

云南蒋家沟泥石流滩地土壤肥力特性

王道杰, 崔鹏, 朱波, 韦方强

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041)

摘要: 蒋家沟泥石流滩地地势平坦, 水源充足, 热量丰富, 是较好的土地资源。为促进滩地的开发利用, 对滩地土壤肥力作了初步研究, 结果表明: 滩地剖面结构和土壤物理结构较差, 沙石化现象严重; 土壤微团聚体数量较少, 粒级间比例不合理, 水稻田表层土微团聚体主要集中在 0.02~0.002 mm, 旱作表层土微团聚体主要集中在 0.25~0.05 mm; 土壤养分除全钾极丰富外, 其它养分都处于缺乏或极缺状态; 在开发过程中, 全氮增加显著, 其它养分含量变化不大, 有效钾呈下降趋势。

关键词: 蒋家沟; 泥石流滩地; 土壤肥力特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)06-0007-05

中图分类号: S158.2

Soil Fertility Properties of Debris Flow Waste-shoal Land in Jiangjia Gully of Yunnan Province

WANG Dao-jie, CUI Peng, ZHU Bo, WEI Fang-qiang

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of

Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, Sichan Province, China)

Abstract Debris flow waste-shoal land, with proper sunshine and abundant water resource and gentle slope, is a kind of land resource in Jiangjia gully. In order to exploit the debris flow waste-shoal land, the soil fertility properties are studied. The results indicate that, (1) The soil of debris flow waste-shoal land is stoned and sanded seriously. The power of absorbing and supplying moisture and nutrients is low, which is concerned on soil layers and soil particle composition. (2) The microaggregate of the debris flow waste-shoal land is less, mainly distributed in 0.02 to 0.002 mm in the rice-field topsoil and in 0.25 to 0.05 mm in the dry land. (3) The soil nutrient is poor. Organic matter, total N, total P, available N, available P and available K are lack seriously. Wherever total K is abundant, and the applications of organic and inorganic fertilizer, and siltigation are advantageous to improve the soil synthetic fertility.

Keywords Jiangjia gully; debris flow waste-shoal land; soil fertility

泥石流滩地是泥石流暴发后形成的泥石流堆积物, 为由固体、液体和气体组成的多相混杂堆积体, 具有植物生长和开发利用的基本条件^[1]。蒋家沟泥石流滩地地势平坦, 水源充足, 热量丰富, 是较好的土地资源, 其滩地的开发已成为该区发展经济和改善生态环境的重要途径。据调查, 蒋家沟流域泥石流滩地开垦的水稻田耕种多年后年产量可达 10500 kg/hm²^[2]。近年来, 对泥石流滩地的研究引起了国内外学者广泛重视^[3-11], 但对泥石流滩地土壤肥力特性的研究开展很少。本文以泥石流典型地段——蒋家沟泥石流滩地为研究样地, 从滩地剖面结构及土壤理化性质方面, 探讨滩地土壤肥力特性, 以期对滩地改良和开发提供科学依据。

1 研究样地与研究方法

1.1 研究样地概况

蒋家沟位于云南省东北部, 是金沙江水系小江右岸的一条支流。流域位于康滇地轴东缘的小江断裂带内(北纬 23°13'—23°17', 东经 103°6'—103°13'), 由于老构造错综复杂, 新构造运动强烈, 加之人类不合理的经济活动, 使该沟成为我国泥石流最发育的典型沟谷^[7], 发育有多期泥石流滩地, 因而, 本文把蒋家沟泥石流滩地选做研究样地。泥石流滩地主要分布于流域的中下游, 结构性差(表 1)。滩地面积为 396 hm², 现已开发 286 hm²^[2]。由于泥石流的危害, 滩地连续开发时间很不稳定, 连续开发最长时间只有 10 a 多。

收稿日期: 2003-07-25

修回日期: 2003-10-15

资助项目: 本研究得到国家自然科学基金重点项目(49831010); 中国科学院成都山地所灾害与环境青年种子基金(200320)

作者简介: 王道杰(1968-), 男(汉族), 四川人, 硕士, 助研。主要从事土壤学、农业生态的研究工作。电话(028)85247550

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 蒋家沟泥石流滩地土壤颗粒组成

%

土壤 编号	A, B 两层土壤不同粒径 /mm													
	2~ 1		1~ 0.5		0.5~ 0.25		0.25~ 0.05		0.05~ 0.02		0.02~ 0.002		< 0.002	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	15.95	24.17	14.49	21.29	6.23	9.68	10.47	17.31	20.27	14.80	17.64	6.71	14.95	6.04
2	12.31	14.78	11.92	14.61	6.93	8.01	16.63	16.46	20.95	18.29	16.78	13.92	14.48	13.93
3	0.16	27.54	0.02	3.44	0.16	12.76	37.46	11.64	8.22	8.10	30.40	22.00	23.58	14.52
4	0.38	11.43	0.34	10.65	0.47	6.03	5.35	14.29	32.52	21.12	35.03	19.35	25.91	17.13
5	0.16	10.26	0.81	9.19	1.15	5.61	5.63	12.02	23.06	23.00	39.11	22.40	30.08	17.52
6	13.59	23.93	11.79	22.35	8.16	8.22	9.62	10.73	23.55	12.75	17.80	8.60	15.49	13.42
7	5.70	11.41	7.52	14.41	6.26	7.63	17.27	14.28	34.98	20.64	15.85	15.75	12.42	15.88
8	15.12	14.47	12.37	14.48	6.28	7.45	13.96	13.32	21.56	19.72	16.47	16.55	14.24	14.31
9	9.04	11.08	16.32	14.53	9.67	8.55	14.56	16.36	20.43	19.95	14.23	15.69	15.75	13.84
10	2.35	11.84	4.12	12.54	5.64	7.22	17.80	14.20	28.08	21.20	21.76	16.57	20.25	16.48

1.2 土壤取样方法

在流域中下游选择典型地段,对不同时代的泥石流荒滩地及不同开发利用方式(水稻、旱作)和开发利用时间的滩地开挖土壤剖面并分层取样,荒滩地的取样深度分 0~20 cm 和 20~40 cm 两层,已开发滩地分表土层和表土下层,其深度以表土层的厚度而定(表 2)。记录土壤剖面层次结构,每个土样约重 1500 g,比常规 500 g 土样,将土样带回室内作常规分析。

1.3 样品分析方法

有关测定均按常规方法进行^[12-13]。土壤颗粒及微团聚体组成:吸管法;土壤全氮:半微量开氏法;有效氮:扩散吸收法;土壤全磷:氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法;有效磷:碳酸氢钠浸提法;全钾:氢氧化钠碱熔—火焰光度法;有效钾:1 mol/L 乙酸铵浸提—火焰光度法;有机质:重铬酸钾氧化—外加热法;pH 电位法

2 结果与分析

2.1 蒋家沟泥石流荒滩地剖面结构特性

蒋家沟泥石流荒滩地剖面上下层结构比较均匀,无明显分层现象。由于蒋家沟泥石流以黏性为主,流体黏稠,结构紧密,最高容重可达 2.37 t/m³^[7],沉积时,流体几乎呈整体堆积,与洪积物和河漫滩的沉积环境,沉积过程相差极大,泥浆将大小颗粒包裹在一起,颗粒分选性差,沉积层理不明显,形成的堆积物没有明显分层现象。黏性泥石流的沉积特性决定了其形成的滩地剖面结构非常不合理,在开发中很难形成作物所需的土层结构,导致滩地土壤保肥、保水功能差。

2.2 泥石流滩地土壤颗粒组成

蒋家沟泥石流滩地“沙石化”现象严重,土壤物理结构差。泥石流滩地土壤颗粒组成见(表 1,2):荒滩地石砾含量大于 60%,沙粒含量在 47.14%~72.45% 之间,黏粒含量介于 6.04%~14.95% (石砾含量未计入 <2 mm 土粒组成,下同);水稻田表层土(淤泥层)砾石含量极少,仅为 1% 左右,沙粒含量显著下降(7.75%~37.8%),粉粒及黏粒含量显著增加,为 62.20%~97.46%;旱地轮作表层土介于两者之间,砾石含量为 8.01%~44.17%,沙粒含量为 29.91%~49.59%,粉粒及黏粒含量为 50.41%~80.09%。土壤颗粒是构成土壤结构的主要组分,其粒径的大小及组成比例决定着土壤的空隙特性、持水性、水分运动及土壤气体和热状况,对土壤肥力有决定性的影响^[14]。土壤颗粒粒径越小,其表面吸附力越大,对水、肥保蓄功能越强,供释功能越弱,反之亦然。根据土壤颗粒组成,参照美国制土壤质地分类三角坐标图^[13],可查得滩地土壤质地名称(见表 2):荒滩地主要为粉壤土、沙质壤土及壤质沙土;水稻田表层土壤土和粉质黏壤土;旱地轮作主要为粉壤土。可见,泥石流荒滩地保肥、蓄水功能较弱,其开发种植水稻的表层土保肥、蓄水功能较强,旱地轮作表层土介于两者之间。因此,在滩地开发利用过程中,应对其土壤物理结构进行改良,水稻田表层土颗粒组成较为合理,其主要原因是水稻田长期引浑停淤改良的结果。

2.3 泥石流滩地土壤微团聚体组成

蒋家沟泥石流滩地土壤微团聚体数量较少,不同粒级微团聚体组成比例不合理(表 3)。

表 2 蒋家沟泥石流滩地土壤质地类型

土样编号	样地类型	土层厚度 / cm	石砾 % (> 2 mm)	沙粒 % (> 0.05 mm)	粉粒 % (> 0.002 mm)	黏粒 % (< 0.002 mm)	土壤质地类型
1	荒滩地 1a	A 0~ 20	66.95	47.14	37.91	14.95	粉壤土
		B 20~ 40	78.11	72.45	21.51	6.04	壤质沙土
2	荒滩地 12a	A 0~ 20	61.33	47.79	37.73	14.48	粉壤土
		B 20~ 40	47.57	53.86	32.21	13.93	沙质壤土
3	水稻田 2a	A 淤泥层 0~ 10	0.90	37.8	38.62	23.58	壤土
		B 10~ 30	40.53	55.38	30.10	14.52	沙质壤土
4	水稻田 6a	A 淤泥层 0~ 20	1.15	6.54	67.55	29.91	粉质黏壤土
		B 20~ 40	46.46	42.40	40.47	17.13	粉壤土
5	水稻田 12a	A 淤泥层 0~ 35	1.16	7.75	62.17	30.08	粉质黏壤土
		B 35~ 50	44.16	37.08	45.40	17.52	粉壤土
6	旱作 1a	A 表土层 0~ 8	44.17	43.16	41.35	15.49	粉壤土
		B 8~ 30	70.83	65.23	21.35	13.42	沙质壤土
7	旱作 3a	A 表土层 0~ 12	31.62	36.75	50.83	12.42	粉壤土
		B 12~ 30	52.95	47.73	36.39	15.88	粉壤土
8	旱作 6a	A 表土层 0~ 18	43.18	47.73	38.03	14.24	粉壤土
		B 18~ 40	47.37	49.42	36.27	14.31	粉壤土
9	旱作 10a	A 表土层 0~ 20	8.01	49.59	34.66	15.75	粉壤土
		B 20~ 40	66.07	40.52	35.64	13.84	粉壤土
10	旱作 12a	A 表土层 0~ 25	14.43	29.91	49.84	20.25	粉壤土
		B 25~ 45	44.35	45.80	37.22	16.48	粉壤土

注: 石砾含量未计入 < 2 mm 土粒组成。

表 3 蒋家沟泥石流滩地土壤微团聚体组成

土壤编号	A, B 两层土壤不同粒径 / μm													
	2~ 1		1~ 0.5		0.5~ 0.25		0.25~ 0.05		0.05~ 0.02		0.02~ 0.002		< 0.002	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	33.06	36.76	6.01	3.36	22.48	32.19	6.72	12.07	6.66	3.50	17.03	8.66	8.03	3.42
2	19.08	22.05	2.30	2.69	19.18	16.72	20.50	20.31	12.87	16.2	18.22	11.34	7.85	10.69
3	0.27	26.27	0.19	4.51	0.44	15.70	6.06	17.24	11.07	12.28	72.75	19.19	9.22	4.81
4	0.49	15.97	0.48	2.88	1.00	11.77	12.95	31.94	17.73	15.07	51.38	14.87	15.97	7.51
5	1.35	10.68	0.33	2.89	3.03	16.49	16.58	19.56	13.99	14.00	53.41	25.45	11.33	10.92
6	28.22	33.12	3.15	5.11	14.11	23.01	35.46	10.00	16.73	4.91	0.53	17.12	1.80	6.74
7	16.91	8.94	3.16	2.75	14.77	13.91	18.46	39.76	14.70	17.6	25.08	10.46	6.92	6.57
8	22.56	23.32	3.00	2.34	16.84	13.70	24.74	20.81	11.51	14.56	17.45	15.89	3.91	8.39
9	15.57	19.32	4.14	4.22	20.74	17.73	25.45	16.61	14.56	12.35	13.06	17.85	6.49	9.92
10	3.00	1.34	0.93	0.33	13.13	3.00	49.62	53.42	26.18	10.36	2.13	25.18	5.01	6.38

荒滩地土壤微团聚体数量较少, 仅为 24.23%~51.59%; 水稻田表层土微团聚体数量较高, 0.25~0.002 mm 范围内的含量为 82.06%~89.88%, 主要集中在 0.02~0.002 mm 范围内, 含量为 51.38%~72.75%; 旱地轮作表层地土的微团聚体也有较大提高, 0.25~0.002 mm 范围内含量为 52.72%~77.93%, 主要集中在 0.25~0.05 mm 范围内, 含量为 18.46%~49.62%。小粒级微团聚体有较强的持水性和保肥性, 对水肥有较大的供应潜势; 大粒级微团聚体对水肥的释供能力较强, 能提供可被植物直接利用的水分和养分^[15]。可见, 荒滩地和旱地轮作表层土对水肥的保蓄能力较弱, 土壤的自动调节性能差。

水稻田表层土对水肥的保蓄和释供能力及自动调节性能较强。其原因主要是种植水稻时施用大量有机肥和引浑停淤改良了土壤质地, 而旱地轮作施入有机肥量及引浑停淤次数较少。

2.4 蒋家沟泥石流滩地土壤养分特性

土壤养分是土壤肥力的重要物质基础, 养分含量高低在很大程度上决定着肥力水平的高低^[16]。蒋家沟泥石流滩地土壤养分特性见表 4, 根据中国土壤养分分级标准^[17](见表 5), 对滩地土壤养分进行分级(见表 6)。研究表明, 蒋家沟泥石流滩地土壤养分除全钾极丰富外, 其它养分含量都处于缺乏或极缺乏状态, 土壤呈碱性。

2.4.1 荒滩地养分特性 荒滩地养分含量分别为:有机质 0.44%~0.70%;全氮、全磷、全钾:0.94~1.06,0.58~0.68,31.75~33.06 g/kg;有效氮、磷、钾:21.02~22.65,2.41~3.17,35.23~43.02 mg/kg 滩地土壤全钾极丰富的主要原因是泥石流堆积体中的黏土矿物以伊利石(水云母)、绿泥石和蒙脱石为主^[7],这些矿物含有丰富的钾元素,故泥石流滩地土壤钾肥潜力较大,但有效钾含量很低。

2.4.2 耕作地表层土养分特性 滩地开发几年后,土壤养分含量有所提高,水稻田较为显著,旱作地次之。其主要原因为种植水稻时,施入较多的有机肥和氮、磷肥(未施钾肥),使有机质、全氮、全磷、有效氮、有效磷的含量提高,同时因有机肥营养元素全面,使

有效钾含量也有所提高;旱地轮作时,重氮、磷肥而轻视有机肥,未施钾肥,故全氮、全磷、有效氮、有效磷的含量提高较大,有机质含量提高很少,有效钾有下降趋势。无论是旱地轮作或种植水稻,其土壤养分仍十分贫瘠,各类养分含量大部分处于缺乏或较缺状态。

2.4.3 开发利用时间对滩地土壤养分的影响 泥石流滩地土壤养分随开发利用时间的延长发生了相应的变化:土壤中的全氮显著增加,其回归方程和相关系数为 $y = 0.1182x + 1.1974$, $R = 0.8766$;有效氮含量随耕作时间的延长增加幅度不大;有机质、全磷、全钾及有效磷含量较稳定,有效钾的含量(旱作地)呈下降趋势。其主要原因是开发过程中长期重氮、磷肥,轻有机肥,忽视钾素补给。

表 4 蒋家沟泥石流滩地土壤养分特性

土样编号	土层厚度 / cm	pH	有机质 / %	全氮 / (g° kg ⁻¹)	全磷 / (g° kg ⁻¹)	全钾 / (g° kg ⁻¹)	有效氮 / (mg° kg ⁻¹)	有效磷 / (mg° kg ⁻¹)	有效钾 / (mg° kg ⁻¹)
1	A 0-20	8.91	0.70	0.3	0.68	32.45	22.65	2.64	37.80
	B 20-40	9.11	0.68	1.06	0.62	31.72	22.28	2.41	35.23
2	A 0-20	8.89	0.59	1.00	0.60	33.06	21.02	3.17	43.02
	B 20-40	8.93	0.44	0.94	0.58	32.44	22.13	3.06	40.49
3	A 0-10	8.56	0.87	1.62	0.077	36.88	41.00	9.01	68.96
	B 10-30	8.85	0.69	1.47	0.68	31.75	23.58	3.91	35.37
4	A 0-20	8.47	0.87	1.97	0.70	34.81	41.66	7.31	60.56
	B 20-40	8.87	0.63	1.34	0.72	34.17	26.45	3.01	47.18
5	A 0-35	8.40	0.98	2.46	0.69	35.58	38.37	5.34	57.42
	B 35-50	8.59	0.69	1.32	0.64	31.01	32.08	2.01	32.99
6	A 0-8	8.93	0.81	1.12	0.89	28.45	29.88	14.20	41.22
	B 8-30	8.98	0.41	1.09	0.71	29.07	23.13	7.59	40.73
7	A 0-12	8.56	0.79	1.86	0.81	31.63	32.04	13.43	32.88
	B 12-30	8.83	0.42	1.61	0.64	31.18	26.25	3.30	33.76
8	A 0-18	8.47	0.80	1.77	0.86	30.94	32.98	14.28	30.43
	B 18-40	8.89	0.40	0.99	0.73	32.81	21.59	4.37	32.09
9	A 0-20	8.30	0.74	2.48	0.88	32.58	33.45	8.52	33.07
	B 20-40	8.89	0.30	0.95	0.68	30.78	20.17	3.09	33.65
10	A 0-25	8.57	0.74	2.54	0.88	33.28	36.33	13.91	33.73
	B 25-45	8.78	0.37	1.30	0.80	30.63	23.57	4.52	32.96

表 5 土壤养分含量分级标准^[13]

项 目	极丰富	丰富	中等	较缺	缺乏	极缺
有机质 / %	> 4	4~3	3~2	2~1	1~0.6	< 0.6
全氮 / (g° kg ⁻¹)	> 2	2~1.5	1.5~1.0	1.00~0.75	0.75~0.50	< 0.5
全磷 / (g° kg ⁻¹)	> 2	2~1.5	1.5~1.0	1.0~0.7	0.7~0.4	< 0.4
全钾 / (g° kg ⁻¹)	> 25	25~20	20~15	15~10	10~5	< 5
有效氮 / (mg° kg ⁻¹)	> 150	150~120	120~90	90~60	60~30	< 30
有效磷 / (mg° kg ⁻¹)	> 40	40~20	20~10	10~5	5~3	< 3
有效钾 / (mg° kg ⁻¹)	> 200	200~150	150~100	100~50	50~30	< 30

表 6 蒋家沟泥石流滩地土壤养分分级

样地类型	有机质 / %	全氮 / (g° kg ⁻¹)	全磷 / (g° kg ⁻¹)	全钾 / (g° kg ⁻¹)	有效氮 / (mg° kg ⁻¹)	有效磷 / (mg° kg ⁻¹)	有效钾 / (mg° kg ⁻¹)
泥石流 荒滩地	0.44~ 0.70 (缺乏—极缺)	0.94~ 1.06 (较 缺)	0.58~ 0.68 (缺 乏)	31.75~ 33.06 (极丰富)	21.02~ 22.65 (极缺乏)	2.41~ 3.17 (极缺—缺乏)	35.23~ 43.02 (缺 乏)
水稻田 表层土	0.87~ 0.98 (缺 乏)	1.62~ 2.46 (丰富—极丰)	0.69~ 0.77 (较 缺)	34.81~ 36.88 (极丰富)	38.37~ 41.66 (缺 乏)	5.34~ 9.01 (较 缺)	57.42~ 68.96 (缺乏—中等)
旱 作 表层土	0.074~ 0.81 (缺 乏)	1.12~ 2.54 (中等—极丰)	0.80~ 0.88 (较 缺)	28.45~ 33.28 (极丰富)	29.88~ 36.33 (缺 乏)	8.52~ 14.28 (较缺—中等)	33.07~ 41.22 (缺 乏)

3 结 论

(1) 蒋家沟泥石流滩地剖面结构和土壤物理结构较差,“沙石化”现象严重,蓄水、保肥能力较弱,通过引浑停淤和增施有机肥能较好地改良土体结构,但引浑停淤也可能引起滩地土壤黏化,因此,引浑停淤技术及措施有待进一步研究。

(2) 滩地土壤微团聚体数量较少,在开发利用过程中有所提高,但不同粒级微团聚体组成比例仍不合理,水稻田表层土微团聚体主要集中在 0.02~ 0.002 mm,旱作表层土微团聚体主要集中在 0.25~ 0.05 mm,其保肥、蓄水与水肥释供能力仍不十分协调,有待进一步改善。

(3) 滩地土壤养分贫瘠,除全钾含量极丰富外,其它养分含量都处于极缺乏或缺乏状态,在开发利用过程中养分含量有所增加,但大部分养分仍处于较缺或缺乏状态。种植时应加大施肥量,实行农牧轮作,种植绿肥,做到用、养结合。

(4) 滩地土壤中全氮随开发时间的延长显著提高,但其它养分含量变化幅度较小,有效钾呈下降趋势。有机—无机肥料应配合施用,注意氮、磷、钾之间施肥比例,实施配方施肥。

(5) 泥石流滩地开垦具有一定的风险度,必须加强上游的水土保持生态环境建设和保护,沟道内修建拦挡与排道工程,才能延长使用年限。

本文得到何毓蓉研究员和杨忠副研究员的审阅并提出修改意见,得到中国科学院东川泥石流观测站全体工作人员的支持与协助,谨致谢忱。

[参 考 文 献]

[1] 钟祥浩,潘嘉峰,罗辑.山区的一种特殊灾害生态现象研究[J].自然灾害学报,2000,9(4): 24- 28.

- [2] 胡发德,等.云南蒋家沟泥石流滩地开发[J].山地研究,1997,15(2): 114- 118.
- [3] 谭万沛.泥石流扇的类型与土地利用模式[J].地理学与国土研究,2000,16(1): 71- 75.
- [4] 刘玉洁,韦方强.泥石流滩地的开发利用对流域环境的影响[J].灾害学,2001,16(2): 18- 22.
- [5] Sohn Y K. Coarse-grained debris-flow deposits in the Miocene fan deltas, S E Korea: a scaling analysis [J]. Sedimentary Geology,2000(30): 45- 64.
- [6] Dai Fuchua, Lee C F, Wang Sijing. Analysis is of rainstorm-induced slide-debris flows on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong [J]. Engineering Geology,1999,51: 279- 290.
- [7] 吴积善,等.云南蒋家沟泥石流观测研究[M].北京: 科学出版社,1990. 1- 241.
- [8] 唐川,朱静.云南小江流域泥石流堆积扇研究[J].山地研究,1991,9(3): 179- 184.
- [9] 唐川,等.泥石流堆积扇危险度分区评价的数值模拟研究[J].灾害学,1994,9(4): 7- 14.
- [10] 田连权.滇东北蒋家沟黏性泥石流堆积地貌[J].山地研究,1991,9(3): 185- 192.
- [11] 罗贵生,朱平一.蒋家沟及其邻近地区泥石流堆积物的组成特征[J].山地研究,1987,5(4): 231- 236.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所编.土壤理化分析[M].上海: 上海科学技术出版社,1978. 62- 136.
- [13] 刘光崧,等.土壤理化分析与剖面描述[M].北京: 中国标准出版社,1996. 123- 174.
- [14] 严昶升.土壤肥力研究方法[M].北京: 农业出版社,1998. 17- 41.
- [15] 陈恩凤,等.土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J].土壤学报,2001,38(1): 49- 53.
- [16] 朱祖祥.土壤学[M].北京: 农业出版社,1983. 190- 224.
- [17] 全国土壤普查办公室.中国土壤普查技术[M].北京: 农业出版社,1990.