

三峡库区典型坡改梯地土壤肥力质量评价*

——以重庆市巫山县为例

李培霞, 陈国建, 韦杰

(重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047)

摘要:以三峡库区重庆市巫山县典型坡改梯地为例,经过土样采集、实验分析、数据处理等方法,从土地利用方式、坡改梯年限两方面对研究区土壤养分特征及肥力质量进行了分析,结论如下:研究区的土壤有机质及养分含量整体处于中下级水平;有机质和养分全量在土壤中比较稳定,速效养分的变异程度较大。除了全钾以外,其余各项评价指标均与有机质呈显著的正相关关系($p < 0.05$);不同土地利用方式的肥力质量综合评价从高到低依次排列为:荒地、菜地、林地、粮田、果园;随着坡改梯时间的增加,土壤肥力质量整体上呈上升趋势,但不呈现明显的规律性。研究认为当地土壤肥力的数量化综合评价研究起步较晚,还需要进一步改进和完善。

关键词:坡改梯;土地利用方式;土壤养分;土壤肥力评价;重庆市巫山县

中图分类号:X825;S158.2

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2013)06-0055-08

土地不仅是某种物质或独立的自然历史体,同时也是一个具有净化功能和自动调节功能的生命体,对人类生存环境及全球变化有深刻影响^[1]。土壤是人类赖以生存的物质基础,土壤质量与水和空气的质量一样,会对生物与人的健康以及生物生产能力产生强烈的影响,因而愈来愈成为现代土壤学研究的核心。土壤肥力质量作为土壤的基本属性及本质特征,是土壤质量的重要组成部分,是土壤从营养条件环境条件方面供应和协调作物生长的能力^[2]。中国是水土流失最为严重的国家之一,水土流失已成为经济社会可持续发展和构建和谐社会的制约因素。坡改梯是三峡库区极具代表性的防治水土流失的工程措施,但这种措施实施后产生的效果尚需进行定性与定量描述,才能为下一步科学合理地开展水土保持工作提供依据。

通过已有文献可看出,坡改梯的研究在国内开展较多,而在国外则相对很少;针对坡改梯的研究主要集中在坡改梯的分类与设计、蓄水保土效益和水环境效应等方面^[3-7],对坡改梯的土壤肥力质量确切评估的研究很少。本研究选取重庆市巫山县典型坡改梯地为研究对象,通过科学的样品采集、实验分析、软件数据处理及数学方法评估等对研究区坡改梯的土壤肥力质量进行综合评价。由于资料有限,研究时间较短,本研究将土壤养分含量特征作为评价土壤肥力质量的标准,评价结果可为当地水土保持工作提供理论依据,也可为相关研究提供一定参考。

1 材料及方法

1.1 研究区概况

重庆市巫山县位于三峡库区腹心,有“渝东大门”之称。长江自西向东横贯全境,将全县分为南北两部分。县境内山峦起伏,沟谷江河纵横密布,地表侵蚀强烈。巫山县属亚热带季风性湿润气候区,境内高差悬殊,构成了显著的立体气候特征。本研究的研究区选为重庆市巫山县龙井乡、官渡镇、曲尺乡等地的典型坡改梯地,地理位置为 $109^{\circ}46'11''E \sim 109^{\circ}55'56''E, 30^{\circ}59'14''N \sim 31^{\circ}06'25''N$ 。研究区土壤为黄壤;地貌类型为剥蚀侵蚀低山,采样海拔高度在600~1100 m;多年平均降雨量在1100 mm以上,降雨量在季节分配上很不均匀,雨量主要集中在5~10月份,且多以大雨形式出现,强大的降雨侵蚀力导致当地土壤侵蚀严重;土壤侵蚀方式以面蚀和沟蚀为

* 收稿日期:2013-05-03 修回日期:2013-07-01 网络出版时间:2013-11-20 14:46

资助项目:国家自然科学基金(No. 41001168);国家科技支撑计划(No. 2011BAD31B03);重庆市自然科学基金(No. CSTC2010BB0326)

作者简介:李培霞,女,硕士研究生,研究方向为水土保持与荒漠化治理,E-mail:lipeixia666@163.com;通讯作者:陈国建,E-mail:chengji@126.com

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20131120.1446.201306.55_038.html

主,属南方典型丘陵侵蚀区。

1.2 土样采集及预处理

2012年7月进行土壤样品采集。从巫山县坡改梯中选取了较有代表性的5处采样点,分别为曲尺乡龙洞村、巫峡镇龙山村、龙井乡龙井村、龙井乡七星村和官渡镇水库村;选取的采样区坡改梯时间为5个时间点,分别为20世纪70年代(即“农业学大寨”时期)、1992年、1998年、2003年和2010年。选取的土地利用方式包括粮田(耕地类中的旱地)、菜地(耕地类中的水浇地)、林地(灌木和松树)、果园(园地)、荒地(撂荒地及其他,主要为自然生成的荒草地)。

根据布点要有广泛的代表性兼顾均匀性的原则进行采样,采样从山顶开始,向下依次进行采样,每层梯田选取1~2种作物类型,采用“S”法进行采样,将3个重复样品充分混合后,各留取约0.5 kg作为样品,装入对应编号样品袋中;并详细记录样品编号、土壤类型、作物种类、坡位等信息以备。土样采集后带回实验室,剔除明显的石子、根茎等杂物,铺开置于实验室阴凉处自然风干,待土样全部风干后先用木棒在托盘里将土样磨碎,用四分法取土样放入碾钵内碾磨,使其土样通过0.25 mm筛,并将1 mm与0.25 mm研磨土样分别倒入对应样品袋中保存,放置待用。基础资料收集完成后,对记录数据及其他资料,根据计量单位统一、来源可靠、无显著异常、无明显不符合实际等原则等进行严格核实、筛选,以确保资料的真实可靠性。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤养分的测定方法 选取的6项土壤养分指标的测定方法参照文献[8]中的相关方法,具体测定方法名称如表1所示。

表1 土壤分析项目及测定方法

Tab. 1 The test methods of the soil index

分析项目	测定方法
有机质	电砂浴重铬酸钾法
全氮	半微量开氏法
全磷	NaOH熔融-钼锑抗比色法
全钾	NaOH熔融-原子吸收分光光度法
速效磷	硫酸钼锑浸提比色法
速效钾	中性NH ₄ OAC浸提-原子吸收分光光度法

1.3.2 土壤肥力质量的评价方法 土壤肥力质量综合评价的方法较多,不同的研究所选评价指标各异。本研究选取与土壤肥力质量直接有关的土壤基础肥力性质作为评价指标,包括有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾六项指标。土壤肥力质量的综合评价一般分为3个步骤,评价指标隶属度的计算、权重系数的确定和综合评价模型的建立。

1) 评价指标隶属度的计算。由于土壤因子变化具有连续性质,故各评价指标采用连续性质的隶属度函数,并从主成分因子负荷量值的正负性确定隶属度函数分布的升降性。土

壤各项养分因子采用升型分布函数计算^[9-10],为

$$F_i = (x_i - x_{i\min}) / (x_{i\max} - x_{i\min}) \quad (1)$$

式中, F_i 为各肥力因子的隶属度值; x_i 为各因子肥力值; $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$ 分别为第*i*项肥力因子中的最大值和最小值。

2) 评价指标权重的计算。基于土壤属性本身内在的关系,利用因子分析法得到的各土壤评价指标的公因子方差,通过计算各个公因子方差占公因子方差总和的百分数,将权重值转换为0~1.0的数值^[11-12],具体公式为

$$W_i = K_i / \sum_{i=1}^n (K_i) \quad (2)$$

式中, W_i 为土壤各因子指标权重, K_i 为各评价指标因子分析的公因子方差。

3) 土壤肥力综合评价指数的计算。采用模糊数学中的模糊集的加权综合法和加乘法则建立综合肥力指数评价模型IFI(Integrated fertility index)^[13]及权重加权求和指数FQI(Fertility quality indices)模型^[14-15],两种方法的数学表达式如下

$$FQI = \sum_{i=1}^n W_i \times F_i \quad (3)$$

$$IFI = \prod_{i=1}^n (F_i)^{W_i} \quad (4)$$

(3)、(4)两式中, W_i 为各评价指标的权重系数, F_i 为各评价指标的隶属度值, n 为评价指标的个数。

4) 不同坡改梯年限土壤的土壤肥力指数(PI)。PI的计算参考土壤退化指数公式^[16-17],即用土壤肥力相对年限指数定量比较不同年限的土壤肥力质量,计算公式如下

$$PI = \left(\sum_{i=1}^n [(x_i - x'_i) / x'_i] \right) / n \times 100\% \quad (5)$$

式中, x_i 为土壤肥力指标的含量, x'_i 为相对的这些指标在坡耕地的含量, n 为土壤肥力指标的个数。

2 结果与分析

2.1 土壤养分的描述性特征

2.1.1 土壤养分的描述性统计分析 经过室内实验室分析,得到土壤肥力6项养分指标即有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾的实测数据,利用统计软件 SPSS 17.0 对土壤养分各指标的实测数据进行统计分析,结果见表2。从表2中可以看出,研究区的有机质、全磷、速效磷的均值都未超过全国土壤养分分级4级标准,全氮、速效钾的均值也未超过全国土壤养分分级3级标准;从均值和中值综合来看,有机质和全量养分相差不大,说明样本数值受特异值影响较小,均值的代表性较强,而速效磷、速效钾均值和中值差异较大,说明样本数值在一定程度上受到了特异值的干扰。常用变异系数 CV 值从整体上来衡量测定值的变异程度^[18],研究区内不同土壤养分的变异情况不同,整体看来,有机质和养分全量的变异系数范围较小,说明养分全量在土壤中比较稳定,速效养分变异程度较大,与影响速效养分的因素(如施肥和耕作)较多、速效养分又较易流失有关。

表2 土壤养分的描述性统计

Tab. 2 Descriptive statistics of soil nutrients

	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
均值	1.681	0.113	0.061	2.272	6.072	137.430
中值	1.722	0.118	0.063	2.129	6.649	122.669
最小值	0.628	0.035	0.019	1.093	0.185	54.462
最大值	2.981	0.173	0.112	3.791	28.929	453.775
标准差	0.471	0.022	0.011	0.491	3.235	57.562
变异系数	0.29	0.22	0.26	0.21	0.68	0.42

2.1.2 土壤养分的相关性分析 表3为对所测定的6项养分指标进行了相关分析。由表中可知,除了全钾以外,其余各项评价指标如全氮、全磷、速效磷、速效钾均与有机质呈显著的正相关关系($p < 0.05$)。这说明土壤各养分因子含量的提高与有机质含量密切相关。

有机质与氮、磷的相关性易于理解,因为它是氮、磷的重要来源。土壤氮的90%以上为有机状态,土壤有机质含氮量在6%~8%,土壤表层中大约80%~97%的氮存在于有机质之中;因此土壤有机质与全氮的消长常常是一致的。同时,在相同母质(含磷)条件下,土壤全磷往往随有机质积累而增加。相对而言,有机质与钾的关系则存在争议。本研究中,土壤全钾与有机质之间呈负相关关系,魏孝荣等人^[19]提出,有机质的钾含量一般大大低于矿物质,土壤有机质积累势必对矿物钾产生“稀释效应”,导致土壤全钾量的降低。但另有研究认为,土壤全钾与有机质的相关性只在富含有机质的土壤中才有明显的表现^[20]。有机质与速效养分之间也存在相关性,有机质分解的产物能增加土壤溶液的酸度,对某些固定磷的化合物具有一定的溶解力,并能削弱粘土矿物对钾的固定作用,从而提高了土壤中固定态磷、钾的有效性。各土壤养分之间的相关性说明它们存在消长协调性,可以共同用于评价土壤肥力质量。

表3 土壤养分的相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of soil nutrients

土壤养分	有机质	全氮	速效磷	速效钾	全磷
全氮	0.929**				
速效磷	0.294*	0.357**			
速效钾	0.376**	0.438**	0.345**		
全磷	0.449**	0.452**	0.618**	0.273*	
全钾	-0.136	-0.088	-0.117	0.399**	-0.265*

注: * 表示显著相关($p < 0.05$), ** 表示极显著相关($p < 0.01$)

2.2 不同土地利用方式的土壤肥力质量评价

土地利用方式是影响土壤质量的最主要因素,是许多环境因素的综合反映。对各种生态环境要素有着重要的影响,它的变化可以引起许多土壤过程如侵蚀、氧化和矿化等的变化,进而影响土壤养分,使土壤养分重新分配^[21]。

2.2.1 不同土地利用方式的土壤养分分布 本研究土地利用方式划分参照土地利用现状分类^[22]和实际情况,共分为5种:粮田、菜地、林地、果园、荒地。为了保证研究的准确性,尽量减少其他变量的影响,选取20世纪70年代的坡改梯地作为样地进行研究。表4为随土地利用方式变化土壤有机质及各养分指标的对比。

表 4 不同土地利用方式的土壤养分统计

Tab. 4 Descriptive statistics of soil nutrients under different land use type

土地利用方式	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
粮田	1.634	0.107	0.063	2.432	7.160	141.263
菜地	1.657	0.113	0.058	2.045	6.173	137.743
林地	1.746	0.112	0.061	2.509	2.833	132.783
果园	1.498	0.099	0.062	2.195	3.356	123.181
荒地	1.998	0.128	0.067	2.024	3.977	153.987

由表 4 可知,土地利用方式不同,则地表覆盖及人为干扰程度也会存在差异,直接影响土壤养分的输入输出,进而影响到土壤的养分贮量和养分有效性等肥力状况,具体表现如下。

1) 土壤有机质的分布。按有机质含量平均值由高到低的顺序排列不同土地利用方式,为荒地、林地、菜地、粮田、果园。撂荒地和林地在林草地环境条件下,人为干扰比作物种植地要少,且植被覆盖度和生物量相对较高,有机质积累多分解少,因此含量相对较高;粮田和菜地条件下,土地除草、翻耕和灌溉等管理措施频繁,土壤通气状况和温湿条件都有利于土壤微生物活动,从而加速了土壤有机质的分解;果园地表生长大量草本植物,对有机质的消耗量较大,但枯枝阔叶的有机质积累不如林草地多。

2) 土壤氮素的分布。不同土地利用方式按全氮平均值从高到低排列依次为荒地、菜地、林地、粮田、果园。全氮平均值较大的为豆类,这与豆类植物的固氮作用相关,共生固氮根瘤菌对土壤氮素的贡献很大,在现代的耕作土壤中,通过豆类作物来提高土壤氮素已是人为耕作制度的一部分。土壤全氮分布情况与有机质基本相同。

3) 土壤磷素的分布。土壤中的磷多以颗粒态存在,不同土地利用方式下土壤磷的流失与土壤本身性质、人为施肥措施和损耗程度等有很大关系。粮田一般为轮种与套种结合的方式,每季(种)作物均有少量磷肥投入。再者,旱作条件下土壤中的钙素有较高的固磷能力^[23]。果园凋落物经腐化分解后的磷素,返回土壤与土壤中的钙固定,因此果园中土壤磷素易于积累,含量较高。土壤速效磷是土壤中作物可以当季利用的主要磷素的来源,而且磷在土壤中的移动性极小,随着漏渗而淋失的量也极微小,因此,土壤速效磷的含量主要受该地土壤磷素收支的影响。

4) 土壤钾素的分布。钾素的含量与土壤母质的关系较为密切,粮田的钾素含量较其它土地利用方式高,这与农业施用钾肥有关。近些年来,人们已经逐渐改变了过去重氮肥轻磷、钾肥的施肥方式,复合肥、测土施肥、专用肥等不断得到推广;同时巫山县大力推广少耕、免耕和秸秆还田等措施,对土壤钾素的积累起到很大的作用。

2.2.2 不同土地利用方式的土壤肥力质量评价 本研究主要通过综合评价法进行各土地利用方式土壤肥力质量评价,运用升型函数计算隶属度。为了避免人为主观影响,利用多元统计分析中的因子分析法确定,即观察相关系数矩阵,大部分的相关系数大于 0.3,说明各指标之间有较强的线性关系,能够从中提取公共因子,适合进行因子分析。

表 5 土壤肥力指标主因子贡献率

Tab. 5 The contribution rate of principal component of soil fertility index

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	特征值	方差的百分数/%	累积百分数/%	特征值	方差的百分数/%	累积百分数/%	特征值	方差的百分数/%	累积百分数/%
1	2.89	48.15	48.15	2.89	48.15	48.15	2.14	35.59	35.59
2	1.33	22.24	70.39	1.33	22.24	70.39	1.79	29.76	65.35
3	1.08	17.95	88.34	1.08	17.95	88.34	1.38	22.99	88.34
4	0.37	6.15	94.49						
5	0.28	4.60	99.09						
6	0.05	0.91	100.00						

利用 SPSS 共提取了 3 个因子,解释了原有变量总方差的 88.34%,原有变量的信息丢失较少,因此提取前 3 个因子用来计算可以得到较好的结果。通过相应的因子载荷矩阵求出各评价指标的公因子方差即因子共同度,

各评价指标的方差值代表了参评因子对土壤总体肥力质量的贡献率,由此可计算出各评价指标的权重值(表 6)。

表 6 土壤肥力评价指标公因子方差及其权重

Tab. 6 The common factor variance and weight of soil fertility index

肥力因子	旋转成分载荷矩阵			公因子方差	权重
	因子 1	因子 2	因子 3		
有机质	0.964	0.166	-0.017	0.958	0.181
全氮	0.959	0.195	0.082	0.965	0.182
全磷	0.319	0.832	-0.201	0.834	0.157
全钾	-0.097	-0.127	0.921	0.873	0.165
速效磷	0.078	0.917	0.176	0.878	0.166
速效钾	0.409	0.394	0.695	0.792	0.149

每一个载荷量表示因子与对应指标的相关关系。通过分析表 6,旋转后 3 个因子的载荷量可以看出,第一个因子中有机质和全氮占较大比重,因子载荷分别为 0.964、0.959,有机质和全氮的相关系数较大,可以表示对氮素的量度;第二主成分中,全磷和速效磷比重较大,因子载荷分别为 0.832、0.917,可以表示对土壤磷素的量度;第三主成分中,全钾和速效钾比重较大,因子载荷分别为 0.921、0.695,可以表示对土壤钾素的量度。然后根据公因子方差求得各项评价指标的权重值。利用(3)、(4)两式进行综合评价值的计算,结果如下(表 7)。

由表 7 可以看出,两种方法算得的土壤肥力质量评价数据略有差异,加权综合法结果比加乘法则稍小,但土地利用方式的肥力值排序完全一致。按肥力质量综合评价从高到低排列不同土地利用方式,依次为荒地、菜地、林地、粮田、果园。荒地的综合评价最高,果园的综合评价最低;从变化范围来看,粮田和果园的肥力质量综合评价波动范围较大,菜地较小;通过对比 5 种地类的变异系数发现,林地和果园的变异系数最大,而菜地的肥力质量较为均一。

表 7 不同土地利用方式的土壤肥力质量评价

Tab. 7 The soil fertility evaluation under different land use type

土地利用方式	加乘法则				加权综合法			
	变化范围	均值	标准差	变异系数	变化范围	均值	标准差	变异系数
粮田	0.112~0.636	0.357	0.116	32.49%	0.109~0.624	0.326	0.109	33.44%
菜地	0.199~0.431	0.385	0.090	23.38%	0.171~0.361	0.351	0.087	23.58%
林地	0.178~0.595	0.361	0.131	38.42%	0.140~0.562	0.331	0.135	43.41%
果园	0.110~0.577	0.323	0.123	38.08%	0.095~0.533	0.274	0.131	47.81%
荒地	0.127~0.627	0.417	0.122	29.26%	0.118~0.566	0.369	0.132	37.61%

地表植被可改变生态系统生物量和微环境条件,如光、热、水和土壤生物等,同时还会降低土壤侵蚀,改善土壤肥力。研究区的林地和荒地主要为林草覆盖,自身生物量丰富,地面灌丛、杂草植被覆盖度相对较高,对自然因子(降雨)等抵御能力强且受人为干扰较少;成土母质的物理风化较浅而化学风化较深,可起到很好的减少水土流失、降低土壤侵蚀、提高土壤肥力的作用;养分积累多分解少,有机质层积累较厚,含量高的有机质对磷、钾有效性的提高亦有所贡献,使得土壤磷、钾含量随之增加。耕地与果园施肥结构以化学肥料为主,人为扰动大,受耕作的影响,成土母质的物理、化学风化加深,含磷、钾矿物被分解,土壤磷、钾含量增加;但地表土养分的流失严重,不仅冲走大量泥沙,而且使土壤中易溶盐分(如钾)随径流流失;磷、钾元素迁移强于淀积,使得土壤的肥力水平降低。菜地和粮田产生差异的原因是种植的作物不同,施肥管理也会有所不同;在相同的劳力与经济投入下,农户对菜地的整体关注较多,施用的肥料也较多;而且不同作物对土壤养分的消耗也存在差异,因而整体上菜地土壤肥力质量略高,而果园的施肥较农田更少。因此,肥力值最低。

2.3 不同坡改梯年限的土壤养分特征

因研究条件限制,无法从坡改梯改造初始就进行追踪监测。故本研究采用时空互代法^[7],选取巫山县 5 个坡改梯年限及相邻坡耕地对土壤有机质及各养分指标进行对比分析。

2.3.1 不同坡改梯年限的土壤养分分布 表 8 中选取的 5 个坡改梯年限为 2、9、14、20 和 35 年(即坡改梯时间为 2010、2003、1998、1992、1977)及邻近坡耕地的基本情况。为减少其他变量对分析结果的干扰,本研究选取施肥情况相似的相邻坡改梯并避开施肥期进行采样,土地利用方式选择旱地作物。

表 8 不同坡改梯年限的土壤养分统计

Tab. 8 Descriptive statistics of soil nutrients under different terrace years

年限	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	速效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)
0	1.366±0.135c	0.077±0.023d	0.057±0.009b	1.718±0.234c	6.124±3.766b	116.832±36.679c
2	1.381±0.407c	0.083±0.041c	0.068±0.016a	1.635±0.281c	4.294±2.053d	143.139±32.059b
9	1.595±0.133a	0.094±0.010b	0.046±0.005c	2.258±0.332a	5.169±3.430c	150.611±41.302a
14	1.622±0.293a	0.105±0.017c	0.071±0.007a	2.650±0.232a	5.731±1.817b	125.626±52.354c
20	1.557±0.302b	0.101±0.025b	0.059±0.012b	1.834±0.340b	7.273±1.202a	136.569±40.373b
35	1.639±0.515a	0.113±0.034a	0.065±0.011a	2.430±0.291a	7.062±2.375a	141.263±29.815b

注:同一列中字母不同表示采样地间达到显著差异($p < 0.05$)

从表 8 可以看出,在实施坡改梯工程以后,与坡耕地相比,除有机质和全钾外,其他养分含量在坡改梯两年后的增减量均达到显著性水平;有机质、全氮、速效磷、速效钾的含量随坡改梯年限呈现波动性增长,坡改梯 35 年时相较坡耕地分别增加 120%、147%、115%、121%,除了坡改梯的作用外,与合理施肥、合理作物及林木种植及合理农业耕作管理措施也相关;全钾和速效磷在初期含量有所降低,差异不显著,随后呈现出波动性增长趋势;整体而言,除全磷含量的增加速度稍慢外,其他养分含量随着坡改梯时间的推移都有明显提高。

2.3.2 不同坡改梯年限的土壤肥力质量评价 通过表 8 可以看出,坡耕地改造为梯田后,土壤化学性质有明显改善,养分含量显著提高。参考土壤退化指数公式,以采样点邻近坡耕地的土壤肥力值作为基准值,用(5)式求得其它各坡改梯年限的 PI 值,结果如图 1 所示。

通过计算,以坡耕地的土壤肥力值作为基准值,求得坡改梯年限 2 年、9 年、14 年、20 年和 35 年的 PI 值分别为 2.67%、10.72%、22.91%、15.18%、20.03%。可以看出,随着坡改梯时间的增加,土壤肥力质量整体上呈上升趋势。坡耕地改造为梯田后,坡度降低,使水分就地入渗,减弱了土壤侵蚀作用,养分流失降低;加之连年的耕作及有机和无机肥料的投入,促进了物质元素的积累,土壤碳、氮、磷、钾等元素含量增加,土壤化学性质有所改善,但不呈现明显的规律性。主要原因是重庆巫山地处山区,土层厚度不大,土壤的整体环境条件较为复杂,土壤肥力质量随坡改梯时间推移受到的影响因素较多,如农业结构调整、施肥水平变化、作物类型变更等,且在采样过程中不能排除选取的几处采样点受除时间因素外其他外因的影响,这些外在条件都会给评价结果带来一定的误差。1998 年的坡改梯地土壤肥力质量最大,而采样点位于巫峡镇龙山村,由于该地自 2011 年开始大力助推农业发展,对农民种植粮田、蔬菜等进行农科指导、技术培训等,故土壤肥力质量大应得益于当地肥料的合理施用和用养地的有效结合。

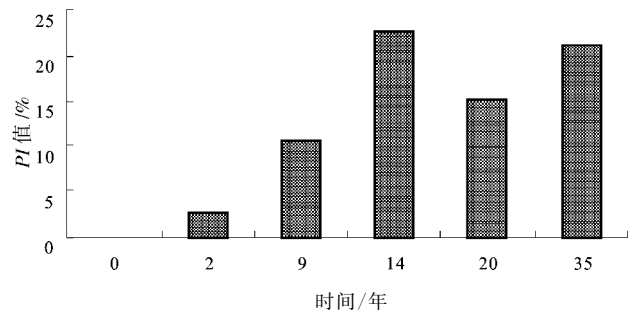


图 1 不同坡改梯年限的土壤肥力指数值

Fig. 1 The soil fertility evaluation under different terrace years

3 结论与展望

3.1 结论

不同的土地利用方式,即不同作物种植与土壤养分之间的相互作用是本研究的关注点,土壤养分对作物的影响比较容易注意到,而作物作为生命有机体,对土壤肥力因素的影响也是不同的。有些作物以用地为主,如粮食作物(薯类和谷类作物),有的则以养地为主,如绿肥作物(豆类植物等)。在作物与土壤的相互关系中,作物并不是完全被动的,对于某种肥力因素,作物根系可以在一定程度上加以改变,使之适用于作物生长。而各种作物对养分的需求特点也不相同,蔬菜一般需要充足的氮素以生长枝叶,而烟草常因氮素过多而降低品质,豆科作物对磷素较为敏感,而薯类则需要大量的钾素^[24]。因此在考虑作物布局时,需要根据不同作物的不同要求,因土种植,以使地尽其利;另一方面,也要通过定向培育,改变土壤的肥力条件,扩大土壤的宜种范围,尤其在南方复种指数高的情况下,对“土宜”的要求更高。所以为了达到高产,选择适宜的作物品种和改变土壤环境条件使二者的有利因素都能充分发挥并相互协调。

坡改梯年限对土壤养分变异的影响需要进一步探究。三峡库区的土壤环境条件较为复杂,并且在坡改梯后的近几十年经历了农业结构调整、标准农田建设、施肥等的变化,很难在仅考虑坡改梯时间一个因素的情况下开展对土壤肥力质量的评价研究工作。

3.2 研究中存在的问题和研究展望

由于研究区地形复杂,农业管理措施多样,使得在进行土壤肥力质量评价时会产生误差,采用哪些方法能减小误差,怎样才能使研究结果更加准确有说服力,这是需要进一步解决的问题。同时,对于土壤肥力质量的评价,本研究仅选取了土壤养分中的6项具代表性的指标,评价指标不够全面势必会对评价结果产生一定的影响,因此还需要进一步加以完善和改进。

目前,土壤质量已成为土壤学界的研究热点,土壤肥力是土壤质量的重要组成部分,关于土壤肥力的综合评价也倍受关注。由于影响该评价的主客观因素较多,因此进展较慢;而且方法各异,没有统一的标准。近来采用数学的方法对土壤肥力进行数量化评价,取得了一定的效果。然而不论土壤肥力综合评价采用何种方法,都要尽量减少人为因素,以求达到对土壤肥力进行客观评价。由于对土壤肥力的数量化综合评价研究起步较晚,还有许多地方需要改进和完善。如土壤肥力评价指标的确定、土壤肥力各评价指标隶属函数的表达、隶属函数阈值的划分、隶属度值和权重系数的确定等都是数量化评价土壤肥力质量准确性的关键。随着对土壤肥力数量化评价的研究进一步深入,相关评价系统会逐渐完善,标准趋于统一,并与GPS、GIS等数据系统结合,建立土壤肥力质量数据库,从而为管理和利用土地资源提供重要的参考依据。

参考文献:

- [1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000:1-11.
Huang C Y. Soil science[M]. Beijing: China Agricultural Press,2000:1-11.
- [2] 熊毅,李庆远. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社,1987:306-307.
Xiong Y, Li Q K. China soil[M]. Beijing: Science Press, 1987:306-307.
- [3] 牟朝相. 应用二元回归分析设计梯田田面高程的探讨[J]. 中国水土保持,1983(11):44-48.
Mou C X. The discussion of analysis and design the terraced field surface elevation by application binary regression[J]. Soil and Water Conservation in China,1983(11):44-48.
- [4] 焦菊英,王万中. 黄土高原水平梯田质量及水土保持效果的分析[J]. 农业工程学报,1999,15(2):59-63.
Jiao J Y, Wang W Z. Quality and soil-water Conservation effectiveness of level terrace on the Loess Plateau [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,1999,15(2):59-63.
- [5] 吴发启,张玉斌,宋娟丽,等. 水平梯田环境效应的研究现状及其发展趋势[J]. 水土保持学报,2003,17(5):28-31.
Wu F Q, Zhang Y B, Song J L, et al. Current state and development trend of research on environmental effect of level terrace [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003,17(5):28-31.
- [6] 张永涛,王洪刚,李增印,等. 坡改梯的水土保持效益研究[J]. 水土保持研究,2001,8(3):9-12.
Zhang Y T, Wang H G, Li Z Y, et al. Soil and water conservation benefits of terracing on the slope[J]. Research of Soil and Water Conservation,2001,8(3):9-12.
- [7] 薛莲,刘国彬,张超,等. 黄土高原丘陵区坡改梯后的土壤质量效应[J]. 农业工程学报,2011,27(4):310-316.
Xue S, Liu G B, Zhang C, et al. Effects of terracing slope cropland on soil quality in hilly region of Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(4):310-316.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:22-161.
Bao S D. Analysis of Soil Agro-Chemistry[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press,2000:22-161.
- [9] 王效举,龚子同. 红壤丘陵小区域水平上不同时段土壤质量变化的评价与分析[J]. 地理科学,1997,17(2):141-149.
Wang X J, Gong Z T. Evaluation and analysis of soil quality changes in different time period at small regional level in red soil hilly regions[J]. Scientia Geographica Sinica,1997, 17(2):141-149.
- [10] 王子龙,付强,姜秋香. 土壤肥力综合评价研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究,2007,23(1):15-18.
Wang Z L, Fu Q, Jiang Q X. Research progress in the integrated evaluation of soil fertility [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture,2007,23(1):15-18.
- [11] 刘世梁,傅伯杰,陈利顶,等. 两种土壤质量变化的定量评价方法比较[J]. 长江流域资源与环境,1999,12(5):422-426.
Liu S L, Fu B J, Chen L D, et al. Comparison of two quantitative methods in assessing soil quality in different land uses[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,1999,12(5):422-426.
- [12] 张庆费,宋永昌,由文辉. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系[J]. 生态学报,1999,19(2):174-179.
Zhang Q F, Song Y C, You W H. Relationship between

- plant community secondary succession and soil fertility in Tiantong, Zhejiang province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 174-179.
- [13] 肖连刚, 张建明. 基于 GIS 宁夏引黄灌区农地土壤综合养分状况评价[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 273-276.
Xiao L G, Zhang J M. Assessment of soil comprehensive nutrients status in irrigation district of Yellow River based on GIS [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(5): 273-276.
- [14] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1843-1847.
Xu M X, Liu G B, Zhao Y G. Assessment indicators of soil quality in hilly Loess Plateau [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(10): 1843-1847.
- [15] 王建国, 杨林章. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. *土壤学报*, 2001, 38(2): 176-183.
Wang J G, Yang L Z. Application of fuzzy mathematics to soil quality evaluation [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(2): 176-183.
- [16] Adejuwon J O, Ekanade O A. Comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt [J]. *Catena*, 1988, 15: 319-331.
- [17] 何燕, 李廷轩, 王永东. 低山丘陵区不同坡位茶园土壤肥力特征研究[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(4): 661-666.
He Y, Li T X, Wang Y D. Soil fertility in tea plantations in different slope positions and elevation region [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(4): 661-666.
- [18] 王兴仁, 陈新平, 张福锁, 等. 施肥模型在我国推荐施肥中的应用[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1): 67-73.
Wang X R, Chen X P, Zhang F S, et al. Application of fertilization model for fertilizer recommendation in China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1998, 4(1): 67-73.
- [19] 魏孝荣, 邵明安. 黄土高原沟壑区小流域坡地土壤养分分布特征[J]. *生态学报*, 2007, 27(2): 604-612.
Wei X R, Shao M A. The distribution of soil nutrients on sloping land in the gully region watershed of the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 604-612.
- [20] 韩凤朋, 张兴昌, 郑纪勇. 黄河中游土壤有机质与氮磷相关性分析[J]. *人民黄河*, 2007, 29(4): 58-59.
Han F P, Zhang X C, Zheng J Y. Correlation analysis of soil organic matter and nitrogen and phosphorus in the middle reaches of the Yellow River [J]. *Yellow River*, 2007, 29(4): 58-59.
- [21] Savoizzi A, Leviminzi R, Riffaldi R. The effect of forty years of continuous corn cropping on soil organic matter characteristics [J]. *Plant and Soil*, 1994, 160: 139-145.
- [22] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21010-2007 土地利用现状分类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
SAC. GB/T 21010-2007 current land use classification [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [23] 傅伯杰, 陈利项, 王军, 等. 土地利用结构与生态过程[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 247-255.
Fu B J, Chen L X, Wang J, et al. Land use structure and ecological processes [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 247-255.
- [24] 徐明岗, 梁国庆, 张夫道, 等. 中国土壤肥力演变[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 59-65.
Xu M G, Liang G Q, Zhang F D, et al. Evolution of soil fertility in China [M]. Beijing: China Agricultural Science Press, 2006: 59-65.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Study on Soil Fertility Evaluation of the Typical Terracing in Three Gorges Reservoir Area: a Case Study in Wushan County of Chongqing City

LI Pei-xia, CHEN Guo-jian, WEI Jie

(College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: The research take Wushan County of Chongqing City as an example, the distribution of fertility indicators are analyzed. Then there is a further discussion on soil nutrients which are influenced by the different land use patterns and different terrace age. By the method of soil sampling and laboratory analysis, the results are as follows: the whole level of the soil nutrient is lower-middle. The total nutrient is stable relatively while the available nutrient is affected by the fertilization and tillage easily; the correlation of soil organic matter content reached to very significant level compared with the soil nutrient except the total potassium. The evaluation of soil fertility quality by fuzzy comprehensive assessment method in different use land shows that, ranked as follows: wasteland > vegetable garden > forest land > grain crop fields > orchard. There is a significant improvement in soil nutrients content and fertility after the slope farmland transformed into terraced fields, but the variation is not obvious.

Key words: terracing; land use type; soil nutrients content; soil fertility evaluation; Wushan County of Chongqing City

(责任编辑 方 兴)