

县域尺度土壤有机质与土地利用动态耦合关系定位对比研究^①

——以渭北旱塬区长武县为例

刘 通^{1,2}, 梁 音^{1*}, 曹龙熹¹

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 以陕西省长武县为研究区域, 根据大规模采样数据, 结合 1983 年和 2008 年土地利用空间数据, 运用定位对比监测方法, 分析了 25 年来不同土地利用变化的幅度、空间分布特征和方向, 并对这种变化影响下的土壤有机质含量演化特征进行了研究。结果表明: 该区土地利用方式在这一时期变化显著, 旱地、草地、非农用地面积大幅减少, 林地、果园面积大幅增加。土地利用方式的转变已经成为土壤有机质含量变化的驱动因素, 其中, 旱地转变为林地和果园, 土壤有机质含量变化明显, 分别增加了 6.6 g/kg 和 5.11 g/kg, 而林地转变为旱地和草地则无明显增量。土壤有机质含量的变化不仅改变了土壤结构, 有效地控制了水土流失的发生, 而且为该区域的土地利用方式朝着健康的方向发展, 提供了参考价值。

关键词: 土壤有机质; 土地利用变化; 县域尺度; 渭北旱塬

中图分类号: S158.2

土壤有机质是土壤肥力的重要指标, 是大气 CO₂ 的潜在碳源和汇, 也是植物必须营养元素的主要来源。土壤有机质已经成为土壤学、环境化学和地球化学的研究热点之一^[1-4]。揭示土壤有机质的变化规律和了解其影响因素是实现土壤可持续利用、完善农业生产规划以及应对全球气候变化的前提条件。

土地利用作为人类利用土地进行各种活动的综合反映, 人类活动是其演变的重要驱动因素, 土地利用不仅引起许多自然因素和生态过程的变化, 而且对土壤肥力改变也产生了最普遍、最直接、最深刻的影响^[5-8], 如森林转化为草地和农田, 草地转化为森林以及退耕还林草等, 这些变化不仅直接影响土壤有机质的含量和分布, 还通过影响土壤有机质的形成、转化的因子而间接影响土壤有机质。已有土地利用变化对有机质含量影响的研究报道^[9-11], 仅局限于研究时间尺度上不同土地利用方式引起的有机质变化, 如郭旭东等^[12]发现不同利用方式下的有机质含量次序为水稻土>川地>梯田>坝地>荒草地>坡耕地>林地>灌木林地; Solmon 等^[13]发现和原始的林地相比, 农业土壤有机质有明显下降; 孔祥斌等^[14]发现北京边缘区 25 年有

机质含量随着荒草地向耕地的转换有普遍增加的特征。但上述研究并不能充分表达土壤有机质对区域土地利用变化的响应模式, 尤其在我国当前高强度人类活动作用下, 区域土地利用方式的复杂性和深刻性导致土壤有机质的演变特征更加难以描述。本研究以长武县为例, 采用实地调查和网格采样方法, 在 GIS 技术支持下, 对同一个坐标地点不同年份土地利用进行对比分析, 旨在揭示 25 年来全县土地利用类型方式转变后土壤有机质的变化规律, 为指导农业生产和土地可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区长武县位于陕西省西北部, 介于 34°59'09"~35°18'37"N, 107°38'49"~107°58'02"E。该区属于暖温带半湿润大陆性季风气候区, 年均气温 9.1℃, 年均降水量 584.1 mm 左右, 降水多集中在 7、8、9 月, 占全年降水量的 54.9%。降雨分布南塬多于北塬, 塬面多于河滩。地质地貌复杂, 沟坡塬滩兼有, 整个地势由西向东倾斜, 境内有泾、黑、南三条河流, 将全

^①基金项目: 国家自然科学基金项目(40971163)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-02)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-438)和国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407206)资助。

* 通讯作者(yiliang@issas.ac.cn)

作者简介: 刘通(1985—), 男, 山东文登人, 硕士研究生, 主要从事水土流失评价方面的研究。E-mail: Tliu1985@yahoo.cn

县切割为巨路塬、枣元塬、长武塬三部分。全县总土地面积 568.85 km², 其中旱地为 114.64 km², 占全县总面积的 20%。该区土地利用类型可以分为 7 类, 即旱地、林地、果园、草地、水域、建筑用地和未利用土地, 土壤类型可以分为黄土性土、黑垆土、红土、潮土、河淤土 5 类。

1.2 数据来源、采样与分析方法

1.2.1 数据来源 土地利用包括 1983 年和 2008 年两个时期数据, 1983 年的矢量空间数据是通过收集第二次土壤普查时期纸质 1:5 万土地利用图, 经过扫描及数字化编辑后得到。2008 年的 1:5 万土地利用图是基于 19.5 m 分辨率 CBERS 遥感影像, 结合野外调查, 经过人机交互解译而成的。1983 年土壤有机质数据通过第二次土壤普查资料获得, 2008 年在第二次土壤普查采样点基础上, 对点位比较集中的塬面进行加密布点, 以网格布点为主, 设计样点 500 个, 其中加密布点 220 个, 其他网格或近似网格布点 280 个。

1.2.2 采样与分析方法 根据土壤类型、土地利用现状、地形位置及粮食作物的分布情况, 在二次土壤普查采样点基础上, 长武县共布点 500 个, 所布采样点涵盖了该县每个土种, 且包含了旱地、林地、园地、荒地、草地等主要的土地利用类型。由于本研究过程中通过调查和走访, 确定了 100 个测产田块, 所以对于长武县的旱地采样, 可直接在所选田块内进行 5 点混合采样。而其他土地利用类型采样, 则在尽可能靠近采样点的周围进行 5 点混合采样。一些难以到达的设计采样点允许挪动, 但应尽量要求保证土地利用类型一致。因此, 实际采样时采取以设计点为依据, 尽量找到靠近该点的田块, 然后在田块间进行 GPS 定位, 获得实际采样点坐标, 回到室内后应用 ArcGIS 软件进行投影转换, 输出.shp 文件, 从而获得 2008 年的土壤采样点位图 (图 1)。

土壤样品经风干, 去杂, 带回实验室。有机质含量用重铬酸钾方法测定, 由于获得的数据中难免会出现与观测值的算数平均值或中位数偏离很多的特异值, 影响观测值的准确性, 因此本文采用域法识别的方法将其去除, 即样本平均值 $\bar{a}$ 加减 3 倍标准差 $s^{[15]}$, 以保证获得的数据服从正态分布。描述性统计值采用 SPSS13 进行。基于两个年度的土地利用数据, 应用 GIS 软件平台 ARC/INFO9.0 进行空间叠置分析, 提取和统计土地类型相互转化的空间矢量数据, 构建区域土地利用转移矩阵。

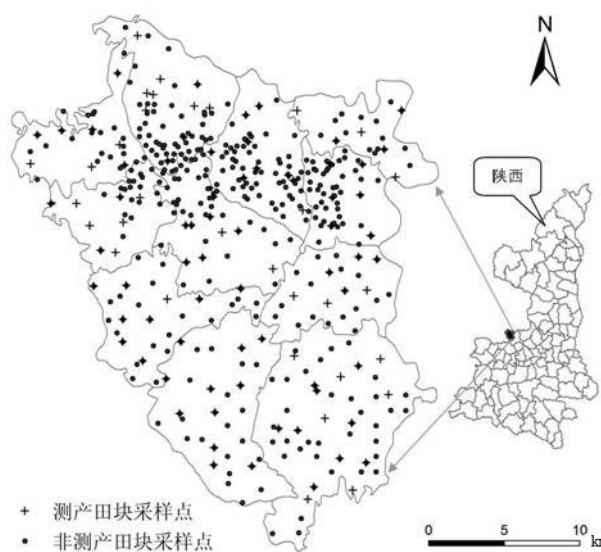


图1 长武县土壤样点分布图

Fig. 1 Soil sampling sites in Changwu County

2 结果与分析

2.1 土壤有机质含量的统计特征

1983 年、2008 年两个时期的土壤有机质实测平均值为 9.72 和 13.45 g/kg, 分别属于低等、中下肥力水平 (低等水平: 6~10 g/kg; 中下水平 10~20 g/kg^[16]), 经过特异值检验并替代后, 两年的数据偏度和峰度有所减少, 尤其是 2008 年的数据, 峰度为左偏尖峰态。正态分布检验采用单样本 K-S 法检验方法, 置信度为 95%, 从表 1 的 K-S 检验值来看, 对应的相伴的概率为 0.105、0.038, 只有 1983 年检验大于显著性水平 0.05, 将 2008 年数据经平方根转换后, 两个年度均通过正态分布的 K-S 检验。

2.2 不同时期土地利用变化模式

不同发展阶段土地利用类型变化显著, 将两个时期土地利用现状图进行叠加, 获得土地利用动态变化矩阵, 用来反映土地利用类型转变的程度及方向。从图 2 和表 2 中可以看出, 这一时期, 各种土地利用类型发生了明显变化。1983 年土地类型以旱地、林地、草地为主, 三类用地面积合计占总面积的 79.41%。2008 年土地结构发生改变, 主要以旱地、林地、果园为主, 除林地和果园有所增加外, 其余类型都有所减少; 其中, 旱地面积比例由 50.65% 下降到 26.4%, 林地面积比例由 20.49% 上升到 39.24%, 果园由 3.21% 上升到 25.16%, 果园增幅最大, 25 年来共增加 124.84 km²。

表 1 两个时期土壤有机质的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of soil organic matter contents in two periods

数据类型	样本数	平均值 (g/kg)	标准差 (g/kg)	最小值 (g/kg)	最大值 (g/kg)	偏度	峰度	K-S 检验	取平方根后 K-S
1983 年实测值	463	9.72	2.38	1.01	20.2	0.265	2.25	—	—
2008 年实测值	499	13.45	3.07	4.53	35.61	1.538	8.15	—	—
1983 年除特异值后数据	463	9.71	2.3	2.57	16.88	0.032	1.15	0.105	0.105
2008 年除特异值后数据	499	13.38	2.78	4.53	22.64	0.487	1.52	0.038	0.215

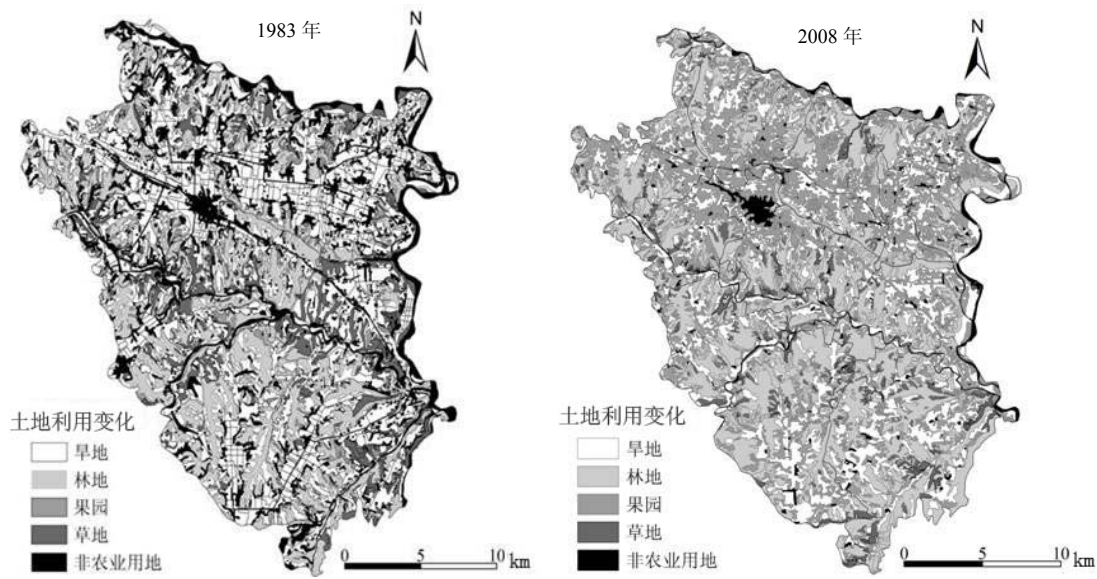


图 2 长武县 2 个时期土地利用现状图

Fig. 2 Land use types in two periods in Changwu County

表 2 1983 年和 2008 年各种土地利用类型面积

Table 2 Area changes of different land use types from 1983 to 2008

土地利用类型	1983 年		2008 年	
	面积 (km ²)	比例 (%)	面积 (km ²)	比例 (%)
旱地	288.11	50.65	150.2	26.40
林地	116.58	20.49	223.19	39.24
果园	18.27	3.21	143.11	25.16
草地	47.04	8.27	29.26	5.14
水域	21.46	3.77	11.41	2.01
非农业用地	77.39	13.60	11.68	2.05

1983—2008 年长武县土地利用变化(表 3)表现出以下特点:①土地利用动态变化显著。25 年间土地利用方式发生变化的总面积为 366.81 km², 占全县总面积的 64.48%。②土地利用类型间存在显著转换, 如旱地转变为其他 4 种土地利用类型的面积为 184.26

km², 而其他 4 类型转换成旱地的面积为 46.35 km², 旱地面积减少了 137.91 km²。果园则是面积增加最明显的类型, 由其他类型转为果园的面积达到 140.43 km²。③从土地利用转变的方向来看, 旱地减少的去向主要是林地和果园, 分别占转换比例的 42.01% 和 47.69%。草地面积减少的去向主要是林地, 占转换比例的 73.41%, 其次是向旱地转化。林地增加的主要来源是旱地、草地、非农业用地, 减少的去向是旱地和果园。果园面积增加主要来源是旱地和非农业用地, 减少的去向为林地和旱地。可见, 旱地、林地和果园之间的转化程度高而且复杂。

2.3 土地利用变化对有机质含量影响

根据 1983—2008 年的土地利用变化转变图, 挑选出土地利用发生变化的图斑 10 646 个, 将落在同一块图斑上两年的采样点进行统计分析, 观察有机质含量变化情况。

表 3 1983—2008 年长武县土地利用转移矩阵 (km²)

Table 3 Transition matrix of land use types in Changwu County from 1983 to 2008

		2008 年				
		旱地	林地	果园	草地	非农业用地
1983 年	旱地	103.85	77.40	87.88	11.00	7.98
	林地	14.52	78.86	13.82	8.23	1.15
	果园	3.18	10.64	2.68	1.60	0.17
	草地	6.80	29.54	5.74	3.91	1.05
	非农业用地	21.85	26.75	32.99	4.52	12.74

2.3.1 旱地转化为其他类型 旱地主要发生 3 种类型转变, 转变后有机质含量明显升高, 但变化程度有显著差别, 如表 4 所示, 与 1983 年含量相比, 旱地转变成果园后, 有机质增加幅度最高, 达到 6.6 g/kg; 转变成草地后, 有机质含量相比变化不明显, 仅增加 2.49 g/kg; 转变成林地后, 有机质含量增加 5.11 g/kg, 介于两者之间。

旱地上的人为干扰与土壤侵蚀都比较严重, 表层没有残茬积累, 再加上耕作影响, 使得有机质分解速度快^[17]; 旱地转变为果园后, 虽然也有耕作和收获, 但翻耕次数减少, 有机质分解减弱, 同时使用有机肥和化肥量较大, 随着果树的成长, 地表覆盖度高, 枯枝落叶回归土壤较多, 而且有的果园采取了间作措施, 有利于有机质积累; 旱地转变为林地后, 人为干扰和土壤侵蚀程度都明显减弱, 土壤表层有多年积累的大量枯枝落叶物, 腐殖化作用明显, 所以土壤有机质含量比较高^[17]。旱地转变成草地后, 有机质略有增加, 这是因为随着退耕还草和退牧还草政策, 草地得到了恢复, 有机质矿化分解作用下降, 但由于没有施肥管理, 自然状态下草地有机质含量提高较慢。

表 4 旱地转变成其他类型后土壤有机质的变化

Table 4 Changes of soil organic matter contents after dryland converted

土地利用变化	有机质 (g/kg)		变化值 (g/kg)	变化幅度 (%)	面积 (km ²)
	1983	2008			
旱地变为林地	8.08	13.19	5.11	63.24	77.40
旱地变为果园	8.45	15.05	6.60	78.11	87.88
旱地变为草地	9.47	11.96	2.49	26.29	11.00
未转变的旱地	9.78	13.00	3.22	32.92	103.85

2.3.2 林地转化为其他类型 从表 5 中可以看出, 有机质增加最高的是未发生转变的林地, 增量达到 3.85 g/kg; 林地转变成旱地和草地后, 有机质含量变化并不明显, 分别增加了 1.37 g/kg 和 1.66 g/kg; 而转

变成果园后, 增加了 3 g/kg。

林地转变成旱地和草地后, 随着地表覆盖物的清除, 以及作物根茎等都被带走, 进入土壤中的枯枝落叶等植物残体的数量急剧减少, 但由于这部分林地土壤本底的性质好, 随着肥料的不断投入, 有机质还是略有增加。林地土壤本身地面植被覆盖和生物含量相对较高, 有机质积累多分解少, 尽管转变成果园之后施肥量增加, 但同时增加了人为扰动和土壤侵蚀, 减少了地表覆盖物, 使得 2008 年有机质含量表现为林地略高于果园。

表 5 林地转变成其他类型后土壤有机质的变化

Table 5 Changes of soil organic matters contents after forest land converted

土地利用变化	有机质(g/kg)		变化值 (g/kg)	变化幅度 (%)	面积 (km ²)
	1983	2008			
林地变为旱地	10.14	11.51	1.37	13.51%	14.52
林地变为草地	8.42	10.08	1.66	19.71%	8.23
林地变为果园	9.44	12.44	3.00	31.78%	13.82
未转变的林地	9.48	13.33	3.85	40.61%	78.86

2.3.3 果园转化为其他类型 果园利用方式转变后, 有机质含量变化明显, 总体呈现上升趋势。其中, 转变成草地, 有机质增加了 2.49 g/kg; 未发生转变的果园, 有机质增加了 2.97 g/kg; 转变成旱地和林地, 有机质分别增加了 4.6 g/kg 和 4.22 g/kg。

长武县栽培果树历史悠久, 当地果农已经有一定的栽培技术和习惯, 但管理粗放。自 20 世纪 80 年代初, 人们已经开始重视对果园有机肥的施用, 大力提倡开沟压入麦草、玉米秸秆、青草等施肥保肥方式, 所以在 1983 年各种土地利用方式下, 果园土壤有机质含量是最高的^[18]。当果园转变成旱地时, 虽然有翻耕等人为扰动, 但由于化肥和秸秆结合使用, 提高了有机质的微形态和品质, 使得有机质还是有明显提高。当转变成林地后, 由于人为干扰减少, 土地得到了长

时间的恢复,而且林地的枯枝落叶为有机质提高提供了来源,所以有机质含量在这种转变下也有明显提高。

表 6 果园转变成其他类型后土壤有机质的变化

Table 6 Changes of soil organic matter contents after orchard converted

土地利用变化	有机质 (g/kg)		变化值 (g/kg)	变化幅度 (%)	面积 (km ²)
	1983	2008			
果园变旱地	10.89	15.49	4.60	42.24	3.18
果园变草地	10.78	13.27	2.49	23.10%	1.60
果园变林地	10.90	15.12	4.22	38.72%	10.64
未转变的果园	10.73	13.70	2.97	27.68%	2.68

2.3.4 草地转化为其他类型 从表 7 中可以看出,未转变的草地有机质增加最少,仅为 2.45 g/kg;草地转变为旱地后,有机质增加了 2.87 g/kg,增幅为 33.45%;转变为林地后,有机质含量增加了 4.17 g/kg,增幅达到 40.64%;转变为果园后,有机质含量增加了 3.54 g/kg,增幅为 31.75%。

2008 年变成旱地的草地,在 1983 年时有机质含量不高,变成旱地后有机质提高也不大。从地形部位上看,这些草地主要位于坡度不大的沟坡上,经过开垦后农民投入肥料并加强管理,有机质含量略有提高。转变为林地和果园的草地自身有机质含量较高,在良好的保护和种植树木的条件下,土壤表层含有丰富的植物凋落物残体,且植物残体在分解过程中通过多种生化反应形成结构各异的有机物质,大量的土壤动物和微生物的遗体及排泄物也使土壤中有有机质不断积累,为有机质的提高提供了物质基础。同时树木下的草地人为扰动减少,有机质的降解速度减慢,加之自身改善土壤物理性质的作用,使土壤具有良好的团粒结构,土壤的“凝聚力”增强,提高了土壤的抗蚀性。以上这些,成为林地和果园有机质提高的重要因素。

表 7 草地转变成其他类型后土壤有机质的变化规律

Table 7 Changes of soil organic matter contents after grassland converted

土地利用变化	有机质 (g/kg)		变化值 (g/kg)	变化幅度 (%)	面积 (km ²)
	1983	2008			
草地变旱地	8.58	11.45	2.87	33.45%	6.80
草地变林地	10.26	14.43	4.17	40.64%	29.54
草地变果园	11.15	14.69	3.54	31.75%	5.74
未转变的草地	9.83	12.28	2.45	24.92%	3.91

3 结论

(1) 长武县 25 年来土地利用方式发生了明显变

化,土地利用类型之间存在相互转化。其中旱地与其他土地类型之间转化最广泛,草地和非农用地呈减少趋势,旱地减少、林地和果园面积增加是这一时期土地利用变化的主要表现形式。说明当地退耕还林政策已经取得了一定成果,而且在经济利益驱动下,果业已经成为当地土地利用效益的主导产业。

(2) 有机质含量普遍增加,但不同土地利用类型之间略有差异。旱地转变为果园和林地后,有机质增量明显。林地转变为其他利用类型有机质增加并不明显。果园转变成旱地后,有机质增量最大。草地转化后有机质增长的顺序依次为:林地>果园>旱地>未利用草地。

(3) 从以上有机质变化趋势可以看出,土地利用应朝着保护旱地和林地面积,挖掘旱地潜力,合理开发果园,控制非农用地占用农用地,提高土地集约利用水平和效益的方向发展。

(4) 基于大规模土壤野外采样和室内化验分析获得的数据,运用定位监测对比方法对渭北旱塬长武地区有机质含量演变进行分析,为县域尺度下土壤有机质与土地利用动态耦合关系的研究提供了一种新的模式,对正确认识影响土壤有机质的主导因素和促进农业的可持续发展有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 祝锦霞,许红卫,王珂,陈祝炉.基于 GIS 和地统计学的低丘陵红壤地区三种土壤性质空间变异性研究.土壤,2008,40(6): 960-965
- [2] Fang JY, Chen AP, Peng CH, Zhao SQ, Ci LJ. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. Science, 2001, 292: 2 320-2 322
- [3] 李文芳,杨世俊,文池夫.土壤有机质环境效应.环境科学动态,2004(4): 31-33
- [4] 杨松,罗来君.两种种植方式下在秸秆还田条件下土壤有机质含量的变化规律.江苏农业科学,2000(2): 54-55
- [5] Turner BL, Meyer WB. Global land use and land cover change : an overview // William M, Turner II BL. Changes in Land use and Land Cover: A Global Perspective. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 1-11
- [6] Islam KR, Weil RR. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 79: 9-16
- [7] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶.低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响:以河北省遵化市为例.地理学报,2001,56(4): 447-456

- [8] Parton WJ, Schmel DS, Cole CV. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Science Society of American Journal*, 1987, 51: 1 173-1 179
- [9] 董莉丽, 郑粉莉. 土地利用类型对土壤微生物量和有机质的影响. *水土保持通报*, 2009, 29(6): 10-15
- [10] 王洪杰, 史学正, 李宪文, 于东升, 孙维侠, 曹志洪. 小流域尺度土壤养分的空间分布特征及其与土地利用的关系. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 15-18
- [11] 孔祥斌, 张凤荣, 齐伟, 徐艳. 集约化农区土地利用变化对土壤养分的影响——以河北省曲周县为例. *地理学报*, 2003, 58(3): 333-342
- [12] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 虎陈霞. 黄土丘陵沟壑区县域土壤有机质空间分布特征及预测. *地理科学进展*, 2006, 25(2): 112-121
- [13] Solomon D, Lahmann J, Zech W. Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semi-arid northern Tanzania: Carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 78: 203-213
- [14] 秦静, 孔祥斌, 姜广辉, 刘怡, 李翠珍. 北京典型边缘区 25 年来土壤有机质时空变异特征. *农业工程学报*, 2008, 24(3): 124-129
- [15] 史丹, 李艳. 地统计学在土壤学中的应用. 北京: 中国农业出版社, 2006
- [16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [17] 邱杨, 傅百杰, 陈利顶. 黄土高原小流域土壤养分时空变异及其影响因子. *自然科学进展*, 2004, 14(3): 294-299
- [18] 王留好, 同延安, 刘剑. 陕西渭北地区苹果园土壤有机质现状评价. *干旱地区农业研究*. 2007, 25(6): 189-192

Localization Comparison on Dynamic Coupling Relationship Between Land Use Change and Soil Organic Matter at County Scale

—— A Case of Changwu County in Weihe Arid Plateau Region

LIU Tong^{1,2}, LIANG Yin¹, CAO Long-xi¹

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Taking Changwu County in Shanxi Province as the study area, based on the land use spatial data between 1983 to 2008, the land use change range, transfer direction and spatial distribution characteristics which led to the evolution regularity of soil organic matter content were analyzed by using GIS spatial analytical method. The results showed that land use dynamic change in this period was remarkable, the areas of dry land, grass land and waste land decreased largely, but the areas of forest land and orchard increased greatly. Meanwhile, the transformation of land use change which resulted in the increase of soil organic matter at different degrees had become the driving force of soil organic matter content variation. Soil organic matter content increased respectively 6.6g/kg and 5.11g/kg after conversion from dry land to forest land and orchard, but the increment did not vary obviously after forest land was converted to dry land and grass land. The variation of soil organic matter content not only improved soil structure but also controlled the loss of water and soil, which provided the valuable information to guide land use change toward a proper direction

Key words: Soil organic matter, Land use change, County scale, Weihe Arid Plateau Region