

# 川中丘陵区耕地撂荒对土壤肥力的影响

邓利梅<sup>1,2</sup>, 陆传豪<sup>1,2</sup>, 刘刚才<sup>1</sup>

1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要:** 为了了解川中丘陵区耕地撂荒对土壤的影响, 以从 2005 年开始撂荒的紫色土坡耕地为研究对象, 对比分析其撂荒 13 年前后土壤颗粒组成和养分的变化。结果显示: 撂荒后土壤砂粒比例增加 12.6%, 粉粒比例减少 13.5%, 黏粒比例变化不大; 撂荒后土壤有机碳、全钾、碱解氮比例虽略有增加, 但是变化并无统计学意义( $p > 0.05$ ), 土壤全氮比例显著增加, 增加幅度可达 61.5%, 而全磷、有效磷、速效钾比例分别显著降低 14.0%, 61.4%, 22.6% ( $p < 0.05$ ); 土壤碳氮比显著降低 36.3%, 碳磷比、氮磷比极显著升高 ( $p < 0.01$ ), 升高幅度分别为 23.1%, 89.0%; 以所测的 7 种土壤养分为评价指标, 用模糊数学法对撂荒前后的土壤肥力进行综合评价, 结果表明撂荒前后土壤肥力等级相差不大。

**关键词:** 耕地撂荒; 紫色土; 土壤颗粒组成; 土壤养分; 综合评价

**中图分类号:** S151.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2021)03-0036-09

在我国, “耕地闲置 1 年以上、不能创造农业价值就称为撂荒地”<sup>[1]</sup>。随着农村劳动力向城市转移等多种因素的影响, 撂荒现象在世界范围内变得愈加突出<sup>[2]</sup>。虽然从目前的研究来看, 撂荒在欧洲、美国等发达国家分布更广泛<sup>[3]</sup>, 不过在中国也有愈演愈烈的趋势<sup>[1]</sup>。张学珍等<sup>[4]</sup>利用荟萃分析获取了全国 20 个省的 163 个县(市)的耕地撂荒数据, 发现 1992—2017 年, 有撂荒记录的县(市)数量和撂荒率逐渐增加。欧洲耕地撂荒问题特别严重, 2008 年乌克兰西部撂荒率高达 56%, 世界各地有关耕地撂荒的研究, 以欧洲最为全面和典型<sup>[1]</sup>。目前国内外关于耕地撂荒的研究内容比较全面, 从驱动因素、地域分布、发生程度, 到撂荒的环境效应、应对措施等均有涉及, 其中生态环境效应是当前撂荒效应研究的焦点<sup>[3]</sup>, 其是积极的还是消极的存在较大的争议。一些研究认为, 耕地撂荒导致景观异质性减少, 植被同质化, 会增加森林火灾、土壤侵蚀和荒漠化的风险, 减少可用水, 导致生物多样性的丧失和与传统管理相关的文化景观和美学价值的丧失; 另一些研究认为, 耕地撂荒后的景观提供了许多生态系统服务, 植被恢复增加碳固存, 保护生物多样性, 改善水质和水供应, 恢复土壤, 增加土壤养分, 有利于生境的可持续性<sup>[5]</sup>。撂荒的生态环境效应主要在生物多样性、景观和土壤 3 个方面<sup>[6]</sup>, 已有的案例研究表明撂荒的生态效应存在显著的区域差异<sup>[3]</sup>, 效应积极与否取决于当地的环境状况, 如气候、地形、植被状况、人类活动, 亦会随撂荒时间而变化。因此, 因地制宜地进行撂荒效应研究非常有必要, 有利于评估当地撂荒对于自然、社会环境的影响, 还可为撂荒政策的制定与实施提供参考。

我国有关撂荒对土壤等环境的影响研究区域以黄土丘陵区居多。川中丘陵区位于四川盆地的中部, 是中国最典型的南方丘陵区, 是四川盆地丘陵分布最集中的地区<sup>[7]</sup>, 地形比较复杂, 土壤主要为中生代紫色

砂(页)岩风化而成的紫色土,土壤中沙和碎石比例较高,质地松脆,极易遭受侵蚀和风化,抗蚀性极差,全区植被较少,森林覆盖率极低,丘坡较陡,因此当雨季雨水较多时,水土流失常有发生,是长江上游泥沙的重要来源<sup>[8]</sup>。近年来,受环境资源、社会经济等多种因素的影响,该区农村劳动力转移率达50%以上<sup>[9]</sup>,耕地撂荒逐年增加。但是,该区耕地撂荒对土壤会造成什么样的影响还缺乏深入研究。为此,本研究的目标是:1)认识紫色土耕地撂荒对土壤理化特性的影响特征;2)分析撂荒对土壤影响的机理。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于四川盐亭农田生态系统国家野外科学观测研究站(105°27'E, 31°16'N)所在的小流域—四川盆地中北部的盐亭县林山乡截流村。该区地形为中丘,海拔400~600 m,由水平砂泥岩互层形成多级梯地,山顶为园丘、长岗状,沟谷切割较深,冲沟发育,相对高差100~200 m,谷底宽50~150 m,比降1/100~1/350,两侧山坡较陡,平均坡度为8.7%~36.4%<sup>[10]</sup>。该区属中亚热带季风气候,年均气温17.3℃,多年平均降水量为826 mm,春季降水量占全年降水量的5.9%,夏季占65.5%,秋季占19.7%,冬季占8.9%。土壤类型以水稻土和石灰性紫色土为主,主要农作物有水稻、玉米、小麦、油菜等,林地植被以桉木和柏木为主<sup>[11]</sup>。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 样品采集及数据处理

小区(4 m×2 m)试验地从2005年开始自然撂荒,至2018年,已有13年时间。撂荒前小区内主要种植作物为玉米,目前小区内主要植被物种有:白茅、马桑、小蓬草(表1),其中白茅分布最多,覆盖度最大。撂荒开始时(2005年)采集了5个试验小区0~20 cm土层的土壤混合样,测试了各理化指标。2018年8月2日从试验地中5个小区分别采集0~20 cm土层的土壤混合样,然后,用撂荒开始时同样的方法测试以下理化指标:土壤颗粒组成、土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾。由于耕作深度和撂荒后植物根系作用深度基本都在0~20 cm,因此采集0~20 cm土壤样品,能较好地反映撂荒前后土壤理化性质的变化。

表1 撂荒小区植被分布状况

植被物种	盖度/%	凋落物或立枯物量/(g·m <sup>-2</sup> )
马桑( <i>Coriaria nepalensis</i> )	5	172
白茅( <i>Imperata cylindrica</i> )	95	528
小蓬草( <i>Erigeron canadensis</i> )	5	56

测试所得数据,用Excel 2010做基本处理,用IBM SPSS Statistics 22进行撂荒前后土壤各养分的配对样本 $t$ 检验,用OriginLab origin 2019作图。

#### 1.2.2 土壤肥力综合评价

设参与评价土壤肥力的因子有 $n$ 个,用 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ 表示,集合中 $U_i$ 是 $n$ 个土壤养分因子的检测数值集合;设有 $m$ 种不同的评价等级,它们组成评价集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ ,集合中 $V_j$ 是与 $U_i$ 中指标相对应的评价标准集合。用 $r_{ij}$ 表示第 $i$ 种因子的数值可以被评价为第 $j$ 级的可能性(即 $i$ 对 $j$ 的隶属度,它们的关系即为隶属函数),构成 $U, V$ 之间模糊关系矩阵 $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

$r_{ij}$  通过以下隶属函数来确定:

第 1 级, 即  $j=1$ , 其隶属函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (X_i \geq S_{ij}) \\ \frac{X_i - S_{i(j+1)}}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} & (S_{i(j+1)} < X_i < S_{ij}) \\ 0 & (X_i \leq S_{i(j+1)}) \end{cases} \quad (1)$$

第 2~( $m-1$ )级, 即  $j=2, 3, \dots, m-1$  时, 其隶属度函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & (X_i \geq S_{i(j-1)} \text{ 或 } X_i \leq S_{i(j+1)}) \\ \frac{S_{i(j-1)} - X_i}{S_{i(j-1)} - S_{ij}} & (S_{ij} < X_i < S_{i(j-1)}) \\ 1 & (X_i = S_{ij}) \\ \frac{X_i - S_{i(j+1)}}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} & (S_{i(j+1)} < X_i < S_{ij}) \end{cases} \quad (2)$$

第  $m$  级, 即  $j=m$  时, 其隶属度函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & (X_i \geq S_{i(j-1)}) \\ \frac{S_{i(j-1)} - X_i}{S_{i(j-1)} - S_{ij}} & (S_{ij} < X_i < S_{i(j-1)}) \\ 1 & (X_i \leq S_{ij}) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $X_i$  为第  $i$  种因子实测值;  $S_{ij}$  为第  $i$  种因子的第  $j$  级评价标准值.

因子集  $U$  中各参评指标的权重系数  $w_i$  构成模糊子集  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , 其中:  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . 用 OriginLab origin 2019 对各指标检测数值进行主成分分析, 根据分析结果中主成分贡献率和因子载荷确定各参评指标的权重.

已知权重矩阵  $W$  及模糊关系矩阵  $R$ , 则  $n$  个评价指标的多指标模糊综合评价矩阵可以表示为:

$$B = W \cdot R \quad (4)$$

模糊综合指数可以表示为:

$$FCI = B \cdot G \quad (5)$$

式中:  $G$  为土壤养分等级标准向量,  $G^T = (1, 2, \dots, m)$ ;  $FCI$  为土壤养分的综合等级.

用 MATLAB R2013b 进行矩阵运算.

## 2 结果与分析

### 2.1 撂荒对土壤颗粒组成的影响

据图 1 所示, 撂荒前土壤砂粒(0.05~2 mm)比例为 15.8%, 撂荒后为 28.4%, 撂荒后增加 12.6%; 撂荒前土壤粉粒(0.002~0.05 mm)比例为 65.4%, 撂荒后为 51.9%, 撂荒后减少 13.5%; 撂荒前后土壤黏粒(<0.002 mm)比例分别为 18.8%和 19.7%, 变化不大. 根据美国土壤质地分类标准, 撂荒前后的土壤质地均为粉壤土, 不过由于砂粒的增加和粉粒的减少, 撂荒后的土壤质地有由粉壤土变为壤土的趋势, 即撂荒后土壤有粗骨化的趋势.

撂荒前, 由于耕作熟化, 土壤的颗粒组成偏细, 砂粒比例低. 在耕时及撂荒初期, 地表植被盖度低, 土地裸露面积较大, 降雨时雨滴、径流动能和地表径流量大, 无论是雨滴击打对土壤的分散作用, 还是径流对泥沙的携带能力都很强, 从而土壤侵蚀强烈, 带走大量泥沙, 且泥沙颗粒分选性较差<sup>[12-13]</sup>, 土壤无论是粗颗粒还是细颗粒均容易流失. 相比在耕地, 撂荒后人为干扰减少, 随着撂荒年限的增加, 植被盖度增加,

植被对降雨的拦截率增加, 坡面粗糙度增大, 径流速率和地表径流量减小, 植被根系发达, 能疏松土壤, 促进团聚体形成, 从而入渗及壤中流增加<sup>[14-16]</sup>, 并且白茅低矮且盖度高, 可以有效地削弱雨滴对土壤的击溅动能, 减少土粒的分散<sup>[16]</sup>, 因此土壤侵蚀减少, 且侵蚀带走的泥沙颗粒具有较高的分选性: 较粗的砂粒因质量高不容易被较小的径流搬运而得以保留, 黏粒由于其比表面积及电荷密度大的特性, 容易胶结土粒形成团聚体也不容易流失, 相比之下粉粒流失的比例就较多. 另一方面, 由于紫色土母岩极易风化且物理风化强烈, 成土快速<sup>[17]</sup>, 植被恢复过程中植物根系的增加会加强母岩母质的破碎风化. 采样时可见小区内土壤中含有大量的植物根系, 由于小区内土层较浅, 植物根系很容易穿透土壤到达母质母岩层, 促进母岩裂隙的发育, 加快母岩破碎风化, 从而增大了土壤中粗颗粒的比例. 并且, 和在耕时不同, 撂荒后不存在植物收割和土地翻耕, 植物根系对母岩的破碎风化作用是持续的.

## 2.2 撂荒对土壤养分及土壤化学计量比的影响

由图 2 可知, 撂荒前后土壤有机碳、全钾、碱解氮质量分数差异均无统计学意义( $p > 0.05$ ), 但是撂荒后这几种养分的均值都大于撂荒前; 撂荒后土壤全氮质量分数显著增加( $p < 0.05$ ), 且增幅可达 61.5%; 撂荒后土壤全磷、有效磷、速效钾质量分数显著减少( $p < 0.05$ ), 有效磷减少幅度最大, 可达 61.4%, 全磷、速效钾分别减少 14.0%, 22.6%.

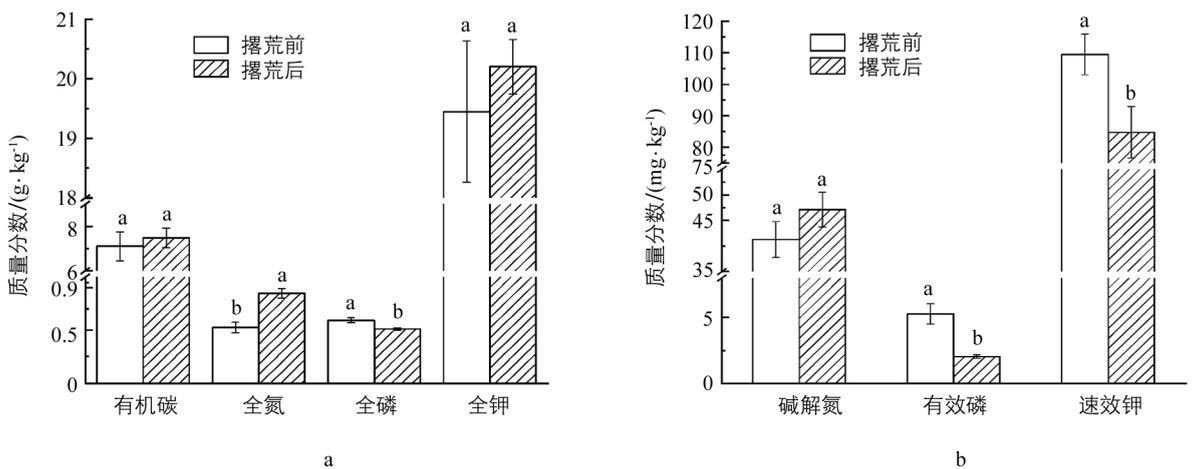


图 2 撂荒前后土壤养分变化

土壤有机质是土壤非常重要的组成部分, 在土壤的形成和肥力发展过程中起着极其重要的作用, 自然植被条件下植物残体和根系分泌物是土壤有机质的主要来源. 耕地撂荒后, 无人收割, 植物残体归还到土壤中, 可以增加土壤中有有机质的比例, 但是, 紫色土区气候温暖湿润, 微生物活动强烈, 不利于有机质的积累, 因此撂荒后有机碳比例增加并不显著. 土壤中的氮素主要来源于生物固氮和氮沉降、施肥等, 耕地撂荒后不再向土壤中投入肥料, 然而撂荒 13 年后小区内土壤中的全氮比例增加了 61.5%, 一个很重要的原因可能是氮沉降的增加. 况福虹<sup>[18]</sup>的研究显示: 氮沉降量在四川盆地的增长非常迅速, 2009—2014 年该区域湿沉降平均增至 22.5 kg N/(hm<sup>2</sup>·a), 比起 2002—2004 年, 几乎翻了一倍. 磷在土壤中移动性小, 土壤中的磷素比例与母质有很大关系<sup>[14]</sup>. 撂荒后土壤中的全磷显著降低, 可能是由于相比在耕地, 撂荒后少了磷肥的投入, 一方面磷被植物吸收却不能及时得到补充, 另一方面磷随土壤流失流出土体. 土壤中的钾主

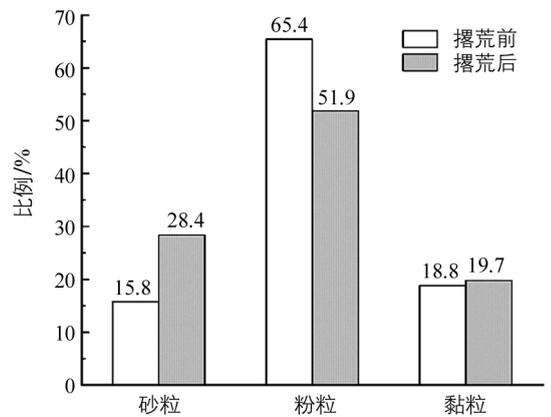


图 1 撂荒前后土壤颗粒组成变化

要来自成土母质及含钾矿物岩石的风化和分解<sup>[19]</sup>, 紫色母岩母质含钾丰富, 紫色土的全钾比例也比较高<sup>[20]</sup>, 虽然撂荒后不再施肥, 减少了钾肥的投入, 且湿热条件下钾易流失, 但由于紫色母岩快速风化成土的特性, 紫色土中的钾素很容易得到补充, 因此撂荒后土壤全钾比例变化不大。

土壤中的碱解氮、有效磷、速效钾是植物可以直接吸收利用或者容易被分解转化以供植物利用的氮磷钾素, 能很好地表征土壤的供肥能力。撂荒后土壤全氮比例增加 61.5%, 然而碱解氮增加并不显著, 可能是因为采样时正值植被生长旺盛的季节, 可利用的氮素被植物吸收较多, 从而在一定程度上减少了土壤中的碱解氮比例。紫色土中的有效磷比例很低, 常常成为提高作物产量的限制性因子<sup>[20]</sup>; 虽然紫色母岩成土快, 钾素比例多, 但含钾矿物通过风化直接转换成速效钾的比例却是极低的<sup>[20]</sup>。因此, 施肥对于提高土壤中有效磷和速效钾至关重要, 撂荒后有效磷和速效钾显著降低, 和施肥停止有很大关系。另外, 采样时茂盛生长的植被对养分的强烈吸收也是土壤中有效磷和速效钾降低的原因之一。

图 3 显示, 撂荒后, 土壤的碳氮比显著降低 ( $p < 0.05$ ), 由撂荒前的 13.88 变为撂荒后的 8.84, 降低 36.3%; 碳磷比极显著升高 ( $p < 0.01$ ), 撂荒前后分别为 12.02 和 14.79, 升高 23.0%; 氮磷比极显著升高 ( $p < 0.01$ ), 升高 89.8%, 并且比例由小于 1 变化至大于 1, 撂荒前后分别为 0.88 和 1.67。

土壤 C : N : P 可以反映土壤内部碳氮磷循环, 可以指示碳氮磷的矿化或者固持作用, 可作为养分限制和碳氮磷饱和诊断的指标<sup>[21]</sup>。一般来说, 土壤碳氮比越低, 分解速度越快, 元素周转速率越快; 磷的有效性由土壤有机质的分解速率确定, 较低的碳磷比是磷有效性高的一个指标; 氮磷比可以指示土壤养分的限制元素<sup>[21]</sup>。撂荒后, 土壤碳氮比降低, 说明土壤中微生物活性增强, 有机质分解加快, 这可能与撂荒后人类干扰少, 小区内逐渐恢复为良好的自然环境有关。碳磷比和氮磷比升高, 指示着撂荒过程中氮元素的积累及磷元素的缺乏, 随着撂荒的进行, 植被生长会受到磷元素的限制。

### 2.3 撂荒前后土壤肥力综合评价

#### 1) 确定评价因子及评价标准

选取有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾这 7 种养分作为评价因子, 根据全国第二次土壤普查养分分级标准(表 2)确定评价标准, 则: 撂荒前土壤各养分检测值组成集合  $U_1 = \{12.24, 0.52, 0.59, 19.45, 41.30, 5.28, 109.46\}$ ; 撂荒后土壤各养分检测值组成集合:  $U_2 = \{12.91, 0.85, 0.51, 20.20, 47.13, 2.04, 84.75\}$ 。集合  $U_1$  和  $U_2$  第 1 至 7 个元素依次为有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾的检测平均值。

表 2 全国第二次土壤普查养分分级标准

等级	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钾/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	碱解氮/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	有效磷/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	速效钾/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )
一级	$\geq 40$	$\geq 2$	$\geq 1$	$\geq 25$	$\geq 150$	$\geq 40$	$\geq 200$
二级	[30, 40)	[1.5, 2)	[0.8, 1)	[20, 25)	[120, 150)	[20, 40)	[150, 200)
三级	[20, 30)	[1, 1.5)	[0.6, 0.8)	[15, 20)	[90, 120)	[10, 20)	[100, 150)
四级	[10, 20)	[0.75, 1)	[0.4, 0.6)	[10, 15)	[60, 90)	[5, 10)	[50, 100)
五级	[6, 10)	[0.5, 0.75)	[0.2, 0.4)	[5, 10)	[30, 60)	[3, 5)	[30, 50)
六级	$< 6$	$< 0.5$	$< 0.2$	$< 5$	$< 30$	$< 3$	$< 30$

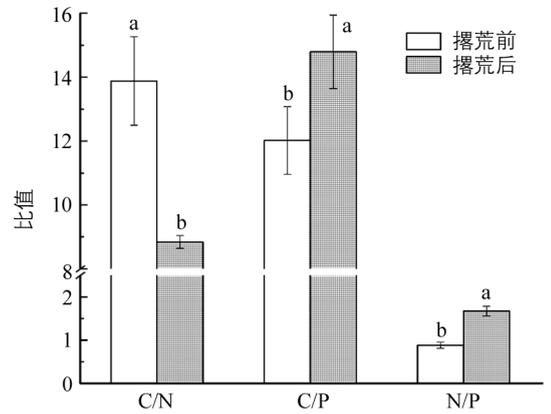


图 3 撂荒前后土壤化学计量比变化

评价标准集构成矩阵  $S$ :

$$S = \begin{bmatrix} 40 & 30 & 20 & 10 & 6 & 0 \\ 2 & 1.5 & 1 & 0.75 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 25 & 20 & 15 & 10 & 5 & 0 \\ 150 & 120 & 90 & 60 & 30 & 0 \\ 40 & 20 & 10 & 5 & 3 & 0 \\ 200 & 150 & 100 & 50 & 30 & 0 \end{bmatrix}$$

## 2) 建立模糊关系矩阵

根据公式(1)(2)(3), 可以得出  $U, V$  之间的模糊关系矩阵  $R$ , 即每一种评价因子对于每一等级的隶属度矩阵.

撂荒前:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.224 & 0.776 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.08 & 0.92 & 0 \\ 0 & 0 & 0.95 & 0.05 & 0 & 0 \\ 0 & 0.89 & 0.11 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.377 & 0.623 & 0 \\ 0 & 0 & 0.056 & 0.944 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1892 & 0.8108 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

撂荒后:

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.291 & 0.709 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.55 & 0.45 & 0 & 0 \\ 0.04 & 0.96 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.571 & 0.429 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.68 & 0.32 \\ 0 & 0 & 0.695 & 0.305 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

## 3) 确定各项评价因子的权重

利用主成分分析, 得到主成分的贡献率及每个评价因子对每个主成分的因子载荷, 以此计算出每个评价因子的权重, 如表 3 所示.

表 3 评价因子的主成分分析及权重计算

评价因子	因子载荷		权重
	PC1	PC2	
有机质	0.343	0.421	0.16
全氮	0.525	-0.083	0.14
全磷	-0.334	0.441	0.16
全钾	-0.098	-0.583	0.12
碱解氮	0.384	0.292	0.14
有效磷	-0.325	0.441	0.15
速效钾	-0.483	-0.042	0.13
贡献率	45.36	31.53	
累积贡献率	45.36	76.89	

4) 根据公式(4), 计算多指标综合评价矩阵.

撂荒前土壤养分的多指标综合评价矩阵为:

$$B_1 = W \cdot R_1 = [0 \quad 0.1314 \quad 0.3148 \quad 0.3377 \quad 0.2160 \quad 0]$$

撂荒后土壤养分的多指标综合评价矩阵为:

$$B_2 = W \cdot R_2 = [0.0048 \quad 0.1152 \quad 0.2809 \quad 0.3890 \quad 0.1621 \quad 0.0480]$$

5) 根据公式(5), 计算模糊综合指数  $FCI$ , 量化等级

根据表 2,  $G^T = (1, 2, 3, 4, 5, 6)$ , 因此:

撂荒前土壤养分综合指数为:

$$FCI_1 = B_1 \cdot G = 3.638$$

撂荒后土壤养分综合指数为:

$$FCI_2 = B_2 \cdot G = 3.732$$

$FCI$  代表各评价因子根据表 2 的评价标准所算出来的综合等级, 与表 2 的等级一样,  $FCI$  越小, 综合来看土壤的养分越好.  $FCI_1 < FCI_2$ , 说明撂荒前土壤养分的综合等级高于撂荒后, 即撂荒后整体来说土壤的肥力下降了, 但是下降得并不多, 还是处于同一等级区间, 都位于三、四级之间.

### 3 结 论

撂荒 13 年后, 紫色土坡耕地:

砂粒比例增加, 粉粒比例减少, 黏粒比例变化不大, 依据美国土壤质地分类, 撂荒前后的土壤质地均为粉壤土, 但撂荒后的土壤质地接近于壤土, 土壤有粗骨化的趋势.

土壤全氮比例显著增加, 有机碳、全钾、碱解氮比例略有增加, 但是变化并无统计学意义, 全磷、有效磷、速效钾比例显著降低. 用模糊数学法对土壤肥力进行综合评价, 结果显示撂荒后土壤肥力略有下降, 但变化不大.

土壤碳氮比显著升高, 或可指示有机质分解速率的加快, 碳磷比、氮磷比极显著降低, 均表明撂荒过程中氮元素的积累和磷元素的缺乏, 随着撂荒的进行, 磷会成为植被生长的限制元素.

### 4 讨 论

关于耕地撂荒的环境效应, 到底是更积极的还是更负面的, 一直有争论<sup>[3]</sup>. 本研究显示, 紫色土坡耕地撂荒 13 年后, 演替为荒草地, 同时生长有马桑等小型灌木. 撂荒后砂粒比例增加, 粉粒减少, 黏粒变化不大, 土壤有粗骨化的趋势, 这与廖超林等<sup>[22]</sup>的研究结果类似, 但是撂荒后土壤质地并没有发生改变. 撂荒后除土壤全氮比例以外, 其他养分比例并没有显著增加, 甚至部分养分特别是有效态养分比例显著降低, 这与梁楚涛<sup>[23]</sup>的研究结果相似, 因为都一直在耕地做对比; 与乔文静等<sup>[24]</sup>的研究结果不同, 这是因为他们的研究是选择已经撂荒的不同时间序列的撂荒地做对比, 这两种情况下肥料投入的影响是不同的, 而且紫色土区由于其温暖湿润的气候, 土壤中的养分本就容易流失. 撂荒后土壤碳氮比显著降低, 碳磷比、氮磷比极显著升高, 但是土壤全氮比例的变化太大, 从一定程度上削弱了碳氮比指示有机质分解速率的可靠性, 因为氮沉降对于土壤有机碳比例变化的影响是复杂的, 受生态系统类型、土壤有机碳组成、施氮类型和剂量等多种因素的影响<sup>[25]</sup>. 撂荒 13 年以来, 一直没有肥料投入, 采样时间又正是植被生长茂盛、对土壤养分吸收较多的季节, 但是综合来看土壤肥力变化却并不大, 因此我们认为撂荒是有利于土壤养分的固持与积累的.

关于撂荒对土壤的影响研究, 多数都是以空间代替时间的方式来对比<sup>[22-24]</sup>, 这种方法, 即使选择的地块立地条件相似, 也很难保证土壤理化背景一样, 可能会对分析结果产生影响, 而本研究是对比同一地块撂荒 13 年前后土壤理化性质的变化, 相比之下分析结果会更准确. 不过, 撂荒前测定的指标也限

制了能对比分析的指标种类,另外,撂荒13年过程中没有再采样,对于撂荒过程中土壤理化性质的动态变化难以掌握。

因为缺乏撂荒早些年的土壤养分数据,我们无法判断撂荒早期土壤养分是如何变化的。不过梁楚涛<sup>[23]</sup>对黄土丘陵区不同年限撂荒地的土壤养分研究显示,随着撂荒的进行,土壤碳氮磷均表现出先降低后升高的趋势,并均在撂荒17年左右达到最低值,土壤有机质直到撂荒演替20年才恢复升高。参考此研究结果,对于该撂荒地后续仍有必要进行观测、采样与测定,也可以再加测一些指标,有利于进一步判断紫色土坡耕地撂荒的环境效应随时间的变化情况。

#### 参考文献:

- [1] 史铁丑,李秀彬. 欧洲耕地撂荒研究及对我国的启示 [J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(3): 101-103.
- [2] 李娟娟. 川东平行岭谷区撂荒地空间分布特征及撂荒原因研究——以达州市6个乡镇为例 [D]. 重庆: 重庆师范大学, 2018.
- [3] 李升发,李秀彬. 耕地撂荒研究进展与展望 [J]. 地理学报, 2016, 71(3): 370-389.
- [4] 张学珍,赵彩杉,董金玮,等. 1992—2017年基于荟萃分析的中国耕地撂荒时空特征 [J]. 地理学报, 2019, 74(3): 411-420.
- [5] USTAOGLU E, COLLIER M J. Farmland Abandonment in Europe: an Overview of Drivers, Consequences, and Assessment of the Sustainability Implications [J]. Environmental Reviews, 2018, 26(4): 396-416.
- [6] MACDONALD D, CRABTREE J R, WIESINGER G, et al. Agricultural Abandonment in Mountain Areas of Europe: Environmental Consequences and Policy Response [J]. Journal of Environmental Management, 2000, 59(1): 47-69.
- [7] 李华丽,崔宁博,李晨,等. 川中丘陵区近60a主要气象因子变化趋势研究 [J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(12): 80-87.
- [8] 唐柄哲,何丙辉,闫建梅. 川中丘陵区土地利用方式对土壤理化性质影响的灰色关联分析 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1445-1452.
- [9] 罗怀良,张开,陈浩. 四川盆地边缘山地与川中丘陵区农村劳动力转移比较——以沐川县和安岳县为例 [J]. 中国农学通报, 2018, 34(6): 156-164.
- [10] 李兰,周忠浩,杜树汉,等. 紫色土成土速率的估算与田间测定 [J]. 土壤学报, 2010, 47(3): 393-400.
- [11] 杨小林,陈志超,朱波. 紫色土区小流域不同土地利用类型非点源氮迁移特征 [J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 71-75, 79.
- [12] 黄丽,张光远,丁树文,等. 侵蚀紫色土土壤颗粒流失的研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 13(1): 35-39, 85.
- [13] 郝燕芳,刘宝元,杨扬,等. 中国5种典型土壤的侵蚀泥沙粒径分布特征 [J]. 水土保持学报, 2018, 32(2): 150-159.
- [14] 李超,周正朝,朱冰冰,等. 黄土丘陵区不同撂荒年限土壤入渗及抗冲性研究 [J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 61-66.
- [15] 徐勤学,王天巍,李朝霞,等. 紫色土坡地壤中流特征 [J]. 水科学进展, 2010, 21(2): 229-234.
- [16] 王晶,赵文武,刘月,等. 植物功能性状对土壤保持的影响研究述评 [J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3355-3364.
- [17] 何毓蓉. 中国紫色土(下篇) [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 14.
- [18] 况福虹. 长江上游紫色土不同种植体系肥料氮去向及氮素平衡 [D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [19] 黄巧云. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 189, 197.
- [20] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土(上篇) [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 213-218.
- [21] 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.
- [22] 廖超林,傅灵芝,盛浩,等. 紫色丘陵区旱地撂荒自然恢复提高土壤蓄水性能 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 111-119.
- [23] 梁楚涛. 黄土丘陵区坡耕地撂荒过程中生态化学计量研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2017.
- [24] 乔文静,戴银月,张伟,等. 黄土丘陵区撂荒恢复过程中植物群落组成与土壤养分及酶活性变化的关系 [J]. 环境科

学, 2018, 39(12): 5687-5698.

- [25] 程淑兰, 方华军, 徐 梦, 等. 氮沉降增加情景下植物-土壤-微生物交互对自然生态系统土壤有机碳的调控研究进展[J]. 生态学报, 2018, 38(23): 8285-8295.

## Effects of Abandonment of Cultivated Land on Soil Particle Composition and Nutrients in Hilly Areas of Central Sichuan

DENG Li-mei<sup>1,2</sup>, LU Chuan-hao<sup>1,2</sup>, LIU Gang-cai<sup>1</sup>

1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** In order to understand the effects of abandonment of cultivated land on soil in hilly areas of central Sichuan, purple sloping lands in this area abandoned since 2005 were taken as the research object, and the changes of soil particle composition and nutrients before and after abandonment of 13 years (2005—2018) were compared. The results showed that the content of soil sand increased by 12.6%, the content of silt decreased by 13.6%, and the content of clay was little changed after abandonment. The contents of soil organic carbon, total potassium and alkaline hydrolytic nitrogen increased slightly after abandoning, but the change was non-significant statistically ( $p > 0.05$ ). The content of soil total nitrogen increased significantly (by 61.5%), while the contents of total phosphorus, available phosphorus and rapidly available potassium decreased significantly ( $p < 0.05$ ), by 14.0%, 61.4% and 22.6%, respectively. Soil C/N ratio decreased significantly (by 36.3%), while C/P ratio and N/P ratio increased highly significantly ( $p < 0.01$ ), by 23.1% and 89.0%, respectively. Based on the seven soil nutrients measured, the comprehensive evaluation of soil fertility before and after abandonment was carried out by using the method of fuzzy mathematics. The results showed that there was little difference in the comprehensive grade of soil fertility before and after abandonment.

**Key words:** abandonment of cultivated land; purple soil; soil particle composition; soil nutrient; comprehensive evaluation

责任编辑 包 颖