

长期水耕植稻对水稻土耕层质地的影响

章明奎, 邱志腾, 毛霞丽

(浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058)

摘要: 为了解长期水耕植稻对南方地区水田表土层颗粒组成的影响,以浙江省为研究区,采用历史资料分析、典型样区调查及定点观察相结合的方法,研究水稻土耕作层(包括犁底层)与心土层间黏粒含量的差异,分析植稻时间对水稻土不同土层颗粒组成的影响,比较植稻期间稻田排水中泥砂物质的颗粒组成与对应土壤间的差异,探讨了长期植稻对水稻土剖面质地分异的影响。对浙江省 456 个代表性剖面统计,与水稻土心土层比较,耕作层和犁底层黏粒含量平均下降了 14% 和 10%。对植稻不同时间的浅海沉积物(从 10~20 年至 >80 年)、第四纪红土(从 5~20 年至 >70 年)和玄武岩风化物(从 5~20 年至 35~70 年)发育的水稻土比较发现,随植稻时间的增加,耕作层和犁底层土壤砂粒含量呈现增加趋势,黏粒含量明显下降,耕作层、犁底层与心土层黏粒含量的比值逐渐下降。农田排水中泥砂物质的黏粒和粉砂含量高于对应农田土壤,而砂粒含量则低于相应的土壤。分析认为,长期水耕植稻可导致耕作层土壤砂化(即砂粒含量增加,黏粒含量下降),其原因除与水耕过程中黏粒淋淀外,排水中黏粒和粉砂细颗粒的选择性流失对耕作层砂化也有较大的贡献。

关键词: 土壤砂化; 水耕; 土壤颗粒选择性流失; 水稻土

中图分类号: S155.2⁺92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)06-0249-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.036

Effect of Long-term Rice Plantation on Texture of Tillage Layer in Paddy Soils

ZHANG Mingkui, QIU Zhiteng, MAO Xiali

(College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058)

Abstract: To understand the effect of long-term rice cultivation on the particle composition of surface soil layer in paddy field of the southern China, the difference in clay content between tillage layer (including plow layer) and subsurface of paddy soils was studied using historical data, the influence of rice cultivation time on the particle composition of different soil layers in the paddy soils was investigated in three typical areas, the difference in particle composition between field drainage sediments and corresponding paddy soils was compared in 21 fixed-point observation fields. The effect of long-term rice plantation on the texture differentiation of the paddy soil profiles was discussed. All investigations were carried out in Zhejiang province. Statistical results of 456 representative paddy soil profiles in Zhejiang province showed that, the clay content in plough and plow layers decreased by 14% and 10%, respectively, as compared with their subsurface soils. Comparison investigation from three types of paddy soils developed from coastal sediment (from 10~20 years to >80 years), quaternary red clay (from 5~20 years to >70 years), and basalt (from 5~20 years to 35~70 years), respectively, showed that contents of sand in the plough and plow layers in the soils increased with increasing rice plantation time, while that of clay decreased with increasing rice plantation time. The ratio of the clay content of the plough and plow layers to their subsurface decreased gradually with the increase of the rice plantation time. The contents of clay and silt in the sediments from farmland drainage were higher than those in the corresponding farmland soils, while the sand content was lower than that in the corresponding soils. It was considered that long-term rice cultivation could result in soil sanding with increase of sand and decrease of clay. That was due to both the selective loss of clay and silt particles in the drainage and mechanical eluviations of clay particles during anthropogenic tillage.

Keywords: soil sanding; anthropogenic tillage; selective loss of soil particles; paddy soil

受各种成土因素的影响,自然界中土壤性状一直处于动态变化之中,其演变方向和速率与其所处的成土环境密切相关^[1],因此自然界的土壤性状和类型可呈现地带性和区域性的变化规律。人类对土壤资源的开发利用打破了土壤的自然演化规律,改变了土壤的演变方向^[2-3]。许多研究^[4-6]表明,农业土壤与自然土壤性状存在很大的差异,由于长期施肥与频繁耕作,农业土壤中磷素积累较高,而农业土壤的有机碳水平一般低于相应的自然土壤^[7-9];与此同时,农业土壤中的水稳定性团聚体含量也因耕作破坏明显低于自然土壤^[10-12]。我国许多地区的研究^[13-15]表明,在地表起伏较大的山地丘陵和高原地区,土壤资源的开发利用可引发明显的水土流失,后者不仅导致土层变薄,也可造成表土黏粒含量和养分等的下降,局部地区的土壤还可呈现明显的砂化现象^[16-17]。水稻土是人类长期种植水稻所形成的特殊土壤,其受人为活动的影响程度在众多人为利用的土壤中最为显著,故在土壤分类中把这类土壤命名为“水耕人为土”^[18]。因水稻生长的需要,种植水稻的田块接近水平,这在一定程度上减弱了水土流失的风险。因此,通常认为水稻田地表较为稳定。但与旱地相比,稻田频繁的耕作及反复的灌溉/排水等对土壤扰动不可忽视,特别是反复的排水(特别是在雨季)等农事活动也可对表土发生冲刷,带走土壤中的某些矿物质。一些区域土壤调查资料^[19]显示,种植水稻时间久长的农田土壤的质地常常比相同母质发育的自然土壤轻,这种现象一般被解释为黏粒淋淀的结果^[20]。为了解稻田耕层黏粒在长期种植水稻过程中的下降是否具有普遍性及地表排水是否会影响耕作层的质地,本文以浙江省为研究区,采用历史资料分析、典型样区调查及定点观察相结合的方法,研究水稻土剖面中耕作层(包括犁底层)与心土层(本文指紧接犁底层以下的土层,下同)间黏粒含量的差异,分析水稻种植时间对水稻土不同土层颗粒组成的影响,探讨了稻田排水中矿物质的流失对水稻土剖面质地分化的潜在影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

浙江省位于中国东南沿海(27°12′—31°31′N, 118°00′—123°00′E),东濒东海,南界福建,西与江西、安徽相连,北与上海,江苏为邻,陆域面积 10.18 万 km²;地处亚热带,年均气温 15.4~18.1℃,年降水量 1 100~1 900 mm。浙江省为水稻之乡,据余姚河姆渡和桐乡罗家角古文化遗址出土稻谷碳 14 同位素断代,水稻栽培历史达 7 000 年之久。浙江省水稻土在全省各地均有分布,以水网平原和滨海平原的分布最为集中,丘陵山区的河谷平原和山垅谷地及缓坡地

也有分布;全省水稻土面积为 212 万 hm²,占全省土壤总面积的 22%。根据第 2 次土壤普查,全省水稻土共分为淹育水稻土、渗育水稻土、潜育水稻土、潜育水稻土和脱潜水稻土等 5 个亚类,下续分为 50 个土属 168 个土种。

1.2 水稻土剖面黏粒垂直分异的调查

从浙江省第 2 次土壤普查的分析数据中收集 456 个水稻土剖面的颗粒组成分析结果,分类计算耕作层、犁底层与心土层黏粒含量的比值。这些土壤剖面有很好的代表性,覆盖了浙江全省水稻土的主要土种。

1.3 植稻时间对水稻土剖面颗粒组成的影响

于 2016 年 11—12 月在典型地区选择了浅海沉积物、第四纪红土和玄武岩风化物 3 类母质发育的 3 种水稻土开展田间采样与室内分析调查,研究各类母质上发育的水稻土剖面土壤颗粒组成随植稻时间的变化趋势。之所以选择这些母质,是因为这些母质形成的自然土壤剖面颗粒组成较为均一,且在空间上变化较小。其中,浅海沉积物发育不同年龄的水稻土采自浙江省绍兴市上虞区和相邻的宁波余姚市;第四纪红土发育的不同年龄的水稻土采自金衢盆地;玄武岩风化物发育的不同年龄的水稻土采自新(昌)嵊(州)盆地。

1.4 排水中泥砂颗粒组成与相应农田土壤的比较

于 2015 年 6—10 月选择 21 块土壤质地差异较大的稻田,定点在水稻生长期采集田间排水中的泥砂,同时采集相应农田表土(0—15 cm)混合样品,用于颗粒组成分析。各农田排水样中的泥砂样由多次从采集的排水中分离获得。每次采集的排水置于 50 L 的塑料桶中经自然沉降后,去除上层清水采集,获得泥砂样,同一农田多次收集的泥砂样合并后成为 1 个分析样。

1.5 分析方法

土壤和泥砂样的颗粒组成采用吸管法测定^[21]。数据统计分析采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 20.0 软件进行,采用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 水稻土剖面中黏粒含量的分异

由于成土母质对土壤黏粒含量有较大影响,文中不对黏粒含量进行统计,直接采用不同土层间黏粒的相对比值来反映剖面中黏粒含量的分异(表 1)。对浙江省第 2 次土壤普查获得的 456 个水稻土剖面统计,耕作层、犁底层与心土层黏粒含量的比值分别为 0.58~1.10 和 0.58~1.16,平均分别为 0.86 和 0.90,表明与水稻土心土层比较,浙江全省水稻土耕作层和犁底层黏粒含量平均下降了 14%和 10%。从各亚类水

稻土的统计结果可知,潴育水稻土和脱潜水稻土的耕作层、犁底层与心土层黏粒含量的平均比值较低,而淹育水稻土和渗育水稻土的平均比值较高,但它们之间的差异没有达到显著水平($P>0.05$)。从水稻土

的演变来看,淹育水稻土和渗育水稻土成土时间较短,潴育水稻土的形成时间较长。因此,从以上结果可以推断,随水稻土形成时间的增长,耕作层、犁底层与心土层黏粒含量的比值呈现下降趋势。

表 1 浙江省水稻土耕作层、犁底层与心土层黏粒含量的比值

土壤 类型	样本数	耕作层/心土层		犁底层/心土层	
		范围	平均	范围	平均
淹育水稻土	106	0.71~1.10	0.90±0.11	0.68~1.14	0.89±0.12
渗育水稻土	73	0.84~0.99	0.89±0.06	0.76~1.04	0.91±0.09
潴育水稻土	177	0.58~1.02	0.84±0.11	0.58~1.11	0.87±0.12
脱潜水稻土	51	0.71~0.98	0.84±0.10	0.68~1.05	0.86±0.10
潜育水稻土	49	0.72~1.00	0.88±0.09	0.77~1.16	1.02±0.16
全部	456	0.58~1.10	0.86±0.09	0.58~1.16	0.90±0.11

2.2 植稻时间对水稻土土壤颗粒组成的影响

表 2 为由第四纪红土、浅海沉积物和玄武岩风化物 3 类母质发育的 3 个典型样区水稻土颗粒组成按植稻时间分组统计的结果。从表 2 可知,3 个样区的结果均显示随着植稻时间的增加,水稻土耕作层和犁底层的黏粒含量呈现明显的下降,砂粒含量呈现明显的增加;心土层颗粒组成略有改变,但变化不明显。在第四纪红土母质发育的黄筋泥田样区,植稻 80 年以上和 35~65 年农田耕作层土壤黏粒含量分别比植稻 10~20 年的农田平均降低 36%和 10%,土壤砂粒含量分别比植稻 10~20 年的农田平均增加 26%和 7%;植稻 80 年以上和 35~65 年农田犁底层土壤黏粒含量分别比植稻 10~20 年的农田平均降低 38%和 10%,土壤砂粒含量分别比植稻 10~20 年的农田平均增加 25%和 8%。在浅海沉积物母质发育的淡涂泥田样区,植稻 70 年以上和 30~50 年农田耕作层土壤黏粒含量分别比植稻 5~20 年的农田平均降低 25%和 4%,土壤砂粒含量分别比植稻 5~20 年的农田平均增加 28%和 13%;植稻 70 年以上农田犁底层土壤黏粒含量比植稻 5~20 年的农田平均降低 12%,土壤砂粒含量比植稻 5~20 年的农田平均增加 28%;植稻 30~50 年农田犁底层土壤黏粒含量与植稻 5~20 年的农田较为接近,土壤砂粒含量比植稻 5~20 年的农田平均增加 14%。在玄武岩风化物发育的红黏田样区,植稻 35~70 年农田耕作层土壤黏粒含量分别比植稻 2~20 年的农田平均降低 12%,土壤砂粒含量比植稻 5~20 年的农田平均增加 12%;相应地,犁底层土壤黏粒含量平均降低 5%,砂粒含量平均增加 6%。耕作层和犁底层土壤粉砂随植稻时间的变化在各样区略有不同,但总体上变化较小。在第四纪红土和玄武岩风化物发育的水稻土样区,耕作层和犁底层土壤粉砂含量随植稻时间增加呈

略有增加趋势,而在浅海沉积物母质发育水稻土样区呈现略有下降的趋势。

耕作层、犁底层与心土层土壤黏粒含量的比值随植稻时间的增加呈现明显的下降,而对应的土壤砂粒含量比值呈现明显的增加,粉砂含量的比值随植稻时间呈明显有增加或基本不变(表 2)。总体上,耕作层与心土层土壤黏粒含量的比值的下降和砂粒含量比值增加的幅度高于犁底层与心土层的相应比值,表明耕作层土壤颗粒组成随植稻时间的变化比犁底层更为明显。

2.3 排水中泥砂颗粒组成特征

由表 3 可知,农田收集的泥砂样品中黏粒和粉砂含量均高于对应的农田;而砂粒含量却相反,前者低于后者。排水中泥砂的黏粒含量比对应土壤高出 9%~140%,平均高出 26%;除 17 号田块外,排水中泥砂的粉砂含量比对应土壤高出 5%~204%,平均高出 35%;而排水中泥砂的砂粒含量比对应土壤降低了 13%~74%,平均降低 46%。这一结果表明,通过排水流失的泥砂中其颗粒具一定的选择性,黏粒与粉砂比砂粒更易从农田排水中流失。相关分析表明,排水中收集的泥砂中黏粒和砂粒含量与对应农田土壤中黏粒、砂粒含量呈正比(r 分别为 0.981 和 0.691, $n=21$),泥砂与土壤的黏粒、砂粒含量比值与农田表层土壤黏粒、砂粒含量均呈负相关(相关系数分别为-0.696 和 -0.443, $n=21$);而排水中收集的泥砂中粉粒含量与对应农田土壤中粉粒含量相关不明显($r=0.140$, $n=21$),但泥砂与土壤的粉粒含量比值与农田表层土壤粉粒含量也呈负相关($r=-0.695$, $n=21$)。这表明随农田排水流失的泥砂中黏粒或砂粒含量随土壤本身黏粒或砂粒含量的增加而增加;但土壤黏粒越高,其排水的泥砂中流失的黏粒比土壤本身黏粒的增幅越小;而土壤质地越砂,其从排水中流失的砂粒占泥砂的比例与土壤相比越低。

表 2 植稻时间对典型样区水稻土颗粒组成的影响

样区	粒级	植稻	n	耕作层/	犁底层/	心土层/	耕作层/	犁底层/
		时间/a		(g·kg ⁻¹)	(g·kg ⁻¹)	(g·kg ⁻¹)	心土层	心土层
黄筋泥田 (第四纪红土发育水稻土)	黏粒	10~20	19	311±15a	331±11a	342±8a	0.91±0.04a	0.97±0.02a
		35~65	16	281±17b	298±12b	334±10a	0.84±0.05b	0.89±0.04b
		>80	15	198±31c	205±19c	335±11a	0.59±0.09c	0.61±0.08c
	粉砂	10~20	19	415±18a	406±14b	401±10a	1.03±0.03b	1.03±0.01b
		35~65	16	425±23a	419±16b	399±13a	1.07±0.04b	1.05±0.02b
		>80	15	458±34a	467±28a	391±19a	1.17±0.05a	1.19±0.04a
	砂粒	10~20	19	274±11b	263±9c	257±7b	1.07±0.03b	1.07±0.02b
		35~65	16	294±19b	283±13b	267±8ab	1.10±0.04b	1.06±0.03b
		>80	15	344±24a	328±21a	274±13a	1.26±0.07a	1.26±0.06a
淡涂泥田 (浅海沉积物发育水稻土)	黏粒	5~20	22	277±10a	283±8a	294±7a	0.94±0.03a	0.96±0.02a
		30~50	15	266±13a	287±11a	309±9a	0.86±0.05b	0.93±0.05ab
		>70	8	207±34b	249±19b	301±13a	0.69±0.09c	0.83±0.07b
	粉砂	5~20	22	486±12a	500±13a	478±8a	1.02±0.02b	1.05±0.01a
		30~50	15	467±15a	466±13b	467±7a	1.00±0.02ab	1.00±0.02a
		>70	8	489±18a	473±19ab	465±9a	1.05±0.03a	1.02±0.02a
	砂粒	5~20	22	237±10c	217±8c	228±5a	1.04±0.03c	0.95±0.02b
		30~50	15	267±14b	247±12b	224±10a	1.19±0.05b	1.10±0.04b
		>70	8	304±19a	278±17a	234±13a	1.30±0.07a	1.19±0.05a
红黏田 (玄武岩风化物发育水稻土)	黏粒	5~20	6	393±11a	429±9a	446±12a	0.88±0.03a	0.96±0.03a
		35~70	12	344±29b	407±19a	424±18a	0.81±0.04b	0.96±0.04a
	粉砂	5~20	6	374±14a	389±12a	381±9a	0.98±0.02a	1.02±0.01a
		35~70	12	395±28a	400±21a	389±14a	1.02±0.04a	1.03±0.04a
	砂粒	5~20	6	233±14b	182±11a	173±10a	1.35±0.05b	1.05±0.04a
		35~70	12	261±22a	193±18a	178±15a	1.47±0.09a	1.08±0.07a

表 3 农田排水中泥砂与对应农田土壤颗粒组成的比较

田块	土壤/(g·kg ⁻¹)			沉积物/(g·kg ⁻¹)			泥砂与土壤颗粒组分的比值		
	砂粒	粉砂	黏粒	砂粒	粉砂	黏粒	砂粒	粉砂	黏粒
1	645	277	78	213	600	187	0.33	2.17	2.40
2	675	213	112	176	648	176	0.26	3.04	1.57
3	476	370	154	243	544	213	0.51	1.47	1.38
4	534	279	187	265	524	211	0.50	1.88	1.13
5	331	473	196	165	581	254	0.50	1.23	1.30
6	376	411	213	265	459	276	0.70	1.12	1.30
7	413	360	227	226	462	312	0.55	1.28	1.37
8	376	395	229	198	526	276	0.53	1.33	1.21
9	214	543	243	127	586	287	0.59	1.08	1.18
10	376	370	254	213	463	324	0.57	1.25	1.28
11	325	399	276	187	477	336	0.58	1.20	1.22
12	214	488	298	121	534	345	0.57	1.09	1.16
13	365	321	314	187	459	354	0.51	1.43	1.13
14	217	459	324	103	532	365	0.47	1.16	1.13
15	314	332	354	213	400	387	0.68	1.20	1.09
16	118	506	376	54	534	412	0.46	1.06	1.10
17	216	386	398	187	370	443	0.87	0.96	1.11
18	334	277	389	213	351	436	0.64	1.27	1.12
19	243	362	395	166	389	445	0.68	1.07	1.13
20	231	357	412	126	376	498	0.55	1.05	1.21
21	143	434	423	54	469	477	0.38	1.08	1.13

3 讨论

统计结果表明,水稻土耕作层和犁底层黏粒含量普遍低于心土层;随着植稻时间的增加,耕作层与犁底层黏粒含量下降,而砂粒含量却增加,表明水稻土在植稻过程中质地可发生变化,表现为砂质化的趋势(即黏粒含量降低,砂粒含量增加)。章明奎^[20]按成土过程物质迁移和转化的特征把土壤中的发生过程归为“物质加入土体者”、“物质迁出土体者”、“物质在土体内迁移者”和

“物质在土体内转化者”等 4 种方式,由于由砂粒向黏粒、粉砂发生转变是一个漫长的风化过程,需要很长时间,而多数水田土壤不可能有大量的含砂质矿物质从外部输入,因此可以推断,耕作层和犁底层黏粒的降低和砂粒的增加与“物质加入土体者”和“物质在土体内转化者”的成土过程关系不大,而是黏粒等细颗粒降低的结果,其变化可能与“物质迁出土体者”和“物质在土体内迁移者”有关。从田间调查来看,“物质迁出土体者”和“物质在土体内迁移者”都可能发生在多数水稻土中。

在水稻土中,“物质在土体内迁移者”主要表现在耕作层和犁底层黏粒在水耕过程中随土壤水分向下迁移,这种变化已被众多田间调查所证实,许多地区水稻土心土层(相当于水稻土的水耕氧化还原层)结构面上存在的灰色腐殖质—粉粒—黏粒胶膜多与此有关,一般把这一成土过程称为淋淀作用^[18]。但表2的结果也表明,相同母质不同植稻时间的水稻土各土层的黏粒含量横向比较表明,虽然随着植稻时间的增加耕作层和犁底层黏粒含量呈现显著下降,但其心土层并没有随植稻时间呈现明显的增加,其原因可能有2个方面:一是水稻土剖面中随土壤水分向下淋淀的黏粒数量有限,进入心土层黏粒含量没有明显增加,同时耕作层和犁底层中黏粒的明显减少可能还与“物质迁出土体者”的成土过程有关,即从黏粒随地表径流过程中损失;二是心土层虽然接受耕作层和犁底层黏粒的淀积,同时其本身也可向深层发生黏粒的淋溶损失。以上21块稻田排水中收集的泥砂样与对应农田表层土壤颗粒组成的对比分析表明,通过排水流失的泥砂中其矿物颗粒具一定的选择性,黏粒与粉砂比砂粒更易从农田排水中流失。这表明,随着水稻种植时间的增加,因排水泥砂中黏粒和粉砂比砂粒选择性流失,也可导致了耕作层和犁底层土壤中黏粒和粉砂含量的下降而砂粒相对增加。而某些农事活动(如耘田、雨季排水)可能是引起排水中泥砂流失的主要原因。

虽然在植稻过程中多数水稻土耕作层和犁底层普遍发生了黏粒的下降,但调查也发现,部分水稻土在水稻种植过程中黏粒并没有下降,甚至略有增加,原因是其灌溉水(这在丘陵山区较为普遍)中含有较多的细泥物质,长期用含这些细物质的水灌溉可在一定程度上补充耕层黏粒的减少。我国植稻历史已有数千年,为什么在一些水稻种植历史悠久的区域水稻土表层并没有发生极端的砂化现象,其原因可能与历史时期发生的多次洪水事件有关^[22],由于水田地形位置较低,暴雨期间易被洪水淹没,由洪水带来的泥砂可沉积在水田表层,这一过程的反复可在一定程度上补充了耕层土壤的黏粒和粉砂,阻碍的耕作层砂化的强度发生。另外,在水田表土物质流失的同时,为保持一定耕作层厚度的耕作活动也可通过翻耕把下层的土壤物质带入表土,这也在一定程度是缓和表土的砂化。

4 结论

调查分析表明,长期水耕植稻可引起水稻土耕作层和犁底层土壤砂化,表现在黏粒含量下降和砂粒含量增加。随着水稻种植时间的增加,耕作层土壤砂粒含量呈现增加趋势,黏粒明显下降,耕作层、犁底层与心土层黏粒含量的比值逐渐下降。其原因除与黏粒淋淀损失有关外,年复一年的排水中颗粒选择性流失对耕作层砂化也有较大的贡献。

参考文献:

- [1] 章明奎. 土壤地理学与土壤调查技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2011:82-95.
- [2] 陆宏,厉仁安. 杭州湾南岸土壤演变及其开发利用研究[J]. 土壤通报,2009,40(2):218-220.
- [3] 刘世清. 论农业土壤演变史及其发展方向[J]. 中国农史,1987(4):11-20.
- [4] 于群英,李孝良,陈世勇,等. 长期施肥对菜地土壤磷素积累的影响[J]. 华北农学报,2012,27(6):196-201.
- [5] 廖文华. 河北省农田土壤磷素转化、平衡与产量效应[D]. 河北保定:河北农业大学,2012.
- [6] 徐晓锋,苗艳芳,郭大勇,等. 蔬菜保护地土壤磷积累与转化研究[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(1):25-28.
- [7] 霍莉莉. 沼泽湿地垦殖前后土壤有机碳垂直分布及其稳定性特征研究[D]. 北京:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所),2013.
- [8] 李东,王子芳,郑杰炳,等. 紫色丘陵区不同土地利用方式下土壤有机质和全量氮磷钾含量状况[J]. 土壤通报,2009,40(2):310-314.
- [9] 邱莉萍,张兴昌,程积民. 土地利用方式对土壤有机质及其碳库管理指数的影响[J]. 中国环境科学,2009,29(1):84-89.
- [10] 张曼夏,季猛,李伟,等. 土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其结合有机碳的影响[J]. 应用与环境生物学报,2013,19(4):598-604.
- [11] 陈志强,陈志彪. 南方红壤侵蚀区土壤肥力质量的突变:以福建省长汀县为例[J]. 生态学报,2013,33(10):3002-3010.
- [12] 陈山,杨峰,林杉,等. 土地利用方式对红壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(5):211-216.
- [13] 艾琴. 侵蚀黑土与非侵蚀黑土土壤持水性能及物理性质差异性研究[D]. 长春:吉林农业大学,2013.
- [14] 王纳伟. 湘中地区石漠化过程中土壤有机碳变化特征[D]. 长沙:中南林业科技大学,2013.
- [15] 李光录,赵晓光. 水土流失对土壤物理性质的影响[J]. 西北林学院学报,1995(增刊1):22-27.
- [16] 胡宏祥,洪天求,马友华,等. 土壤及泥沙颗粒组成与养分流失的研究[J]. 水土保持学报,2007,21(1):26-29.
- [17] 刘宏魁,曹宁,张玉斌. 吉林省黑土侵蚀区水土保持措施对土壤颗粒组成和速效养分影响分析[J]. 中国农学通报,2011,27(1):111-115.
- [18] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组. 中国土壤系统分类检索[M]. 3版. 合肥:中国科学技术大学出版社,2001.
- [19] 浙江省土壤普查办公室. 浙江土壤[M]. 杭州:浙江省科学技术出版社,1993:266-390.
- [20] 章明奎. 土壤地理学与土壤调查技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2011:101-126.
- [21] 张甘霖,龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京:科学出版社,2012:8-19.
- [22] 邵九华. 五千年前宁绍平原的特大洪水[J]. 浙江水利科技,1999(1):36.