

粤北石漠化过程土壤与植被变化及其相关性研究

魏兴琥¹, 李 森¹, 罗红波², 聂 磊¹, 李辉霞¹, 何巧如²

(1. 佛山大学资源与环境学系, 广东 佛山 528000; 2 华南师范大学地理科学学院, 广东 广州 510631)

摘要: 粤北英德市岩背镇典型石漠化区在石漠化从轻度向极重度发展的过程中, 土层厚度、土壤覆盖度和土壤有机碳含量均呈显著下降的趋势, 土壤有机碳含量在石漠化初期下降幅度更大, 而土层厚度、土壤覆盖度在石漠化发展的后期阶段下降程度更为明显; 石灰岩植被随石漠化程度加重, 向旱生和岩生方向演替, 群落结构渐趋简单, 植被盖度和现存生物量显著降低; 除岩石裸露率与土层厚度、土被覆盖度、土壤有机碳、植被盖度和生物量都呈极显著的负相关关系外, 其它各因子之间都呈显著性的正相关关系。

关 键 词: 粤北; 石漠化; 土壤; 植被; 相关性

中图分类号: S154.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2008)05-0662-05

广东省岩溶区总面积 6 208 km²^[1], 根据最新影像判读, 2004 年粤北的阳山县、乳源县、连州市和英德市石漠化面积达到 534 56 km², 占广东省岩溶总面积的 8.6%。从 20 世纪 60~90 年代, 本区植被覆盖率由 35.8% 减少到 16.8%, 水土流失的面积、强度分别由 18.2% 和 605 t/(km²·a) 增加到 41.3% 和 2 863 t/(km²·a), 20 世纪 80 年代初期岩石裸露率 > 70% 的石漠化土地占岩溶面积的 6.12%, 到 90 年代初期已占到 11.25%^[2,3], 年均扩展 31.84 km², 扩展速率达 6.28%。30% 的山区农民年均收入不到 300 元, 远低于非岩溶区农民人均水平^[4]。石漠化已成为粤北山区灾害和贫困之源。

由于喀斯特地区土壤物质来源少, 母岩风化、溶蚀速率慢, 造成土壤形成速度极慢^[5], 形成 1 cm 厚土层需 1 000~3 200 a^[6]。如排除淋溶及地表常态侵蚀因素, 形成 1 cm 土层需 (1.3~3.2) × 10⁴ a^[7]。土壤侵蚀是石漠化最本质过程, 在石漠化过程中, 土壤有机质急剧减少, 生产力下降, 土壤理化性质的变化与石漠化过程形成相互促进的正反馈关系, 并在退化方向和阶段上具有一致性和同步性^[8-10]。同样, 植被随石漠化过程种类组成简单化, 高度、盖度、生物量减少, 并与土壤之间表现出相互促进、相互转化的关系^[11-19]。喀斯特生态系统复杂而敏感, 气候、人类活动、植被、土壤与侵蚀过程有

着千丝万缕关系, 分析石漠化过程植被与土壤变化, 掌握二者的关系对于准确了解喀斯特生态系统变化, 制定石漠化地区生态恢复策略意义重大。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择英德市的岩背镇 (112°48' ~ 112°52' E, 24°16' ~ 24°21' N) 作为石漠化土地典型调查区 (图 1)。该区位于英德市西部, 地势北高南低, 东面分布有次生林地, 西面大部分为裸露石灰岩山地。属亚热带季风气候, 年均气温 17.5℃, 年均降水量近 1 800 mm。在调查区内, 有近 1 000 m² 由于人类开垦造成的极重度石漠化土地, 岩石裸露率超过 95%, 在其周围逐渐向外扩展, 岩石裸露率逐渐降低, 植被层片、盖度也逐渐增加, 形成较连续的石漠化分布梯度。土壤为红色石灰土^[20]。

1.2 调查与分析

以地表岩石裸露率程度为主要依据, 以极重度石漠化土地 (岩石裸露率大于 90%) 为中心, 由近至远选择极重度、重度 (岩石裸露率为 70% ~ 90%)、中度 (岩石裸露率为 50% ~ 70%) 和轻度 (岩石裸露率为 30% ~ 50%) 4 个不同程度的石漠化样地, 每个样地大小为 30 m × 30 m。在每个样地随机设置 3 个 1 m × 1 m 的草本样方, 有灌木处样方面积扩大到 3 m × 4 m (灌木多为藤本和小灌

收稿日期: 2007-09-26 修订日期: 2007-11-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30471421, 40672199) 资助。

作者简介: 魏兴琥 (1964-), 男, 甘肃兰州人, 博士, 研究员, 主要从事退化土地过程、机理及恢复技术研究。E-mail: weixinghu1964@

木)。采用常规群落调查方法^[21], 调查每一样方内的植物种数、各物种的个体数、分盖度、高度。每个样方中的草本植物留茬 1 cm 刈割, 每种草本植物至少 10 株以上, 灌木种每株修剪 3~5 个典型枝, 至少 3 株, 将各物种编号分装, 在烘箱恒温 (85℃) 烘至恒重, 称干重。

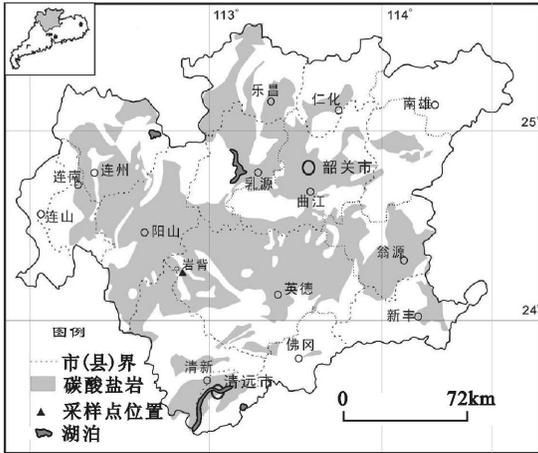


图 1 采样地点的石漠化分布图

Fig 1 Distribution of desertification in research area and location of sample site

每个样方内根据实际情况, 按 5 cm 1 个土样, 分层采集土壤样品, 共采集土样 72 个, 采用油浴重铬酸钾加热法测定样品土壤物质中有机碳含量, 采用对角线法用铁钎测定不同石漠化样地土层厚度。

采用 SPSS11.0 用多重比较分析不同石漠化程度土层厚度、土壤覆盖度、有机碳 3 个土壤性状指标和植被盖度、生物量变化两个生物指标, 并对他们进行相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 土层厚度和土壤覆盖度变化

石漠化的过程就是土壤流失的过程, 这主要体现在土层厚度逐渐变薄, 岩石裸露率增加及土壤覆盖度减少。

从图 2 看出, 随着石漠化程度的加深, 土层厚度越来越薄, 土壤覆盖度越来越低。轻度、中度、重度和极重度石漠化土壤厚度平均值分别为 40、35、20 和 5 cm。除从轻度到中度土层厚度减少差异不显著外, 从中度到重度, 重度到极重度, 土层厚度都呈显著性减少。土壤覆盖度的变化和土层厚度变化趋势一致, 并均呈显著性减少趋势。从轻度 → 中

度 → 重度 → 极重度石漠化土地, 土壤的覆盖度为: 60.6% → 43.78% → 16.61% → 2.97%。从土层厚度与土壤覆盖度变化趋势发现, 在石漠化发生的初期阶段, 土壤流失程度较小, 到中度石漠化阶段后, 土壤流失程度加剧, 这与岩石裸露率增加, 径流叠加效应加剧有密切关系。

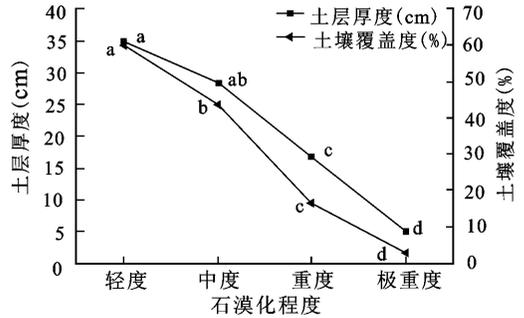


图 2 石漠化过程中土层厚度和土壤覆盖度的变化

Fig 2 Changes of the soil thickness and coverage in process of rocky desertification

2.2 表层土壤有机碳变化

土壤有机碳与其它土壤养分有正相关关系, 通过土壤有机碳分析可以了解其它养分的变化^[21]。从图 3 看出, 在石漠化发展过程中, 有机碳含量呈显著性下降趋势。极重度石漠化土地有机碳含量只有轻度石漠化土地的 23.5%。有机碳减少最明显的阶段在石漠化初期, 从轻度到中度, 有机碳减少了 54%。在粤北岩溶区, 尽管溶岩发育, 土层薄, 但多雨暖湿的气候为植被生长创造了良好的条件, 只要有土层的地方, 植被发育良好, 枯落物为土壤有机碳形成提供了基础, 在无或轻度石漠化土地, 有机碳含量较高。但由于石漠化发生最先从表层土壤侵蚀流失开始, 因此, 石漠化初期阶段也是有机碳流失最为严重的阶段。

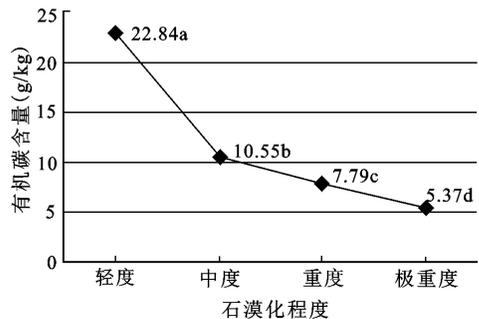


图 3 石漠化过程中土壤有机碳的变化

Fig 3 Changes of organic carbon in process of rocky desertification

2.3 石漠化过程的植被特征与群落演替

在 4 个典型样地中, 植被表现出很大差异。轻度石漠化样地出现的植物有 17 种, 主要有苕麻 (*Boehmeria nivea*)、黄荆 (*Vitex negundo*)、牛筋草 (*Eleusine indica*) 等; 中度石漠化样地植物有 15 种, 以青蒿 (*Artemisia apiacea*)、类芦 (*Neyraudia reynaudiana*)、白茅 (*Imperata cylindrical*)、马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、牛筋草、吊丝竹 (*Dendrocalamus minor var*) 等为主; 重度石漠化样地植物有 11 种, 以野古草 (*Arundinella anomala steud.*)、牛筋草、野菊 (*Dendranthema indicum*)、白茅等为主。极重度石漠化样地为 4 种: 苔藓、乌蕨、何首乌 (*Polygonum multiflorum*)、黑果薄柱草 (*Nertera nigricarpa*)。轻度石漠化土地苕麻为优势种, 黄荆、牛筋草为主要伴生种, 群落层片有 4 层, 平均高度为 55.67 cm, 优势种苕麻是 1 种多年生宿根性草本植物, 半灌木, 植被以具旱生性、耐钙喜钙性的种类为主, 景观外貌不具石漠的印象, 但具有生态环境脆弱的特征。中度石漠化土地以青蒿为优势种, 类芦、白茅是主要伴生种, 平均高度为 46.41 cm, 层片结构为 3 层。青蒿为菊科 1 年生草本植物, 高达 1.5 m, 植被以稀疏的灌草为主, 植物种类减少。重度石漠化土地以野古草为优势种, 牛筋草是其重要伴生种。平均高度为 31.25 cm, 层片结构为 2 层。野古草是适应性很强的粗大禾草, 有强壮的横走根状茎, 繁殖迅速。秆直立, 单生, 粗壮而坚硬, 高 60~100 cm, 石漠化特征明显, 土层厚度 20 cm 以下, 群落结构比轻度和中度石漠化都简单, 植物种类减少近 1/3。极重度石漠化土地以苔藓地衣等低等植物和低矮灌草丛为主, 平均高度 5.44 cm, 层片结构 1 层。是石漠化接近顶极 (石漠) 等级, 农业价值丧失, 属生态系统严重脆弱型土地^[23]。

从轻度、中度、重度到极重度石漠化土地, 植被演替趋势为苕麻 + 黄荆 + 牛筋草 → 青蒿 + 类芦 + 白茅 → 野古草 + 牛筋草 → 苔藓。

2.4 植被盖度变化

岩石裸露率和土壤覆盖度更直观地反映岩溶土地石漠化程度, 二者呈相反关系, 植被覆盖度与土壤覆盖度呈正相关关系, 其投影面积要大于同样地中土壤覆盖度。植被盖度不仅取决于土壤盖度, 也与土层厚度关系密切。由轻度 → 中度 → 重度 → 极重度, 植被盖度呈下降趋势 (图 4), 分别由轻度的 94.65% 下降为中度 84.98%、重度 79.21%,

但差异不显著; 从轻度 → 重度, 植被盖度显著下降; 从重度 → 极重度, 植被盖度降至 12.14%, 显著下降 ($F = 328.93 P < 0.05$), 植被盖度下降与土层变薄、土被覆盖度减少关系密切, 并加剧了土壤流失。

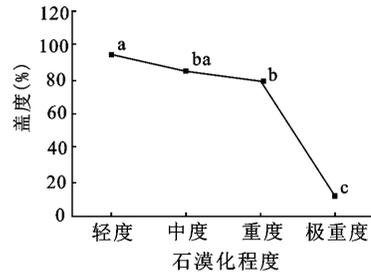


图 4 石漠化过程植被盖度变化

Fig 4 Changes of vegetation cover in the process of rocky desertification

2.5 现存生物量变化

与植被盖度一样, 现存生物量在石漠化发展过程中同样呈显著下降趋势 (图 5)。轻度、中度、重度和极重度石漠化样地现存生物量干重分别从 513.57 g/m² 下降到 406.95 g/m², 261.57 g/m² 和 57.54 g/m², 除轻度 → 中度下降不显著外, 其它均为显著性下降 ($F = 70.45 P < 0.05$)。极重度石漠化样地的现存生物量分别为重度、中度、轻度石漠化样地生物量的 22.00%, 14.14%, 11.20%。

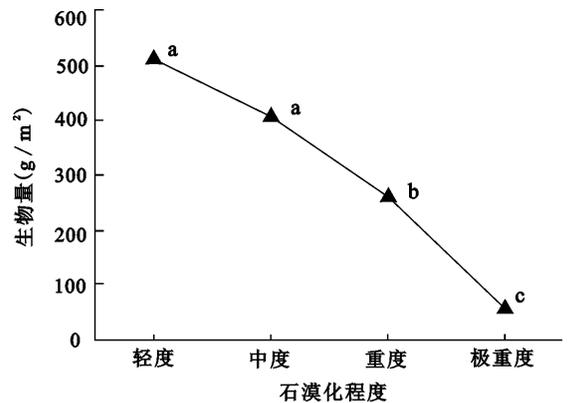


图 5 石漠化过程现存生物量变化

Fig 5 Changes of standing biomass in the process of rocky desertification

2.6 石漠化过程土壤与植被的相关性分析

选择土壤有机碳、土层厚度、岩石裸露率和土被覆盖度作为 4 个典型土壤指标, 选择植被盖度和植被生物量作为植被典型指标, 用 SPSS 软件对其进行相关性分析, 结果如表 1。除有机碳含量与植被盖度之间呈显著性相关外, 其余都呈极显著相关。除岩石裸露率与土层厚度、土被覆盖度、土壤

有机碳、植被盖度和生物量都呈负相关关系外,其它各因子之间都呈正相关关系。土层厚度、土被覆盖度直接关系到植被盖度与生物量,石漠化过程中土壤流失、土层变薄是造成土壤有机碳损失、植被盖度减少、生物量降低的直接原因。

根据相关分析结果,分别选择植被盖度和生物量与土壤厚度、土壤有机碳和岩石裸露率进行多元

非线性回归分析(表2),回归结果表明,植被盖度与土壤厚度、土壤有机碳和岩石裸露率3个变量的回归方程达到显著水平,而生物量与三者之间达到极显著水平。说明土壤与植被之间的每一个因素都密切相关,相互影响。植被破坏会直接导致土壤流失,养分减少,而有机碳减少、岩石裸露率增加会直接导致植被盖度降低、生物量减少。

表1 土壤与植被特征的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of soil and vegetation features

		土被盖度 (%)	土层厚度 (cm)	有机碳 (g/kg)	岩石裸露率 (%)	植被盖度 (%)	生物量 (g)
土被盖度 (%)	皮尔逊相关系数	1	0.890 ^(**)	0.886 ^(**)	-1.000	0.800 ^(**)	0.939 ^(**)
	概率 P 值		0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
土层厚度 (cm)	皮尔逊相关系数	0.890 ^(**)	1	0.803 ^(**)	0-.890 ^(**)	0.827 ^(**)	0.844 ^(**)
	概率 P 值	0.0000 002	0.000	0.001	0.001		
有机碳 (g/kg)	皮尔逊相关系数	0.886 ^(**)	0.803 ^(**)	1	-0.886 ^(**)	0.663 ^(*)	0.804 ^(**)
	概率 P 值	0.000	0.002		0.000	0.019	0.002
岩石裸露率 (%)	皮尔逊相关系数	-1.000	-0.890 ^(**)	-0.886 ^(**)	1	-0.800 ^(**)	-0.939 ^(**)
	概率 P 值	0.000	0.000	0.000		0.002	0.000
植被盖度 (%)	皮尔逊相关系数	0.800 ^(**)	0.827 ^(**)	0.663 ^(*)	-0.800 ^(**)	1	0.869 ^(**)
	概率 P 值	0.002	0.001	0.019	0.002		0.000
生物量 (g)	皮尔逊相关系数	0.939 ^(**)	0.844 ^(**)	0.804 ^(**)	-0.939 ^(**)	0.869 ^(**)	1
	概率 P 值	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	

* 相关的显著性水平在 0.05 即概率 P 值 ≤ 0.05 时,显著相关; ** 相关的显著性水平在 0.01, 即概率 P 值 ≤ 0.01, 极显著相关。

表2 多元非线性回归结果

Table 2 Results of non-linear multiple regression

因变量	自变量	回归方程	R ²	F 检验值	显著水平
VC(Y)	SD(X ₁), SOC(X ₂), RNR(X ₃)	$Y = 101.733 + 1.524X_1 - 1.239X_2 - 0.752X_3$	0.847	6.773	0.014
VB(Y)	SD(X ₁), SOC(X ₂), RNR(X ₃)	$Y = 891.749 + 0.751X_1 - 3.596X_2 - 8.04X_3$	0.886	20.677	0.000

注: SC. 土壤盖度; SD. 土壤厚度; SOC. 土壤有机碳; RNR. 岩石裸露率; VC. 植被盖度; VB. 植被生物量

3 结论

1) 在石漠化从轻度向极重度发展的过程中,土层厚度、土壤覆盖度均呈显著下降的趋势,尤其在石漠化发展的后期阶段,下降程度更为明显;土壤有机碳含量也呈显著性下降趋势,特别在石漠化初期,下降幅度更大。

2) 随着石漠化程度的加重,石灰岩植被的生态环境越来越向旱生和岩生方向转化,群落结构渐趋简单,群落演替方式为苧麻 + 黄荆 + 牛筋草 → 青蒿 + 类芦 + 白茅 → 野古草 + 牛筋草 → 苔藓; 植被盖度显著降低; 现存生物量干重除轻度 → 中度下降不显著外,其余均为显著性下降。

3) 相关性分析表明:除岩石裸露率与土层厚度、土被覆盖度、土壤有机碳、植被盖度和生物量都呈极显著的负相关关系外,其他各因子之间都呈显

著性的正相关关系。植被盖度、生物量与土壤盖度、厚度和有机碳之间的回归关系达到显著性差异水平。

4) 石漠化过程中的土壤与植被变化并非两个孤立的过程,而是一种复杂的、相互紧密关联的综合变化过程,植被演替方式、植被盖度、生物量、土壤流失等任何一个环节都会导致石漠化的发生和发展。

参考文献:

- [1] 广东省地方志编纂委员会. 广东省志·地理志[M]. 广州: 广东人民出版社, 1999 94~178
- [2] 陈朝辉. 搞好自然环境和经济环境建设, 解决广东省贫困山区问题[M]. 广州: 中山大学出版社, 1992 61~68
- [3] 汤惠君, 胡振琪, 苏少青. 广东土地整理的实践与探索[J]. 地理科学, 2004 24(4): 484~487.
- [4] 曾帮锐. 广东石灰岩山区环境问题探讨[M]. 自然地理与环

- 境研究, 1992 107~ 109
- [5] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨 [J]. 中国岩溶, 2002 21(2): 101~ 105
- [6] 柴宗新. 试论广西岩溶区的土壤侵蚀 [J]. 山地研究, 1989, (7): 255~ 260
- [7] 韦启璠. 我国南方喀斯特区土壤侵蚀特点与防治途径 [J]. 水土保持研究, 1996, 3(4): 72~ 76
- [8] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 石漠化过程中土壤理化性质变化的初步研究 [J]. 山地农业生物学报, 2003 22(3): 204~ 207
- [9] 李忠佩, 王效举. 小区域水平土壤有机质动态变化的评价与分析 [J]. 地理科学, 2000 20(2): 182~ 187.
- [10] 王秀红. 我国水平地带性土壤中有机质的空间变化特征 [J]. 地理科学, 2001, 21(1): 19~ 23
- [11] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2003 27(3): 26~ 30
- [12] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 喀斯特石漠化的形成过程及阶段划分 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2005, 29(3): 103~ 106
- [13] 李阳兵, 谢德体, 魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性 [J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 196~ 202
- [14] 李阳兵, 高明, 邵景安, 等. 岩溶山区不同植被群落土壤生态系统特性研究 [J]. 地理科学, 2005 25(5): 606~ 613.
- [15] 包慧娟, 李振山, 王涛. 沙漠化地区可持续发展的概念模型 [J]. 地理科学, 2007, 27(2): 173~ 176
- [16] 闫业超, 张树文, 岳书平. 克拜东部黑土区侵蚀沟遥感分类与空间格局分析 [J]. 地理科学, 2007 27(2): 193~ 199.
- [17] 李晓燕, 王宗明, 张树文, 等. 东北典型丘陵漫岗区沟谷侵蚀动态及空间分析 [J]. 地理科学, 2007 27(4): 531~ 536.
- [18] 莫宏伟, 任志远, 王欣, 等. 风沙过渡区耕地生态系统净第一性生产力动态变化研究——以陕西榆阳区为例 [J]. 地理科学, 2007 27(4): 537~ 541.
- [19] 许宁, 郭旭东, 洪友堂, 等. 基于文献分析的土地退化评价指标研究 [J]. 地理科学, 2008, 28(3): 425~ 430
- [20] 广东省植物研究所. 广东植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1976
- [21] 郭晋平, 张芸香. 景观格局分析空间取样方法及其应用 [J]. 地理科学, 2005 25(5): 584~ 589.
- [22] 李忠, 孙波, 林心雄. 我国东部土壤有机碳的密度及转化的控制因素 [J]. 地理科学, 2001, 21(4): 301~ 307.
- [23] 孙武, 李森. 土地退化评价与监测技术路线的研究 [J]. 地理科学, 2000 20(1): 92~ 96.

Changes and Correlation of Soil and Vegetation in Process of Rock Desertification in Northern Guangdong Province

WEIXingHu¹, LISen¹, LUOHong-Bo², NELei¹, LIHui-Xia¹, HEQiao-Ru²

(1. Department of Resources and Environmental Science, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000

2. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631)

Abstract Yanbei Town of Yingde City in the northern Guangdong Province was selected as a typical site to investigate the soil and vegetation changes in the process of rock desertification. The results show that in the process of rock desertification from light grade to extreme high grade, the thickness of soil layer, the coverage of soil and the content of organic matter reduced significantly, the content of soil organic carbon reduced more in the primary stage of rock desertification than in the later stage, but the thickness of soil layer and the coverage of soil reduced more in serious stage than in the primary stage. The vegetation succession in the rocky area is towards xerophyte and rock plant in the process of rock desertification, and the structure of vegetation is getting more and more simple. The vegetation coverage and standing biomass reduced significantly. There exist significant negative correlations between the rate of uncovered rock and the thickness of soil layer, the coverage of soil, the content of organic matter, the vegetation coverage, and biomass. And there have significant positive correlations among other factors.

Key words Northern Guangdong; rock desertification; soil; vegetation; correlation