以看出, 不同年限撂荒梯田表土层 (0—10 cm) 土壤全磷含量变化趋势与全氮、有机碳相同, 各年限 0—60 cm 土层间变化较小。这可能与土壤磷素的来源稳定剂在土壤中的低迁移率有关。在垂直剖面分布中, 土壤全磷含量的分布也没有明显的规律。方差分析结果表明, 不同年限撂荒梯田各层次间的土壤全磷含量差异显著 ($p < 0.05$), 同一撂荒年限不同剖面层次土壤全磷含量差异不显著 ($p < 0.01$)。



注: 大写字母表示不同年限同一土层间的差异显著 ($p < 0.01$)。

图 3 不同年限撂荒梯田土壤全磷含量变化

3.2 不同年限撂荒梯田土壤 C : N, C : P, N : P 生态化学计量特征

土壤有机碳、全氮、全磷三者之间关系密切。本研究中, 不同年限撂荒地不同剖面层次 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—60 cm 的土壤 C : N 变化范围分别为 7.94~9.96, 6.66~9.09, 6.25~9.47, 5.43~11.43, 7.23~12.93 g/kg; 平均值±标准差分别为 (8.84±0.61), (8.11±0.81), (7.66±0.89), (8.78±1.63), (8.76±1.31) g/kg。由图 4A 可以看出, 不同撂荒年限各土层间 C : N 呈波动式变化, 撂荒 20 a 的 30—40 cm 土层土壤 C : N 最高, 并与其他各年呈显著性变化。

0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—60 cm 的土壤 C : P 变化范围分别为 6.84~13.48, 4.05~10.80, 3.10~11.22, 3.63~11.99, 3.10~13.21 g/kg; 平均值±标准差分别为 (9.41±1.96), (6.89±2.62), (6.69±3.15), (7.06±3.34), (7.05±3.54) g/kg。由图 4B 可以看出, 表层 0—10 cm 土壤 C : P 比值随着撂荒年限的增

加,总体呈现出先降低后升高的趋势,且各年限差异显著($p < 0.05$)。其他各层 10—20,20—30,30—40,40—60 cm 随着撂荒年限的增加,土壤 C:P 比值总体呈现下降的趋势,且各年限不同土层间差异极显著($p < 0.01$)。

0—10,10—20,20—30,30—40,40—60 cm 的土壤 N:P 变化范围分别为 0.82~1.36,0.53~1.28,0.42~1.24,0.39~1.22,0.34~1.36 g/kg;平均值±标准差分别为(1.03±0.19),(0.85±0.28),(0.85±0.33),(0.81±0.35),(0.81±0.39) g/kg。由图 4C 可以看出,撂荒初期 2 a 土壤 N:P 比值最高,并与其他各年限呈显著差异($p < 0.05$)。0—10 cm 土层土壤 N:P 表现为波动式上升的趋势。在垂直剖面上,基本呈现出随着土层深度的加深,土壤 N:P 逐渐下降的趋势,尤其是 40—60 cm 土层不同撂荒年限各土层间 N:P 比值呈明显下降趋势,且差异极显著($p < 0.01$)。

3.3 土壤 C:N, C:P, N:P 与土壤 C, N, P 含量之间的相关性

如图 5 所示,通过分析研究区不同年限撂荒梯田土壤 C:N, C:P, N:P 与土壤 C, N, P 含量之间的相关性,发现土壤 C:N 与全 N 含量呈正相关($r = 0.205$, $p = 0.741$),与土壤有机碳含量呈正相关($r = 0.178$, $p = 0.775$),与全氮含量和土壤有机碳含量相关性均未达到显著性水平。土壤 C:P 与土壤有机碳含量呈极显著的正相关($r = 0.997$, $p < 0.01$),与全磷含量呈显著的正相关($r = 0.931$, $p < 0.05$)。土壤 N:P 与土壤全氮含量呈极显著的正相关($r = 0.995$, $p < 0.01$),与全磷含量呈显著的正相关($r = 0.907$, $p < 0.05$)。

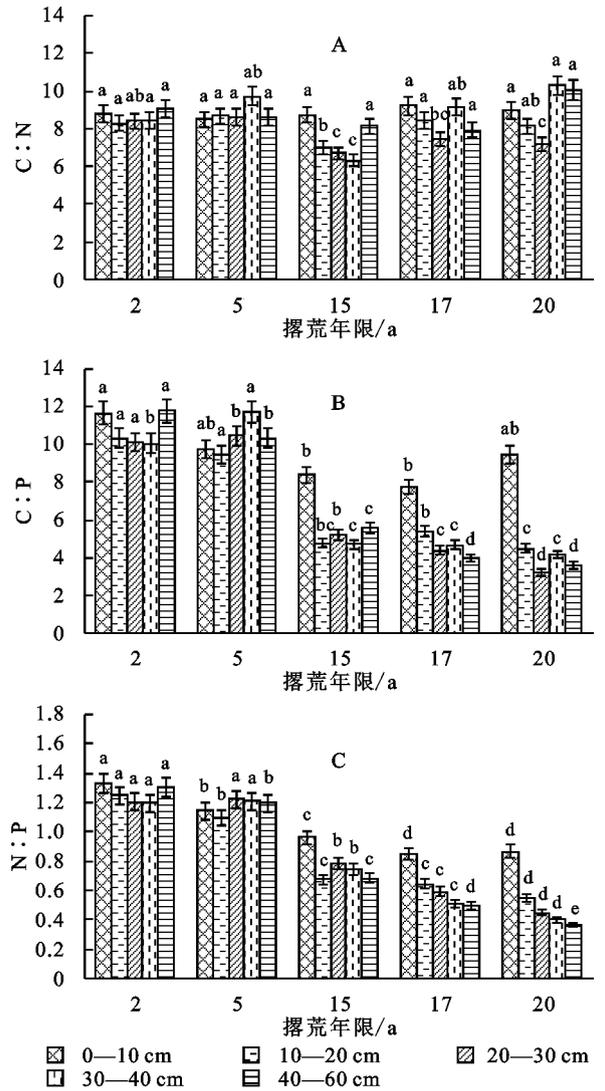


图 4 不同年限撂荒梯田土壤 C:N, C:P, N:P 变化

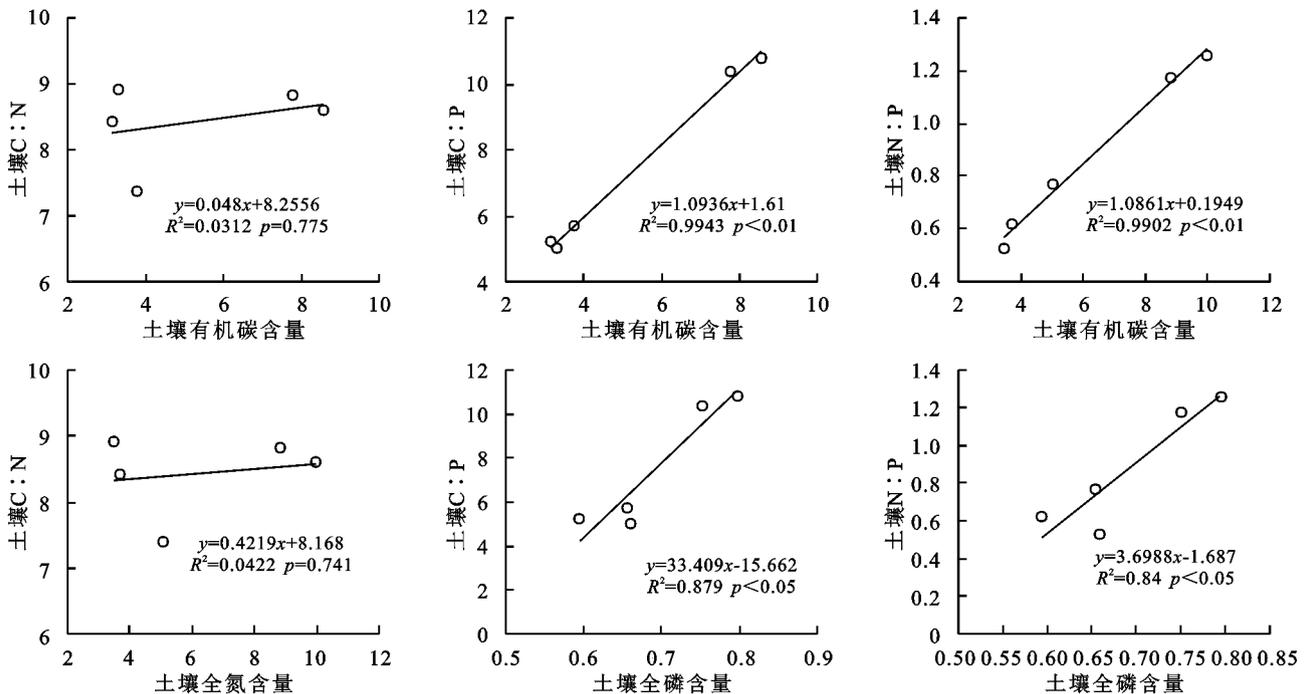


图 5 土壤 C:N, C:P, N:P 与土壤 C, N, P 含量之间的关系

4 讨论与结论

4.1 讨论

土壤碳氮磷是反映土壤质量的重要指标,土壤碳主要来源于地表枯枝落叶的矿化分解与转化积累^[20]。通过本研究发现,土壤有机碳的累积具有明显的“表聚效应”。0~20年间不同年限撂荒梯田土壤有机碳含量表层(0—10 cm)明显高于其他4层,且随着撂荒年限增加呈先降低后升高的趋势,其他4层土壤有机碳含量呈不稳定下降趋势。在垂直剖面上,土壤有机碳含量由表层向深层逐渐递减,可见表土层对土壤有机碳的积累具有一定的贡献。土壤全氮含量变化趋势与有机碳基本相同,土壤全磷含量变化差异不大。这可能是由于随着撂荒年限增加,人为干扰较少,地表枯枝落叶的矿化分解与转化累积,使得表土层土壤有机碳含量明显偏高。

土壤C,N,P比值是反映土壤C组成及土壤释放N,P矿化养分能力的重要指标^[21]。本研究结果发现,研究区土壤C:N变化范围分别为5.43~12.93 g/kg,C:P变化范围分别为3.10~13.48 g/kg,N:P变化范围分别为0.34~1.36 g/kg;各层土壤C:N平均值变化范围分别为7.38~8.92 g/kg,C:P平均值变化范围分别为4.99~10.80 g/kg,N:P平均值变化范围分别为0.53~1.25 g/kg。C:N,C:P和N:P均远低于我国土壤C:N,C:P和N:P平均水平^[22]。表层土壤C,N,P化学计量比能较好指示土壤养分状况。随着撂荒年限的增加,表层0—10 cm土壤C:N呈波动式上升趋势,土壤C:N与全N含量呈正相关($r=0.205, p=0.741$),与土壤有机碳含量呈正相关($r=0.178, p=0.775$),与全氮含量和土壤有机碳含量相关性均未达到显著性水平;土壤C:P比值随着撂荒年限的增加,表层0—10 cm总体呈现出先降低后升高的趋势,且各年限差异显著($p<0.05$)。其他各层10—20,20—30,30—40,40—60 cm随着撂荒年限的增加,土壤C:P比值总体呈现下降的趋势,且各年限不同土层间差异极显著($p<0.01$)。土壤C:P与土壤有机碳含量呈极显著的正相关($r=0.997, p<0.01$),与全磷含量呈显著的正相关($r=0.931, p<0.05$);土壤N:P比值撂荒初期2 a最高,并与其他各年限呈显著差异($p<0.05$)。0—10 cm土层土壤N:P表现为波动式上升的趋势。在垂直剖面上,基本呈现出随着土层深度的加深,土壤N:P逐渐下降的趋势,尤其是40—60 cm土层不同撂荒年限各土层间N:P比值呈明显下降趋势,且差异极显著($p<0.01$)。土壤N:P与土壤全氮含量呈极显著的正相关($r=0.995, p<0.01$),与全磷含量呈显著的正

相关($r=0.907, p<0.05$)。本研究中土壤C:N与土壤有机碳之间相关性不显著,与全N呈正相关,说明该区土壤C:N主要受N控制。而C:P与土壤有机碳之间相关性极显著,和全磷之间相关性显著,说明土壤C:P主要受C控制;土壤N:P与土壤全氮含量之间相关性极显著,和全磷间相关性显著,说明N:P也主要受N控制。而土壤全氮表层(0—10 cm)随着撂荒年限的增加呈波动式上升趋势。土壤C:N,C:P,N:P对撂荒年限的响应差异与土壤N,P的来源差异密切相关。土壤中N绝大部分来自于有机质,与土壤有机质含量有很重要的关系。土壤中P的来源相对固定,其含量主要受到土壤母质、成土作用及耕作施肥的影响^[23]。本研究结果也表明不同年限撂荒地间土壤全磷含量差异不显著。土壤有机质矿化分解速率通常与C:N,C:P呈负相关关系,较低的C:N,C:P意味着土壤C,P有效性较高^[4],相关研究^[24]表明,较低的C:P有利于微生物在有机质分解过程中的养分释放,促进土壤有效磷的增加。本研究中土壤C:N,C:P均低于全国平均水平,表明研究区土壤C,P有效性较高。

4.2 结论

(1) 在0—60 cm土层,不同年限撂荒梯田的土壤有机碳、全氮含量变化明显,变化规律相似。在垂直剖面分布上,土壤C,N含量随着土层深度的增加呈现逐渐降低的趋势,而土壤P变化不显著。土壤有机碳、全氮含量主要集中在表层,呈现明显的表聚现象;土壤C:N随着土层深度的加深呈波动式变化,变化较小。而土壤C:P与N:P呈减小趋势。表明研究区撂荒梯田在不同土层深度上土壤碳氮耦合关系比较稳定,N是土壤C:P与N:P的主要控制因子。

(2) 本研究表明撂荒梯田土壤C,N,P及其化学计量比受到撂荒年限和土层深度的双重影响,揭示农地弃耕撂荒演替对土壤肥力有一定程度的改善,土壤C:N,C:P,N:P可以指示土壤的肥力状况。为宁南山区撂荒梯田的管理利用和植被恢复提供一定的科学依据。

参考文献:

- [1] 李晴宇,李月芬,王冬艳,等.基于生态化学计量学的土壤—植物系统在退化草地群落演替中的养分响应[J].吉林农业大学学报,2016,38(6):693-702.
- [2] 方瑛,安韶山,马任甜.云雾山不同恢复方式下草地植物与土壤的化学计量学特征[J].应用生态学报,2017,28(1):80-88.
- [3] 郭焱培,杨弦,安尼瓦尔·买买提,等.中国北方温带灌

- 从生态系统碳、氮、磷储量[J].植物生态学报,2017,41(1):14-21.
- [4] 王绍强,于贵瑞.生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J].生态学报,2008,28(8):3937-3947.
- [5] 王晓光.中国北方草原东西样带土壤与植物碳氮磷生态化学计量学研究[D].北京:中国科学院大学,2015.
- [6] 马瑞萍.黄土丘陵区不同植物群落土壤团聚体中碳组分和酶活性的分布[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [7] 李占斌,周波,马田田,等.黄土丘陵区生态治理对土壤碳氮磷及其化学计量特征的影响[J].水土保持学报,2017,31(6):312-318.
- [8] 李婷,邓强,袁志友,等.黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征[J].环境科学,2015,36(8):2988-2996.
- [9] 李丹维,王紫泉,田海霞,等.太白山不同海拔土壤碳、氮、磷含量及生态化学计量特征[J].土壤学报,2017,54(1):160-170.
- [10] 饶丽仙,沈艳,聂明鹤.宁夏典型草原不同退耕年限草地植物—土壤生态化学计量特征[J].草业学报,2017,26(4):43-52.
- [11] 吕金林,闫俊杰,宋变兰,等.黄土丘陵区刺槐、辽东栎林地土壤碳、氮、磷生态化学计量特征[J].生态学报,2017,37(10):3385-3393.
- [12] 张海东,汝海丽,焦峰,等.黄土丘陵区退耕时间序列梯度上草本植被群落与土壤 C,N,P,K 化学计量学特征[J].环境科学,2016,37(3):1128-1138.
- [13] 刘海威,张少康,焦峰.氮磷添加对不同退耕年限草本植被群落及土壤化学计量特征的影响[J].水土保持学报,2017,31(2):333-338.
- [14] 张秋芳,谢锦升,陈奶寿,等.生态恢复对马尾松叶片化学计量及氮磷转移的影响[J].生态学报,2017,37(1):267-276.
- [15] 李桃祯,谭长强,陶世红,等.不同肥料处理对尾巨桉土壤和叶片化学计量的影响[J].福建农业学报,2016,31(5):491-496.
- [16] 马志敏,吕一河,孙飞翔,等.黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应[J].生态学报,2013,33(19):6328-6334.
- [17] 信忠保,余新晓,张满良,等.黄土高原丘陵沟壑区不同土地利用的土壤养分特征[J].干旱区研究,2012,29(3):379-384.
- [18] 刘兴诏,周国逸,张德强,等.南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征[J].植物生态学报,2010,34(1):64-71.
- [19] 王志齐,杜兰兰,赵慢,等.黄土区不同退耕方式下土壤碳氮的差异及其影响因素[J].应用生态学报,2016,27(3):716-722.
- [20] 王飞,林诚,李清华,等.长期不同施肥下黄泥田土壤—水稻碳氮磷生态化学计量学特征[J].土壤通报,2017,48(1):169-176.
- [21] 罗由林,李启权,王昌全,等.近 30 年川中丘陵区不同土地利用方式土壤碳氮磷生态化学计量特征变化[J].土壤,2016,48(4):726-733.
- [22] 黄昌勇,李保国,潘兴根,等.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [23] 李相儒.黄土高原退耕还林还草对土壤碳氮积累的影响[D].北京:中国科学院大学,2015.
- [24] 徐沙,龚吉蕊,张梓榆,等.不同利用方式下草地优势植物的生态化学计量特征[J].草业学报,2014,23(6):45-53.

~~~~~

(上接第 24 页)

- [20] 吕刚,傅昕阳,李叶鑫,等.露天煤矿排土场复垦区不同植被类型枯落物持水特性研究[J].水土保持学报,2017,31(1):146-152.
- [21] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [22] 李勇,徐晓琴,朱显谟,等.草类根系对土壤抗冲性的强化效应[J].土壤学报,1992(3):302-309.
- [23] 潘德成,李海燕,吴祥云,等.阜新煤矿区次生裸坡土壤抗冲性动态变化[J].水土保持通报,2013,43(6):203-206.
- [24] 李俊超,党廷辉,薛江,等.植被重建下露天煤矿排土场边坡土壤碳储量变化[J].土壤学报,2015,52(2):453-460.
- [25] 张爱国,张平仓,杨勤科.区域水土流失土壤因子研究[M].北京:地质出版社,2003.
- [26] 景可,王万忠,郑粉莉.中国土壤侵蚀与环境[M].北京:科学出版社,2005.
- [27] 周正朝,上官周平.子午岭次生林植被演替过程的土壤抗冲性[J].生态学报,2006,26(10):3270-3275.
- [28] 李强,刘国彬,许明祥,等.黄土丘陵区撂荒地土壤抗冲性及相关理化性质[J].农业工程学报,2013,29(10):153-159.
- [29] 曾信波.贵州紫色土上植物根系提高土壤抗冲性能的研究[J].贵州农学院学报,1995,14(2):20-24.
- [30] 李强,刘国彬,张正,等.黄土风沙区根系强化抗冲性土体构型的定量化研究[J].中国水土保持科学,2017,15(3):99-104.