

# 灰质白云岩土壤有机碳的团聚体保护

陈媛媛, 周运超

(贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

**摘要:**采集喀斯特地区灰质白云岩发育的乔木林下土壤,全部湿筛分为 $>5\text{ mm}$ ,  $5\sim 2\text{ mm}$ ,  $2\sim 1\text{ mm}$ ,  $1\sim 0.5\text{ mm}$ ,  $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ 共5个粒级团聚体,再将5个粒级团聚体进行碳水化合物提取后再次分别湿筛,收集 $>5\text{ mm}$ ,  $5\sim 2\text{ mm}$ ,  $2\sim 1\text{ mm}$ ,  $1\sim 0.5\text{ mm}$ ,  $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ 共5个粒级的团聚体样品。对两次湿筛中5个粒级的土壤分别进行团聚体含量、土壤有机碳、土壤可氧化态有机碳测定,分析土壤团聚体稳定性与土壤有机碳、土壤可氧化态有机碳的关系。结果表明:灰质白云岩乔木林下土壤在经过提取碳水化合物的第二次湿筛后,大粒级团聚体( $>5\text{ mm}$ ,  $5\sim 2\text{ mm}$ )向小粒级( $2\sim 1\text{ mm}$ ,  $1\sim 0.5\text{ mm}$ ,  $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ )转移;有机碳主要存在于较大粒级团聚体中,但各粒级团聚体有机碳并不随之转移;各粒径团聚体可氧化态碳含量均减少,但较大粒级( $>5\text{ mm}$ ,  $5\sim 2\text{ mm}$ )可氧化态有机碳含量多,较小粒级( $2\sim 1\text{ mm}$ ,  $1\sim 0.5\text{ mm}$ ,  $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ )可氧化态有机碳含量少,故推测较大粒级团聚体( $>2\text{ mm}$ )保护土壤活性有机碳能力比较小粒级团聚体( $<2\text{ mm}$ )强。

**关键词:**土壤; 土壤有机碳; 土壤活性碳; 土壤团聚体; 灰质白云岩; 乔木林

中图分类号: S153.6<sup>+</sup>2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)06-0082-04

## Protection of Soil Organic Carbon in the Calcite Dolomite Aggregate

CHEN Yuan-yuan, ZHOU Yun-chao

(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** In order to study organic carbon protected in aggregates of soil developed from calcite dolomite under forest in karst area, soil samples were collected and wet sieved into five aggregate fractions:  $>5\text{ mm}$ ,  $5\sim 2\text{ mm}$ ,  $2\sim 1\text{ mm}$ ,  $1\sim 0.5\text{ mm}$ ,  $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ . After extracted carbohydrate, each fraction aggregate was wet-sieved into 5 fractions again. The contents of soil aggregate, oxidisable soil organic carbon, and soil organic carbon were measured, and the relationship between soil aggregate stability with soil organic carbon and soil oxidisable organic carbon was analyzed. The results showed that aggregates broke down from the large size ( $>5\text{ mm}$ ,  $5\sim 2\text{ mm}$ ) to small ( $2\sim 1\text{ mm}$ ,  $1\sim 0.5\text{ mm}$ ,  $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ ) but soil organic carbon was contained mostly in larger aggregate after the second wet sieving, however, soil organic carbon did not transfer while aggregate was broken. Soil oxidisable organic carbon content decreased in all fractions after the final sieving, but most oxidisable organic carbon was contained in the larger particle ( $>5\text{ mm}$ ,  $5\sim 2\text{ mm}$ ), and less in smaller ( $2\sim 1\text{ mm}$ ,  $1\sim 0.5\text{ mm}$ ,  $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ ). According to the results, it was assumed that soil oxidisable organic carbon was protected by the larger aggregate ( $>2\text{ mm}$ ).

**Key words:** soil; soil organic carbon; soil oxidizable carbon; soil aggregate; calcite dolomite; tree forest

由于全球长期大面积的农垦,使土壤碳库和大气碳之间的碳循环平衡遭到破坏,大量土壤有机碳被氧化并以 $\text{CO}_2$ 的形式释放到大气中<sup>[1-3]</sup>,增强了温室效应。增加土壤有机碳的固定是一个有效的、具有中长期利益的减少温室气体排放的措施。土壤有机碳包括活性有机碳和非活性有机碳<sup>[4-5]</sup>,土壤有机碳中

有一些组分对土地利用方式等因子变化的反应比总有机碳更敏感,这部分碳被称为可氧化态有机碳,可作为有机碳早期变化的指标,而非活性有机碳含量表征土壤积累和固碳能力;而土壤团聚体作为土壤结构的基本单元有大量的有机碳存在于其中,土壤固碳功能伴随土壤团聚体的形成、稳定及更新周转过程的始

收稿日期: 2012-05-16

修回日期: 2012-06-17

资助项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05070405)

作者简介: 陈媛媛(1987—),女,湖北随州人,硕士研究生,从事森林土壤学研究。E-mail: yychen318@foxmail.com

通信作者: 周运超(1964—),男,贵州兴仁县人,博士生导师,主要研究方向为森林土壤学。E-mail: yc409@163.com

末,土壤有机碳的固定效应与团聚体的保护机制密切相关。因此,了解不同粒级团聚体中有机碳,可氧化态有机碳的分布状况有助于更好地了解土壤中碳素的分布,也对人们更好的保护土壤碳起到指导作用,为温室效应的治理提供理论依据。

目前,对土壤团聚体有机碳分布的研究主要集中于土壤养分<sup>[6-10]</sup>,土地利用方式<sup>[11-13]</sup>和施肥处理<sup>[14-15]</sup>等方面,而这些研究都是在对团聚体进行彻底破坏的基础上进行测定的,而没有考虑到团聚体内部对土壤碳的保护作用,因此通过不同方式对土壤团聚体进行拆分,了解土壤团聚体对土壤碳的保护会对土壤固碳的研究提供更多的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

贵阳市位于贵州省中部,喀斯特面积占全市面积的 85%。花溪区在贵阳市南郊(106°27′—106°52′E, 26°11′—26°34′N),地处黔中山原盆地,最高海拔 1 655.9 m,最低海拔 999 m,属亚热带季风湿润气候,年均气温 15.2℃,年降水量 1 178 mm,年平均日照时数 1 214.6 h,相对湿度 85%,具有冬无严寒、夏无酷暑、气候温和、雨量充沛、雨热同季的特点,母岩以碳酸盐岩(石灰岩)为主,土壤为石灰土。

1.2 试验方法

土壤采自贵州省贵阳市花溪区花溪水库典型灰质白云岩发育土壤上的乔木林地。采用多点四分法

取样,样品采集深度分 0—5 cm(后采)和 5—20 cm(先采)两个层次,每一点采集的土样厚度、深浅、宽窄大体一致,重复采样 3 次,再采集 0—5 cm 土壤层。土样在室内风干后,用湿筛法分别测定>5 mm,5~2 mm,2~1 mm,1~0.5 mm,0.5~0.25 mm 的各级水稳性团聚体含量。其后对湿筛后的各级土壤团聚体进行碳水化合物提取后湿筛再次测定>5 mm,5~2 mm,2~1 mm,1~0.5 mm,0.5~0.25 mm 的各级水稳性团聚体含量,最后分别测定各粒级土壤有机碳和土壤可氧化态有机碳含量。土壤团聚体分离采用湿筛法,碳水化合物提取用直接测定法<sup>[16]</sup>,团聚体有机碳测定采用重铬酸钾外加热法<sup>[17]</sup>,有机碳易氧化性测定采用 Blair 等的方法<sup>[5]</sup>。

2 结果与分析

2.1 土壤团聚体与有机碳

对灰白云岩发育的乔木林下土壤经过湿筛和提取碳水化合物后再次湿筛土壤团聚体的有机碳分布(表 1)表明,在 0—5 cm 土层中,>5 mm 团聚体粒级伴随提取碳水化合物后的第二次湿筛其含量变少而有机碳含量增多,5~2 mm 团聚体粒级含量和有机碳都在增多,而 2~1 mm,1~0.5 mm,0.5~0.25 mm 3 个粒级伴随着含量的增多,有机碳都相应的减少;而 5—20 cm 土层中,除了>5 mm 团聚体粒级含量和有机碳含量同时减少外,其余 4 个粒级都是团聚体含量增多,土壤有机碳含量减少。

表 1 不同测定方法下土壤不同粒级团聚体及有机碳含量

测定方法	土层深度/cm	各粒级团聚体所占百分比/%					各粒级有机碳含量/(g·kg <sup>-1</sup> )				
		>5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	>5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
湿筛	0—5	54.5	22.4	13.8	6.9	2.4	53.99	48.10	52.38	51.96	51.54
	5—20	57.4	22.8	11.0	6.6	2.1	29.87	25.69	26.93	25.79	25.06
提取碳水化合物后湿筛	0—5	32.5	29.8	19.2	14.8	3.7	61.62	53.15	44.23	41.16	43.52
	5—20	9.6	43.8	23.2	18.7	4.7	28.64	24.22	18.94	19.40	17.54

2.2 土壤团聚体与可氧化态有机碳

土壤经过湿筛和提取碳水化合物后湿筛<sup>[18-19]</sup>两种拆分方法,其易氧化性测定结果如表 2 所示,作为土壤有机质的重要性质<sup>[20]</sup>,易氧化性的研究一直是土壤有机质研究的重点,而 Blair 等将 1/3 KMnO<sub>4</sub> 可氧化碳的比例作为评价农业活动对自然土壤有机碳影响的参数<sup>[3]</sup>,在表 2 中,0—5 cm 土层第一次湿筛能被 1/30 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳约占 22%,1/6 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳约占 72%,1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳约占 76%,而残余量约占 24%,即不可氧化土壤有机碳与可氧化土壤有机碳之比为 1:3;在提取碳

水化合物后的第二次湿筛,能被 1/30 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳明显减少,约占 15%,1/6 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳减少约占 37%,1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳减少约占 67%,而残余量约占 23%,针对各团聚体粒级,在 1/30,在 1/6 和 1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化条件下各个粒级的团聚体都伴随提取碳水化合物的第二次湿筛,可氧化态有机碳含量减少;5—20 cm 土层第一次湿筛能被 1/30 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳约占 22%,1/6 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳约占 65%,1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳约占 69%,而残余量约占 21%,在提取碳水化合物后的第二次湿筛,能被 1/30

KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳增多, 约占 25%, 1/6 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳减少约占 53%, 1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化的土壤有机碳减少约占 68%, 而残余量约占 32%, 针对各团聚体粒级, 在 1/30, 1/6 和 1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化条件下各个粒级的团聚体都伴随提取碳水化合物的第二次湿筛, 可氧化态有机碳含量减少。

表 2 不同团聚体拆分方法下土壤有机碳可氧化性分级

项目	土层深度/cm	粒级/mm	1/30 KMnO <sub>4</sub>		1/6 KMnO <sub>4</sub>		1/3 KMnO <sub>4</sub>		残余碳	
			有机碳含量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	A <sub>1</sub> / %	有机碳含量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	B <sub>1</sub> / %	有机碳含量/ (g · kg <sup>-1</sup> )	C <sub>1</sub> / %	可氧化态有机碳 含量/(g · kg <sup>-1</sup> )	D <sub>1</sub> / %
湿筛	0—5	>5	11.29	20.91	41.25	76.40	42.63	78.96	11.36	21.04
		5~2	10.28	21.36	35.33	73.46	37.05	77.03	11.05	22.97
		2~1	11.08	21.15	35.96	68.66	38.79	74.05	13.59	25.95
		1~0.5	11.29	21.73	35.81	68.93	38.31	73.73	13.65	26.27
		0.5~0.25	11.75	22.80	38.31	74.33	39.27	76.18	12.27	23.82
	5—20	>5	6.02	20.16	17.62	58.99	19.18	64.21	10.69	35.79
		5~2	5.74	22.36	17.44	67.89	18.36	71.48	7.33	28.52
		2~1	5.56	20.64	16.85	62.57	18.43	68.44	8.50	31.56
		1~0.5	5.75	22.28	17.26	66.93	17.82	69.10	7.97	30.90
		0.5~0.25	5.62	22.43	17.65	70.43	18.23	72.73	6.83	27.27
提取碳 水化合 物后湿筛	0—5	>5	9.08	14.74	20.60	33.44	39.78	64.55	21.84	35.45
		5~2	8.14	15.32	19.19	36.11	32.78	61.68	20.37	38.32
		2~1	6.51	14.72	17.01	38.45	29.59	66.90	14.64	33.10
		1~0.5	6.98	16.96	16.92	41.10	29.64	72.00	11.52	28.00
		0.5~0.25	5.47	12.57	16.74	38.46	30.73	70.61	12.79	29.39
	>5	5—20	5.99	20.91	13.26	46.29	18.30	63.91	10.34	36.09
		5~2	5.06	20.89	11.16	46.08	15.16	62.59	9.06	37.41
		2~1	5.41	28.56	11.07	58.45	13.38	70.65	5.56	29.35
		1~0.5	5.53	28.51	10.11	52.12	12.93	66.63	6.47	33.37
		0.5~0.25	5.06	28.85	11.04	62.94	13.29	75.77	4.25	24.23

注: A<sub>1</sub>(%), B<sub>1</sub>(%), C<sub>1</sub>(%) 分别为 1/30 KMnO<sub>4</sub>, 1/6 KMnO<sub>4</sub>, 1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化条件下团聚体各粒级中土壤可氧化态有机碳占总土壤有机碳的比例, D<sub>1</sub>(%) 为土壤残余碳(土壤有机碳-1/3 KMnO<sub>4</sub> 条件下可氧化态有机碳)在团聚体各粒级中占总土壤有机碳的比例。

表 3 是结合土壤团聚体分配比例计算出的可氧化有机碳比重, 由表 3 可知, 在第一次湿筛后, 0—5 cm, 5—20 cm 两个土层中可氧化态有机碳比重均随着粒级的减小而依次减少, 经过提取碳水化合物的第二次湿筛后, 0—5 cm 土层仍然随着粒级较小可氧化态有机碳比重相应较少, 但 5—20 cm 土层中, 5~2 mm 团聚体粒级中土壤可氧化态有机碳比重最大, 其次分别是 2~1 mm, 1~0.5 mm, >5 mm, 0.5~0.25 mm 团聚体粒级中土壤可氧化态有机碳比重最小。

3 讨论

(1) 灰质白云岩乔木林下土壤在经过提取碳水化合物的第二次湿筛后, 在 0—5 cm 土层中, >5 mm 粒级含量变少而有机碳含量增多, 说明湿筛破坏了碳水化合物对土壤碳和团聚体之间的粘附性, >5 mm 粒级被拆分向更小粒级转移, 而由于碳水化合物的提取, 团聚体粘附力减少, 表层剥落, 更多的土壤碳被暴露, 土壤碳含量增多, 5~2 mm 团聚体粒级含量增多, 也是由于 >5 mm 粒级的团聚体被拆分, 而 2~1 mm,

1~0.5 mm, 0.5~0.25 mm 三个粒级伴随着含量的增多, 有机碳都相应的减少, 则说明虽然较大粒级的团聚体拆分会造成小粒级团聚体含量增多, 但土壤碳多被保护在较大粒级中, 随着粒级变小, 保护力变小, 会造成土壤碳的流失; 而 5—20 cm 土层中, 土壤有机碳含量均减少, 说明团聚体破坏对土壤有机碳影响大, 团聚体对土壤有机碳的保护作用明显。

(2) 对于土壤可氧化态有机碳, 在 0—5 cm 土层通过提取碳水化合物的第二次湿筛, 可氧化态有机碳含量减少, 两次湿筛中都是 >5 mm 粒级的团聚体包含较多可氧化态有机碳, 其余各团聚体粒级中所包含的可氧化态有机碳比重随粒级减小依次减少; 在 5—20 cm 土层, 第一次湿筛可氧化态有机碳所占比重随着粒级减小依次较少, 但提取碳水化合物的第二次湿筛后, 5~2 mm 粒级中可氧化态有机碳在团聚体所占比重最多, 其次依次为 2~1 mm, 1~0.5 mm, >5 mm 三个粒级, 0.5~0.25 mm 粒级中可氧化态有机碳在团聚体所占比重最少。由此可以推断, 0—5 cm 土层中 >5 mm 粒级在破坏土壤团聚体结构后, 仍会

保存较多可氧化态有机碳,是土壤固碳的关键粒级,其余粒级团聚体对土壤碳的保护力随粒级减小依次减小,5—20 cm 土层,土壤团聚体结构破坏后,5~2 mm 粒级中可氧化态有机碳在团聚体所占比重最多,说明 5~2 mm 粒级对土壤可氧化态有机碳的保护性最强,0.5~0.25 mm 粒级对土壤可氧化态有机碳的保护性最弱。

表 3 不同团聚体中土壤可氧化态有机碳分配比重

测定方法	土层深度/cm	粒级/mm	A <sub>2</sub> /(g·kg <sup>-1</sup> )	B <sub>2</sub> /(g·kg <sup>-1</sup> )	C <sub>2</sub> /(g·kg <sup>-1</sup> )
湿筛	0—5	>5	6.15	22.48	23.23
		5~2	2.30	7.91	8.30
		2~1	1.53	4.96	5.35
		1~0.5	0.78	2.47	2.64
		0.5~0.25	0.28	0.92	0.94
	5—20	>5	3.46	10.11	11.01
		5~2	1.31	3.98	4.19
		2~1	0.61	1.85	2.03
		1~0.5	0.38	1.14	1.18
		0.5~0.25	0.12	0.37	0.38
提取碳水化合物湿筛	0—5	>5	2.95	6.70	12.93
		5~2	2.43	5.72	9.77
		2~1	1.25	3.27	5.68
		1~0.5	1.03	2.50	4.39
		0.5~0.25	0.20	0.62	1.14
	5—20	>5	0.58	1.27	1.76
		5~2	2.22	4.89	6.64
		2~1	1.26	2.57	3.10
		1~0.5	1.03	1.89	2.42
		0.5~0.25	0.24	0.52	0.62

注:A<sub>2</sub>,B<sub>2</sub>,C<sub>2</sub>分别为 1/30 KMnO<sub>4</sub>,1/6 KMnO<sub>4</sub>,1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化条件下团聚体各粒级中土壤可氧化态有机碳在土壤团聚体各粒级中所占比重(g/kg)(A<sub>2</sub>=1/30 KMnO<sub>4</sub> 氧化条件下土壤可氧化性有机碳含量×各粒级团聚体所占百分比,B<sub>2</sub>=1/6 KMnO<sub>4</sub> 氧化条件下土壤可氧化性有机碳含量×各粒级团聚体所占百分比,C<sub>2</sub>=1/3 KMnO<sub>4</sub> 氧化条件下土壤可氧化性有机碳含量×各粒级团聚体所占百分比)。

4 结 论

碳水化合物作为形成土壤团粒结构的重要胶结物质,对土壤团聚体的稳定性有很大影响,提取水稳性碳水化合物后湿筛破坏了碳水化合物对团聚体的粘结作用,土壤团聚体结构会发生很大改变,湿筛和提取碳水化合物湿筛是从土壤团聚体内部结构改变方面了解土壤团聚体与土壤有机碳,可氧化态碳关系,试验结果显示,破坏团聚体内部作用力,团聚体会从大粒级(>5 mm,5~2 mm)向小粒级(2~1 mm,1~0.5 mm,0.5~0.25 mm)转移,但各粒级土壤有机碳并不随之转移,土壤有机碳大多存在于较大粒级

中,碳水化合物提供的粘结力丧失后,土壤可氧化态有机碳含量会随着团聚体结构破坏而改变,团聚体可氧化态碳含量无论大粒级还是小粒级都在减少,但针对团聚体各个粒级而言,较大粒级(>5 mm,5~2 mm)包含可氧化态有机碳量多,较小粒级(2~1 mm,1~0.5 mm,0.5~0.25 mm)可氧化态有机碳含量少,故由此可推测较大粒级(>5 mm,5~2 mm)是保护土壤碳的主要粒级,其固定土壤碳的能力比较强,而较小粒级(2~1 mm,1~0.5 mm,0.5~0.25 mm)保护土壤碳能力则相对较弱。

参考文献:

[1] Gifford R M, Cheney N P, Noble J C, et al. Australian land use, primary production of vegetation and carbon pools in relation to atmospheric carbon dioxide concentration[J]. Bureau Rural Resources and CSIRO Division of Plant Industry,1990,14(3):157-187.

[2] Gulde S, Chung H, Six J, et al. Soil carbon saturation controls labile and stable carbon pool dynamics[J]. Soil Science Society of America Journal,2007,72(3):605-612.

[3] 马红亮,朱建国,谢祖彬. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对陆地生态系统土壤固碳的可能影响[J]. 土壤通报,2008,39(5):1184-1191.

[4] Huggins D R , Clapp C E, Allmaras R R. Carbon dynamics in corn-soybean sequences as estimated from natural <sup>13</sup>C abundance[J]. Soil Science Society of America Journal,1998,62(1):195-203.

[5] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation,and the development of a carbon management index for agricultural systems [J]. Australian Journal of Agricultural Research,1995,46(7):1459-1466.

[6] 方华军,杨学明,张晓平. 东北黑土有机碳储量及其对大气的贡献[J]. 水土保持学报,2003,17(3):9-12.

[7] 李恋卿,潘根兴. 太湖地区几种水稻土的有机碳储存及其分布特性[J]. 科技通报,2000,16(6):421-426.

[8] Chung H, Grove J H, Six J. Indications for soil carbon saturation in a temperate agro ecosystem[J]. Soil Science Society of America Journal, 2008,72(4):1132-1139.

[9] Ashagrie Y, Zech W, Guggenberger G. Soil aggregation and total and particulate organic matter following conversion of native for ests to continuous cultivation in Ethiopia[J]. Soil&Tillage Research,2007,94(1):101-108.

[10] Adesodun J K, Adeyemi E F, Oyegoke C O. Distribution of nutrient elements within water stable aggregates of two tropical agro ecological soils under different land uses[J]. Soil&Tillage Research,2007,92(1):190-197.

(下转第 89 页)

方向的草地区域,坡耕地也多开垦在河谷两侧缓坡,但河流中的泥沙含量较少。这主要是由于这一区域坡耕地四周多有植物篱围绕,或是天然的条状灌木林地,或是人工种植的条形灌木篱笆。这样的植物篱对耕地的水土流失有很好的防治作用,同时能够有效地提高土壤肥力和抗侵蚀能力<sup>[7]</sup>。因此,在调查研究当地特征的基础上,针对研究区的土地利用特征提出了林—灌—耕地交错区综合治理模式。该模式以生物措施为主,通过补植造林、封山育林措施,恢复当地林灌草结构。对居民点周边耕地,采用当地灌木修筑植物篱,保护耕地。

## 4 结论

藏东横断山区典型小流域矮西沟小流域平均水土流失强度达到了  $5\,494.62\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,属于强度侵蚀区。水土流失以水力侵蚀为主,而冻融侵蚀与水力侵蚀的交错使水土流失特征复杂,水土流失强度增大,因此水土流失治理必须考虑综合性和地方性<sup>[8]</sup>。本研究依据不同侵蚀特征建立的治理模式均包括工程措施,生物措施和管理措施等,手段丰富,同时在空间上对不同模式进行了合理布局确保了水土流失治理的综合性。地方性主要体现在治理模式的针对性上,既有针对强度侵蚀区的草地冲沟侵蚀区治理模式和坡耕地面状侵蚀区治理模式,也有针对特殊侵蚀类型的水蚀和冻融侵蚀交错区治理模式,更有基于调查

结果,总结当地有效水土保持措施基础上提出的林—灌—耕地交错区综合治理模式。由于研究区的生态脆弱性特征,这些治理模式的生态效应有待进一步深入研究。

### 参考文献:

- [1] 王小丹,钟祥浩,王建平. 西藏高原土壤可蚀性及其空间分布规律初步研究[J]. 干旱区地理,2004,27(3):343-346.
- [2] 卜兆宏,唐万龙,杨林章,等. 水土流失定量遥感方法新进展及其在太湖流域的应用[J]. 土壤学报,2003,40(1):1-9.
- [3] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [4] 龙会英,金杰,张德,等. 豆科牧草和灌木在元谋干热河谷小流域综合治理的应用研究[J]. 水土保持研究,2010,16(2):254-258.
- [5] 王仁德,吴晓旭. 毛乌素沙地治理的新模式[J]. 水土保持研究,2009,16(5):176-180.
- [6] 孟凡超,王玉杰,赵占军,等. 城市河道岸坡近自然治理技术及其生态效应评价[J]. 水土保持研究,2011,18(6):228-236.
- [7] 陈海滨,陈志彪. 侵蚀红壤小流域水土保持措施的土壤肥力效应评价:以朱溪小流域为例[J]. 水土保持研究,2011,18(5):81-86.
- [8] 戴全厚,喻理飞,喻定芳,等. 东北低山丘陵区小流域生态经济系统优化模式研究:以黑牛河流域为例[J]. 水土保持研究,2008,15(4):37-42.

(上接第85页)

- [11] 吴建国,张小全,徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较[J]. 植物生态学报,2004,28(5):657-664.
- [12] 谭文峰,朱志锋,刘凡. 江汉平原不同土地利用方式下土壤团聚体中有机碳的分布与积累特点[J]. 自然资源学报,2006,21(6):973-979.
- [13] 杨长明,欧阳竹. 华北平原农业土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响[J]. 土壤,2008,40(1):100-105.
- [14] 郭菊花,陈小云,刘满强. 不同施肥处理对红壤性水稻土团聚体的分布和有机碳、氮含量的影响[J]. 土壤,2007,39(5):787-793.
- [15] 徐江兵,李成亮,何园球. 不同施肥处理对旱地红壤团聚体中有机碳含量及其组分的影响[J]. 土壤学报,2007,44(4):675-682.
- [16] 蒋雪林. 土壤碳水化合物总量的直接测定[J]. 土壤学进展,1994,22(2):40-44.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所土壤与环境分析中心. 土壤理化分析与剖面[M]. 北京:中国标准出版社,1996.
- [18] 蒋静,周运超,杜光平. 石灰岩发育的乔木林下土壤团聚体形成的影响因素[J]. 中国水土保持,2011(7):47-50.
- [19] 侯雪莹,韩晓增. 土壤有机无机复合体的研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究,2008,24(1):61-67.
- [20] 徐建民,袁可能. 我国地带性土壤中有机质氧化稳定性的研究[J]. 土壤通报,1995,26(1):1-13.