

花江峡谷喀斯特区土壤质量 两种定量评价方法研究

周玮,周运超

(贵州大学林学院,贵州 贵阳 550025)

摘要:选取贵州省花江峡谷喀斯特区5种主要的土地利用类型(灌丛、乔木林、人工林、耕地、草坡)研究土地利用方式对土壤质量的影响。研究表明:不同土地利用类型下土壤质量有显著差异。应用土壤质量指数法及退化指数法对花江峡谷喀斯特区不同的土地利用方式下土壤质量的变化情况进行量化对比研究,得出相同的变化趋势,即:灌丛>乔木林>人工林>耕地>草坡。并且相关性分析表明,两种定量评价方法的土壤综合质量指数与土壤退化指数之间存在线性相关性($R^2=9.277$),说明两种评价方法都能有效地反映出不同土地利用方式下土壤质量变化情况。

关键词:喀斯特;土地利用方式;土壤质量;评价方法;花江峡谷;贵州

中图分类号:S158

文献标识码:A

土壤质量是土壤条件动态变化的最敏感属性表现,它既能反映土壤管理的变化,也能反映土壤恢复退化的能力。许多自然和人为的生态过程,如气候波动、植被演替、土地利用方式等都显著影响土壤质量的时空演变。其中土地利用方式和管理水平是影响土壤质量变化最普遍、最直接、最深刻的因素,可以导致土壤养分退化、水土流失、土地沙漠化等退化现象的出现。

近年来,许多学者对土壤质量的内涵做了阐述并论述了其在时空尺度上的变化^[1]。由人类干扰引起的土壤变化及土壤变化对人类和生态环境的影响引起了广泛的关注^[2]。土壤质量的评价对于防止土壤退化、维持土地可持续利用有着十分重要的意义。由于指示土壤质量变化的因子众多,前人提出了许多不同的综合方法以量化描述土壤质量的变化^[3],但缺少不同方法之间的比较。同时,许多研究者通过比较同一时期的不同土地利用方式下的土壤性质来评价土

壤退化或改善的程度^[4],尽管这种方法在一定程度上提供了土壤变化的原因,但没有真正解释土壤的变化机理。此外前人研究中的单一因子评价,常常将重点放在如土壤有机质、氮、磷、钾素上,缺乏土壤质量变化的综合评价。还有由于对照土壤的不同,不同研究者间的结果十分难以对比^[5]。

本研究选取贵州花江峡谷喀斯特区作为典型研究区域。研究区内有天然的乔木林、灌丛、草坡,也有受到人为干扰的花椒人工林和耕地。本研究就土壤质量评价中的综合评价法与土壤退化指数法进行对比分析,旨在分析研究区域内土地利用方式对土壤质量的影响,通过两种评价方法的对比,探讨它们对土壤质量变化评价的有效性、可行性。

1 研究区的基本情况

试验区位于贵州西南部贞丰县的北盘江镇,属珠

基金项目:贵州省自然科学基金(编号:黔科合J[2006]2034)

第一作者简介:周玮(1982-),女,博士研究生,从事森林土壤学研究,E-mail:zhwei1982802@126.com。

通讯作者:周运超,男,教授。E-mail:fc.yzhou@gzu.edu.cn。

收稿日期:2008-12-22

江流域。研究区内碳酸盐类岩石占全区面积的 78.45%^[6],属典型的喀斯特峡谷。由于长期强烈的水土流失,基岩裸露,石漠化十分严重,裸岩面积比重达 70%以上^[7],属中强度喀斯特石漠区^[8]。区内土壤主要是由碳酸盐类岩石发育的土壤,pH 值在 6.0 以上。花江峡谷区由于岩溶发育,河谷深切,地下水埋藏深,地表干旱,人为加速土壤侵蚀过程强烈,植被次生性明显,生境干热特征显著,为一已严重石漠化的生态系统^[9]。在试验区内人工林、乔木林、灌丛、坡耕地、草坡 5 种类型是主要土地利用方式,本文选择以上 5 种土地利用方式下的表层土壤(0~20 cm)来分析土壤质量的变化情况。

2 样品采集以及研究方法

2.1 样地的选择

试验地设在北盘江镇银洞湾村,其中人工林为种植 13 年花椒林,是研究区最主要的土地利用类型。花椒茎干基部周围施有复合肥和有机肥,花椒林中除人工种植的顶坛花椒(*Zanthoxylum planispinum* var. *dingtanensi*)外,主要有构树(*Broussoneti papyrifera*)、香椿(*Toona sinensis*)等杂生。乔木林的覆盖度高,主要生长有小叶榕(*Ficus concina*)、朴树(*Celtis tetrandra* susp. *sinensis*)和南酸枣(*Cherospondias axillaris*)等常绿阔叶树,土层厚,有零星灌丛,草被覆盖,湿度大;灌丛中主要有悬钩子(*Rubus* spp. F.)、鼠刺(*Itea chinensis*)、白栎(*Quercus fabri*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)等。草坡的物种主要有芒草(*Miscanthus sinensis*)、野古草(*Arundinella hirta*)、金银花(*Lonicera japonica*)、苦蒿(*Conyza blinii*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)等,土层较薄,干旱。坡耕地种植的作物为玉米(*Zea mays* L.),土层比较厚,地势平坦。

2.2 土壤样品采集

在种植 13 年的花椒人工林中,将 15 株花椒随机分为 3 组,每组 5 株,按组别沿坡向在距离花椒茎干基部 0~45 cm 处取表层 0~20 cm 土壤,每个样地 3 个重复,每个土样重约 1 kg(一袋)。乔木林、灌丛、草地也分别选取 3 个样地,每个样地 3 个重复,采用 S 型或梅花型混合取样法采取(0~20 cm)表层土壤。所有

样品都选择地形相对一致的部位,土样取回后在室温下风干,过 2 mm 及 0.25 mm 筛,测定土壤理化性质及土壤酶活性。

2.3 研究方法

2.3.1 土壤质量综合评价法

土壤质量的综合评价一般分为 3 个步骤:因子的选择、权重的确定和综合指标的获得。由于土壤因子变化具有连续性质,故各评价指标采用连续质的隶属度函数,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,它与各因子对植被的效应相符合。本研究通过土壤因子中的养分含量、土壤酶以及容重来评价土壤质量的高低,因此采用升型函数计算养分含量、土壤酶的隶属度,用降型函数计算土壤物理性质的隶属度。计算公式如下^[10,11]:

升型函数: $Q(x_i) = (x_{ij} - x_{i\min}) / (x_{i\max} - x_{i\min})$

降型函数: $Q(x_i) = (x_{i\max} - x_{ij}) / (x_{i\max} - x_{i\min})$

其中: $Q(x_i)$ 表示各土壤因子的隶属度值; x_{ij} 表示各因子值; $x_{i\max}$, $x_{i\min}$ 。分别表示第 i 项因子中的最大值和最小值。

由于土壤质量的各个因子的状况与重要性常不同,所以通常用权重系数来表示各个因子的重要性程度。权重系数的确定有许多的方法:经验法、专家法、数学统计或模型等。本研究中利用 SPSS 软件计算各因子主成分的贡献率和累计贡献率,利用主成分分析因子负荷量,计算各因子作用的大小,确定它们的权重。为了避免人为打分确定评价因子权重带来的弊端^[12],本研究采用多元统计分析中的主成分分析法^[13]计算各评价因子方差,通过计算各个因子方差占其总方差的比例,作为单项评价指标的权重值。

土壤养分含量、容重、土壤酶活性质量指数及最终的土壤质量指数的确定均采用加权求和法进行计算:

$$SQR = \sum_{i=1}^n K_i \times C_i$$

式中: SQR 是土壤质量指数, C_i 是各个评价指标的隶属度值, K_i 是第 i 个评价指标的权重, n 是评价指标的个数。

利用土壤养分含量、容重、酶活性的质量指数与其权重加权求和,计算出土壤综合质量评价指数^[14]。

2.3.2 土壤质量退化指数法

土壤退化指数依据 Adejuwon(1988)提出的计算公式计算^[3],以某种土地利用类型为基准,假设其它

的土地利用类型都是由作为基准的土地利用类型转变而来,然后计算土壤各个属性在其它土地利用类型与基准土地利用类型之间的差异(以百分数表示),最后将各个属性的差异求和平均^[15]。公式如下:

$$DI = \sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}_i) / \bar{x}_i) \times 100\% / n$$

式中:DI 为土壤退化指数, x_i 是土壤质量指示的物理和化学因子, $\bar{x}_i$ 是自然状态下土壤物理化学因子的基准值。由于高的土壤容重值通常表明土地有退化的趋势^[16],所以实际的计算中采用了容重差值的相反数。土壤退化指数负数表明土壤退化,正数说明土壤不仅没有退化,而且质量还有所提高。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用方式下土壤性质

表1 不同土地利用类型的土壤性质
Tab. 1 Soil character under different land uses

利用方式	容重 g/cm	蔗糖酶 /葡萄糖 /mg/g	蛋白酶 /NH ₄ -N mg/g	碱性磷酸酶 /P ₂ O ₅ mg/100g	过氧化氢酶 /0.1mol/LK MnO,mL/g	有机质 /g/kg	全N /g/kg	碱解N /mg/kg	全P /g/kg	速效P /mg/kg
乔木林	1.25	3.10	0.55	514.44	4.25	9.17	0.50	38.9	0.9	22
人工林	1.02	5.36	0.49	283.06	4.35	5.30	0.56	25.6	0.47	48
灌丛	1.23	8.76	0.49	433.7	4.78	13.8	0.77	21.1	3.36	23
草坡	1.42	1.37	0.42	163.52	4.10	3.66	0.43	17.5	0.8	5
耕地	1.24	3.14	0.30	270.90	4.35	3.80	0.34	16.6	0.61	41

3.2 土壤综合质量指数

评价土壤质量和健康十分复杂,需要考虑土壤的多重功能,而且要把土壤物理、化学和生物学性质结合起来。根据前人经验,土壤质量的评价指标可分为三类:(1)土壤物理性状指标包括土壤容重、土壤机械组成、土壤团聚体,本研究选择容易测定并且具有代表性的土壤容重作为土壤质量评价的物理性质指标。(2)土壤养分含量,包括有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾,土壤养分可以对土壤质量、健康和作物生产力产生巨大的影响。除钾素外,本研究全选它们作为衡量土壤质量的重要指标。之所以不选钾素作为评价指标,因为研究区的喀斯特土壤中钾素含量较少,并且在各种土地利用方式下含量变化不明

表1 为不同的土地利用方式下部分土壤性质的变化情况。从表1 可以看出,荒地中土壤容重最大,其次是乔木林及耕地,最小的是人工林,说明人为的耕作活动在一定程度上使土壤疏松,土壤容重变小,土壤抗冲刷能力减弱,加剧了喀斯特地区耕地的水土流失。研究区灌丛中蔗糖酶、过氧化氢酶活性最高,这是因为灌丛物种多样性丰富,覆盖度大,土壤内生物活动剧烈,使得土壤酶活性增加。有人为作用的人工林及耕地活性也较高,而草坡中酶的活性最低;乔木林中蛋白酶、碱性磷酸酶活性最高,其次是人工林、灌丛,而耕地中蛋白酶活性及草坡中碱性磷酸酶活性最低;灌丛中有机质、全氮、全磷含量最高,草坡中有机质及耕地中全氮含量最低。已有研究表明,耕作可以降低土壤养分含量^[17,18]。研究区内灌丛由于物种多样性较高,而且群落的盖度大,透光性差,使得土壤有机碳易于累积^[15]。

显。(3)土壤酶活性特征指标。土壤酶活性指标并不是仅仅表示每秒时间内生物学的活性,而是作为反映管理措施和环境因子引起的土壤生物学和生物化学变化的指标,尤其是非专一性和水解性的土壤酶活性(如蔗糖酶活性)十分适合用这种指标来度量^[19],因此本研究选择与土壤C、N、P 素有明显关系的蔗糖酶、蛋白酶、碱性磷酸酶以及过氧化氢酶作为评价土壤质量的生物学指标。

综合土壤质量指数反映了不同土地利用方式下的土壤质量的相对值,利用升型函数以及降型函数,得到不同土壤质量因子的隶属度值(表2);然后应用主成分分析法计算各个评价因子的权重(表3);最后应用加权求和法计算出各个样地的土壤综合指数(图1)。

表 2 土壤因子隶属度

Tab. 2 Standardize record of soil factor

利用方式	容重	蔗糖酶	蛋白酶	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	有机质	全 N	碱解 N	全 P	速效 P
乔木林	0.54	0.23	1	0	0.40	0.54	0.37	1	0.15	0.76
灌木林	0.16	0.54	0.76	0.12	1	0.16	0.51	0.40	0	1
灌丛	1	1	0.76	1	0.42	1	1	0.20	1	0.80
荒地	0	0	0.48	0	0	0	0.21	0.04	0.11	0
耕地	0.01	0.24	0	0.16	0.86	0.01	0.00	0	0.05	0.72

表 3 土壤因子权重

Tab. 3 Weight of soil factor

指标	容重	蔗糖酶	蛋白酶	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	有机质	全 N	碱解 N	全 P	速效 P
权重	-0.05	0.10	0.13	0.15	0.09	0.14	0.12	0.12	0.09	0.09

图 1 显示了不同土地利用下的土壤综合质量指数。图 1 表明研究区内不同的土地利用方式对土壤质量有明显影响。从图中可以看出,乔木林、灌丛、花椒人工林、草坡、耕地的土壤综合指数分别为 0.49、0.78、0.48、0.1 以及 0.2。其中灌丛中土壤质量最大,耕地、草坡土壤质量较差。由于草坡处于植被演替过程中最低级的阶段,基本无植被覆盖,只有零星草丛,土壤中有机物质的主要来源是根系残体,地表土壤处于裸露状态,受气候影响较大,水土流失严重,因此土壤中养分含量较低,土壤酶活性不高,造成整个土壤质量较低。耕地属于掠夺式开发利用土地,枯落物补充不足,作物根系分布较浅且数量不多,导致土壤综合肥力较低,即使大量施用各种速效养分也只能提高速效磷和速效钾等速效养分的含量,不能大幅度提高土壤的总体质量水平。另外,由于耕地均有一段闲置时期,其地表处于裸露状态,受气候影响,土壤水蚀严重,造成表层土壤养分淋失,酶活性降低,土壤质地变粗,团聚体数量减少。乔木林、灌丛植被下的土壤,尤其是灌丛区土壤,其植被覆盖度大,地表年枯落物多,补充土壤的有机物质数充足,相对于其它土地利用类型来说速效养分、酶活性及物理性质质量均较高,是较好的土壤恢复植被类型。可见,灌丛可以有效地保护土壤养分元素免遭流失,从生态系统水平上改善土壤质量状况。王军等^[20]对黄土高原进行土地利用与土壤养分关系的研究也得出了同样的结果,刘世梁等对卧龙自然保护区的研究得出的结论也是灌丛土壤质量最好^[10]。

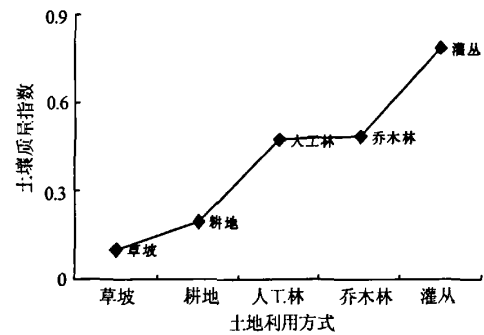


图 1 土壤综合质量指数

Fig. 1 Soil quality index

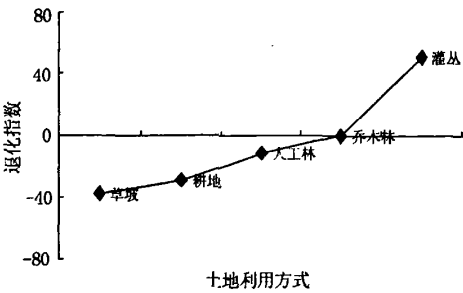


图 2 土壤退化指数

Fig. 2 Soil deterioration index

3.3 土壤退化指数

土壤退化指数可以定量地反映土壤质量退化和改善的程度。土壤退化指数正值表明土壤质量有所改善,而负值表明土壤有退化的趋势。土壤退化指数反

映了土壤从基准状况下变化的幅度。因为研究区内乔木林是群落演替过程中的最高阶段,本研究以乔木林土壤作为基准,并将其土壤退化指数设为零,然后把其余各种土地利用方式下土壤质量与乔木林土壤质量相进行对比,求出灌丛、人工林、草坡、耕地土壤退化指数分别为50%、-11%、-38%和-29%。灌丛地土壤退化指数为正值,说明灌丛地土壤没有退化,相对于乔木林而言有所改善。而草坡、人工林、耕地土壤退化指数为负值,说明土壤质量有不同程度的退化。草坡的退化趋势最明显,是因为草坡中土壤的速效养分淋溶多,而且其容重与乔木林的相比变化大,土壤酶活性较低。受人为干扰的人工林及耕地两种利用方式下土壤质量也呈现退化趋势,说明人为的施肥管理等措施在一定的时间内可以改善土壤的速效养分含量以及增加土壤酶的活性,但不能从整体水平上改善花椒人工林及耕地的土壤质量。

从以上的研究结果可以看出,灌丛在恢复土壤性质中作用明显,而且区内的气候非常适合天然灌丛的生长,所以保护与发展灌丛是本区改善土壤质量的一种有效的途径^[15]。

3.4 两种评价方法比较

从以上的分析可以看出,两种评价方法得出结果具有相同的变化趋势。通过对土壤综合指数与土壤退化指数作相关分析(图3),结果表明土壤综合质量指数与土壤退化指数之间存在线性相关性($R^2 = 0.9277$),说明两种评价方法能很好地表示不同土地利用方式下土壤质量的变化情况。其中,土壤退化指数法比较简单、便于计算,并且能够明确表示出土地利用方式下土壤质量是改善还是退化趋势,并且能够根据不同的标准划分各土地利用方式下土壤的退化程度。比如规定土壤退化指数 $ID > -5\%$ 表明土壤没有退化; $-5\% \geq ID > -10\%$ 表明了土壤有了轻微的退化; $-10\% \geq ID > -20\%$ 表明有了中度的退化;如果 $ID \leq -20\%$ 则表明有了严重的退化。研究结果表明,花椒人工林地土壤质量处于中度退化阶段,退化指数为-11%,而耕地与草坡处于严重退化阶段,退化指数为-29%~-38%。而土壤综合质量指数法首先是假设研究区有一种理想土壤,其各项评价指标均能完全满足植物生长的需要,以这种土壤的质量指数为标准,其它土壤的质量指数与之相比,求得土壤的相对质量指数,从而定量地表示所评价土壤的质量与理想土壤质量之间的差距,这样就可以表示土壤质量的升

降程度,从而可以定量地评价土壤质量的变化。该方法方便、合理,可以根据研究区域的不同土壤选定不同的理想土壤,针对性强,评价结果较符合实际,所以综合质量指数法对于辨析土壤质量的连续变化如演替、退化等对土壤质量影响更为有效。

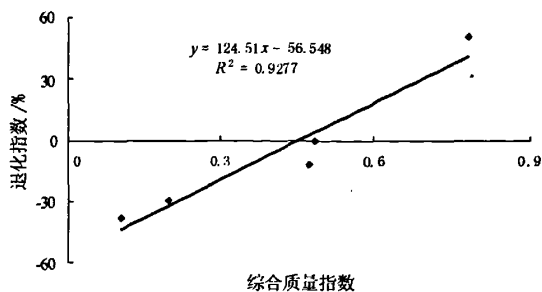


图3 土壤综合质量指数与土壤退化指数相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis between soil quality index and soil deterioration index

4 结论

本文应用两种土壤质量评价方法对花江峡谷喀斯特区不同的土地利用方式下土壤质量的变化情况进行定量化的对比研究,研究结果表明:

(1)灌丛、乔木林土壤酶活性及养分含量较高,草坡的较小,容重较其它土地利用方式高。通过土壤综合指数法以及土壤退化指数法计算得出,研究区内不同的土地利用方式下土壤质量的变化趋为灌丛>乔木林>人工林>耕地>草坡。耕地、草坡土壤质量较差,因为大多时间地表土壤处于裸露状态,水土流失严重,造成整个土壤质量较低。此外,耕地属于掠夺式开发利用土地,枯落物补充不足,导致土壤综合肥力较低。乔木林、灌丛覆被下的土壤,植被覆盖度大,地表年枯落物多,补充土壤的有机物质充足,土壤生物较多,土壤质量较好。

(2)土壤综合质量指数与土壤退化指数之间存在线性相关性,两种评价方法都能很好地对不同土地利用方式下土壤质量变化情况进行研究。其中土壤退化指数法比较简单、便于计算,并且能够明确表示出土地利用方式下土壤质量是改善还是退化趋势;而土壤综合指数法可以根据研究区域的不同土壤选定不同的理想土壤作为对照,针对性强,评价结果较符合实际。

参考文献

- [1] Ponnock D J, Van Kossol C. Clear-cut forest harvest impact on soil quality indicators in the mixed wood forest of Saskatchewan, Canada[J]. *Geoderma*, 1997, 75:13-32.
- [2] Miller F P, Wali M K. Land use issues and sustainability of agriculture[C]// *Trans of 15th WCSS*. Moxicao, 1994.
- [3] Adojnwon J O, Ekanado 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.
- [4] Wang X, Gong Z. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China [J]. *Geoderma*, 1998, 81:339-355.
- [5] 安树青, 土峙峰, 朱学雷, 等. 土壤因子对次生森林群落演替的影响[J]. *生态学报*, 1997, 17(1):44-50.
- [6] 龙成昌, 陈训, 罗娅. 花江峡谷地区顶坛花椒生长状况与土壤条件相关分析[J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2003, 21(3): 102-104.
- [7] 彭建, 杨明德. 2001, 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析 [J]. *山地学报*, 19(6):511-515.
- [8] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. *生态学报*, 2005, 25(3):639-644.
- [9] 李阳兵, 王世杰, 熊康宁. 花江峡谷石漠化土地生态重建及其启示[J]. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(1), 138-142.
- [10] 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*, 2003, 12(5):422-426.
- [11] 张庆贵, 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, 2(2):174-179.
- [12] 张建辉. 长江上游川江流域林业土壤资源评价[J]. *资源开发与保护*, 1992, 8(2):83-87.
- [13] 胡小平, 王长发. SAS 基础及统计实例教程[M]. 地图出版社, 2001.
- [14] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(1):1-4.
- [15] 刘世梁, 傅伯杰, 陈利顶等. 卧龙自然保护区土地利用变化对土壤性质的影响[J]. *地理研究*, 2002, 21(6):682-687.
- [16] Lowery B, Swan J, Schumacher T, et al. Physical properties of selected soils by erosion class [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*. 1995, 50:306-311.
- [17] Davidson E A, Ackerman I L. Changes of soil carbon inventories following cultivation of previously unfilled soils [J]. *Biogeochemistry*, 1993, 20: 161-193.
- [18] Lopsch I F, Menk J R F, Oliviera J B. Carbon storage and other properties of soils under agricultural and natural vegetation in Sao Paulo State, Brazil [J]. *Soil Use Management*, 1994, 10:34-42.
- [19] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境 II. 土壤质量评价的生物学指标[J]. *土壤*, 1997, 5:225-234.
- [20] Wang J, Fu B J, Qin Y, et al. Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on loess plateau in China [J]. *Journal of Arid Environment*, 2000, 48: 537-550.

Study on two quantitative methods of soil quality assessment in Huajiang karst canyon

ZHOU Wei, ZHOU Yun-chao

(College of Forest in Guizhou university, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: Five kinds of land uses were taken to elucidate the soil quality changes in Huajiang karst canyon, Guizhou province. The results show that the soil quality changes evidently under different land uses. The soil quality under different land uses was studied by means of the soil quality index(QI) and the soil deterioration index(DI) in the paper. Results from both methods show a similar trend of soil quality under different land use condition, that is Shrubs land > High-forest > Reforest land > Arable land > Grassland. In addition, correlative analysis of the two methods reveal that, there is a significant linear correlation between DI and QI, with a R^2 value of 9.277. Both methods are efficient in the evaluation of the soil quality levels under different land uses.

Key words: karst; land use; soil quality; quantitative methods; Huajiang canyon; Guizhou province