

杨苍玲,李成学,杨 鸿,等. 不同施肥处理对红壤坡耕地土壤团聚体的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(5):256-259.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.05.060

不同施肥处理对红壤坡耕地土壤团聚体的影响

杨苍玲¹,李成学²,杨 鸿¹,付星基¹,赵焱柯¹,余建新¹

(1. 云南农业大学水利学院,云南昆明 650201; 2. 云南农业大学资源与环境学院,云南昆明 650201)

摘要:通过2年小区试验,研究了不施肥、单施化肥、单施有机肥、有机肥与化肥配施4种施肥处理对土壤团聚体的影响。结果表明,与对照相比,单施化肥、单施有机肥和有机肥与化肥配施土壤体积质量分别降低了1.69%、3.39%、6.78%;土壤有机质含量分别增加2.14%、14.97%、19.25%;>0.25 mm机械稳定性团聚体的含量分别显著提高了10%、11.17%、17.86% ($P < 0.05$)。不同施肥处理>0.25 mm水稳定性团聚体的含量无显著差异;而有机肥与化肥配施处理含量最高;有机肥与化肥配施处理的土壤团聚体平均重量直径(MWD)、土壤团聚体几何平均直径(GMD)的值最大;单施化肥团聚体破坏率最高,有机肥与化肥配施处理团聚体破坏率最低。说明有机肥与化肥配施可以降低土壤体积质量,能有效提高土壤有机质、机械稳定性团聚体、水稳性团聚体的含量,改善土壤团聚体的团聚度和稳定性,对提升耕地质量有较好的作用。

关键词:有机肥;土壤体积质量;土壤有机质;机械稳定性团聚体;水稳性团聚体

中图分类号: S156.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)05-0256-04

土壤团聚体是土壤结构的基本单元,同时也是土壤有机质保持的场所,是土壤肥力的物质基础^[1],对协调土壤中的水肥气热、稳定土壤疏松熟化层均有着重要作用,决定着土壤的性质和肥力^[2]。维持土壤功能需要具备良好的土壤结构,土壤结构是由无数土壤团聚体构成的,通常依据>0.25 mm土壤团聚体的数量、平均质量直径和几何平均直径等指标,来判断土壤团聚体的大小和稳定性^[3-4]。增加土壤有机质的含量,能显著降低土壤体积质量,改善土壤通气状况,提高土壤团聚体稳定性^[5-6]。施用有机肥对农业生产有很好的作用,可为农作物提供全面的营养元素,提高土壤有机质含量^[7],而土壤有机质能提供作物所需的养分,改善土壤肥力。

云南省是典型的山区省份,全省94%的土地是山地和高原^[8],总面积642.13万hm²。坡度为6°~25°的耕地称为坡耕地,云南省的坡耕地有412.93万hm²,其中坡度25°以上的陡坡耕地就有75.53万hm²^[9]。红壤是云南省主要的土壤类型,其面积有183.89万hm²,占全省耕地面积的30.28%,由于红壤中黏粒、氧化铁、铝含量均较高,而有机质含量较低,故其不利于土壤的团聚作用。而长期大量施用化肥造成了农田土壤板结,有机质含量降低,致使土壤结构破坏,生产力下降^[10],最终影响团聚体的形成、土壤结构的稳定性和土壤肥力。因此,水土流失、土壤结构不稳定、土壤肥力衰退是云南红壤坡耕地最为严重的特性,红壤坡耕地改良治理对云南山地资源的可持续利用十分重要。崔荣美等研究表明,施用有

机肥能提高粒径>0.25 mm的机械稳定性团聚体和水稳定性团聚体的含量,对改良土壤结构有良好的作用,良好的土壤结构稳定性还能防风蚀、水蚀,利于水土保持^[11-12]。钱婧等的研究表明,红壤坡面大团聚体越稳定,坡面土壤的粗化过程越不易形成^[13]。姜灿烂等研究发现,对旱地红壤配施有机无机肥可增加土壤有机质含量,有利于红壤旱地土壤大团聚体的形成,改善土壤团聚体结构及其稳定性^[14]。但关于不同施肥对红壤坡耕地土壤团聚体组成和稳定性影响的研究鲜少。因此,本试验分析化肥、有机肥不同施肥方式对土壤团聚体组成及稳定性的影响,以期能快速提升红壤坡地耕地质量,缓解水土流失,改善土壤结构提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验设在云南省曲靖市马龙县旧县街道花龙潭的丘陵缓坡地,25°21'N,103°22'E,海拔1885 m,属于低纬度高原季风气候,具有冬无严寒、夏无酷暑、干冷同期、雨热同季的特点。年平均气温13.6℃,多年平均降水量1001.8 mm,年均日照2158 h,年均相对湿度75%,年均无霜期247 d。土壤类型为厚层山岩红壤,土壤质地为沙壤土,地形为缓坡丘陵。0~20 cm土壤理化性状:有机质含量1.77%,全氮含量0.47 g/kg,全磷含量0.38 g/kg,速效钾含量65.45 mg/kg,pH值为5.1。

1.2 试验材料

供试作物:玉米,品种为双玉88。

供试肥料:尿素(含46.4% N)、普钙(含14% P₂O₅)、硫酸钾(含25% K₂O)、羊粪。

1.3 试验设计

于2016年4月开始试验,设4个处理:不施肥(CK),单施化肥(氮、磷、钾肥)(C),施羊粪(OS),化肥(氮、磷、钾肥)+羊粪(COS)。采用完全随机设计,每个处理设3次重

收稿日期:2018-07-16

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项(编号:2015111003-3)。

作者简介:杨苍玲(1993—),女,云南大理人,硕士研究生,主要从事土地资源利用与环境保护的研究。E-mail: 1043373784@qq.com。

通信作者:李成学,硕士,讲师,主要从事土地资源管理、肥料与植物营养等方面的研究。E-mail: li_chx0309@ynau.edu.cn。

复,共计 12 个小区。每个小区的面积为 $4\text{ m} \times 4\text{ m} = 16\text{ m}^2$,在小区的四周设置保护行。所有肥料均作底肥一次性施入,各处理肥料用量见表 1。

表 1 田间试验处理设置

处理	施肥量 (kg/hm^2)			
	羊粪	尿素	普钙	硫酸钾
CK	0	0	0	0
C	0	52	64	72
OS	7 500	0	0	0
COS	7 500	26	32	36

1.4 测定项目与方法

采用五点法取样,土壤采样深度为 $0 \sim 20\text{ cm}$,将每个小区采集的土样去除根系、杂草、土壤动物、石块等杂质后自然剥离为 1 cm^3 左右的小块,混匀,置于室内通风处晾干待测定。采用环刀法测定土壤体积质量,采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量,采用干筛法^[15]测定机械稳定性团聚体含量,采用湿筛法^[15]测定土壤水稳性团聚体含量。

1.5 数据处理

土壤团聚体平均重量直径(MWD)计算方法如下:

$$MWD = \sum_{i=0}^n \left(\frac{r_i + r_{i+1}}{2} W_i \right)$$

式中: r_i 为第 i 个筛子的孔径,mm, $r_0 = r_i$, $r_n = r_{i+1}$; W_i 为第 i 个筛子上土壤水稳性团聚体的干质量占总团聚体的比例,%; n 为筛子的数量($n=5$)。

土壤团聚体几何平均直径(GMD)计算方法如下:

$$GMD = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n W_i \ln R_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right)$$

式中: W_i 为第 i 个筛子上各粒级土壤水稳性颗粒的干质量, g ; $\ln R_i$ 为相邻两级土壤水稳性团聚体平均直径的自然对数(以 e 为底的自然对数, $e=2.718\ 281\ 828$), n 为用于湿筛的筛子数量, $n=5$ 。

土壤团聚体破坏率($PAD_{0.25}$)计算方法如下:

$$PAD_{0.25} = (DR_{0.25} - WR_{0.25}) / DR_{0.25} \times 100\%$$

式中: $PAD_{0.25}$ 为团聚体的破坏率,%; $DR_{0.25}$ 为粒径 $>0.25\text{ mm}$ 机械稳定性团聚体含量,%; $WR_{0.25}$ 为水稳性团聚体含量,%。

采用 Excel 2013、SPSS 17.0 对试验数据进行统计分析,采用单因子方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差数法(LSD)对不同处理间土壤团聚体含量进行差异显著性检验($P<0.05$)。

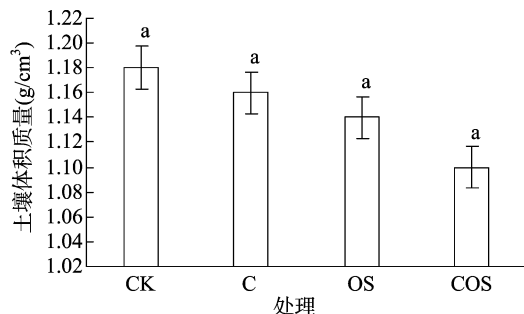
2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤体积质量的影响

土壤体积质量是反映土壤质量的重要指标。由图 1 可知,C、OS、COS 的土壤体积质量比 CK 分别降低了 1.69%、3.39%、6.78%;OS 较 C 降低 1.72%;COS 较 OS 土壤体积质量降低了 3.51%。说明施用有机肥能够降低土壤体积质量,增加土壤孔隙,改善土壤结构,合理施肥对土壤体积质量影响较大。

2.2 不同施肥处理对土壤有机质含量的影响

由图 2 可知,连续 2 年不同施肥处理中,与 CK 对照相



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同

图 1 不同施肥处理 0~20 cm 土壤体积质量

比,不同施肥处理的有机质含量都有提高,其中,C、OS、COS 的有机质含量分别提高了 2.14%、14.97%、19.25%,其中 COS 处理与 CK 和 C 差异显著。说明有机肥能显著提高土壤有机质的含量,而化肥的施用不利于有机质的积累。

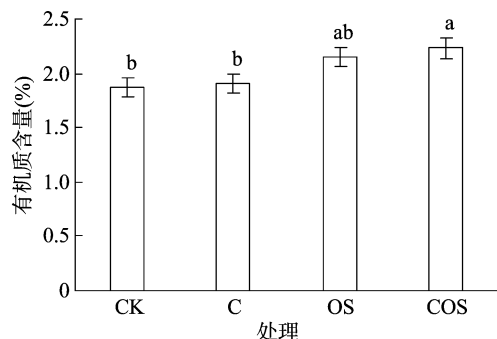


图 2 不同处理 0~20 cm 土层土壤的有机质含量

2.3 不同施肥处理对土壤机械稳定性团聚体组成的影响

机械稳定性团聚体是能够抵抗外力破坏的团聚体,常用干筛后团聚体的组成量来反映。一般将粒径 $>0.25\text{ mm}$ 的团聚体称为大团聚体,大团聚体含量越高说明土壤团聚体结构越稳定^[16]。

由表 1 可知,连续 2 年不同施肥处理中,各处理 $>0.25\text{ mm}$ 机械稳定性团聚体含量表现为 $COS > OS > C > CK$;其中,C、OS、COS 机械稳定性团聚体的含量比 CK 分别显著提高了 10.00%、11.17%、17.86% ($P<0.05$);各处理的机械团聚体含量主要分布在粒径为 $2 \sim 10\text{ mm}$ 。对于粒径为 $0.5 \sim 1\text{ mm}$ 的机械团聚体含量,处理 COS 比 CK 显著提高了 43.06%;对于 $<0.25\text{ mm}$ 微团聚体含量,COS 处理与其他处理均差异显著。由此可见,有机肥更有利于促进大团聚体的形成,减少不稳定微团聚体含量,改善土壤团粒结构,提高土壤稳定性。

2.4 不同施肥处理对水稳定性团聚体组成的影响

水稳性团聚体是指能经受水的浸泡、冲洗而不易分散的、粒径 $>0.25\text{ mm}$ 的土壤团粒。土壤团聚体的水稳性以及水稳性团聚体的数量、质量决定了土壤的抗侵蚀能力和土壤肥力^[17-18]。

由表 2 可知,连续 2 年不同施肥处理中,对于 $>0.25\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量,C、OS、COS 处理比 CK 分别提高了 0.38%、3.29%、5.36%,可能由于团聚体的形成需要积累各处理差异不显著,COS 处理略微有优势;对于 $0.5 \sim 1\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量,C、OS、COS 处理比 CK 分别提高了 12.06%、

表 1 不同施肥处理下土壤机械稳定性团聚体的组成

处理	机械稳定性团聚体含量(%)						
	5 ~ 10 mm	2 ~ 5 mm	1 ~ 2 mm	0.5 ~ 1 mm	0.25 ~ 0.5 mm	>0.25 mm	<0.25 mm
CK	16.64a	21.96a	10.28a	13.19b	3.66a	65.72d	16.90a
C	18.87a	22.20a	11.18a	16.33ab	3.72a	72.29c	13.26a
OS	18.23a	23.34a	11.35a	17.16ab	2.98a	73.06ab	13.30a
COS	18.16a	27.04a	9.45a	18.87a	3.94a	77.46a	8.34b

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

表 2 不同施肥处理下土壤水稳性团聚体的组成

处理	水稳性团聚体含量(%)					
	5 ~ 10 mm	2 ~ 5 mm	1 ~ 2 mm	0.5 ~ 1 mm	0.25 ~ 0.5 mm	>0.25 mm
CK	8.07a	11.25a	8.74a	12.77c	15.13ab	55.97a
C	7.65a	7.71a	11.07a	14.31bc	15.45ab	56.18a
OS	7.37a	9.35a	8.61a	17.94ab	14.54b	57.81a
COS	4.27a	9.57a	8.28a	18.82a	18.03a	58.97a

40.49%、47.38%;对于 0.25 ~ 0.5 mm 水稳性团聚体含量,COS 比 OS 显著提高了 24.00%。综上所述,有机肥与化肥配施能提高粒径 >0.25 mm 的水稳性团聚体的含量,对不同粒径水稳性团聚体均有较好团聚作用。

2.5 不同施肥处理对团聚体分布及稳定性的影响

土壤团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)是反映土壤团聚体稳定性常用指标。MWD 和 GMD 值越大表示团聚体的稳定性越高^[19-20]。

由表 3 可知,连续 2 年不同施肥处理中,0 ~ 20 cm 土层不同处理干筛的 MWD、GMD 值均高于湿筛。干筛时,COS 处理的 MWD 值较 CK 显著提高了 14.47%;各处理 GMD 值均无显著差异,COS 处理 GMD 值最高。湿筛时,各处理的 MWD 值均无显著差异,COS 处理较 CK 增幅最大,提高了 29.29%;COS 处理 GMD 值比 CK 显著提高了 300.00%。无论干筛还是湿筛,C 和 OS 处理的 MWD、GMD 值均很接近。总之,各处理与对照相比,能改善土壤团聚度、增强土壤稳定性,其中有机肥与化肥配施效果较好。

表 3 不同施肥处理下土壤团聚体平均重量直径和几何平均直径

处理	干筛		湿筛	
	MWD	GMD	MWD	GMD
CK	2.28b	0.80a	0.99a	0.07b
C	2.50a	0.86a	1.18a	0.17ab
OS	2.50a	0.86a	1.20a	0.18ab
COS	2.61a	0.88a	1.28a	0.28a

2.6 不同施肥处理对团聚体破坏率的影响

团聚体破坏率($PAD_{0.25}$)表示经过干湿筛后,粒径 >0.25 mm 的土壤团聚体的比率,其值越小表明土壤团聚体破坏率越小^[21]。由图 3 可以看出,CK、C、OS、COS 处理团聚体破坏率差异不显著,C 处理 $PAD_{0.25}$ 比 CK 提高了 15.34%,COS 处理 $PAD_{0.25}$ 比 CK 降低了 1.56%,而 OS 处理 $PAD_{0.25}$ 较 CK 差异不大。由此可以得出,单施化肥使土壤团聚体的水稳定变差,从而破坏团聚体的聚集,有机肥与化肥配施会降低对团聚体的破坏程度,有利于团聚体的聚集。

3 讨论与结论

良好的土壤团聚体结构是土壤肥力的物质基础,能够保

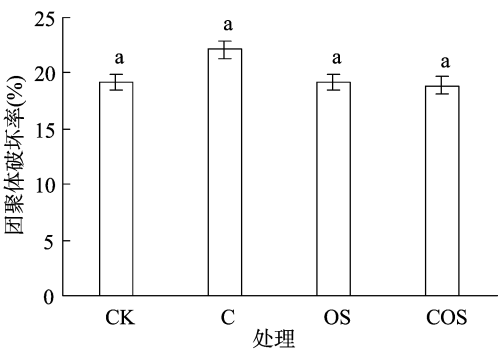


图 3 不同施肥处理土壤团聚体破坏率

证和协调土壤中的水肥气热,粒径 >0.25 mm 土壤团聚体含量是土壤肥沃的标志之一^[22]。而影响土壤团聚体含量和稳定性的内在因素是形成土壤团聚体的有机胶结物质,土壤团聚体的主要胶结剂是有机质^[23]。余坤等利用氨化秸秆还田处理能改善土壤结构,降低土壤体积质量,提高 >0.25 mm 土壤团聚体含量,改善土壤的物理性质^[24];彭新华等对侵蚀裸地研究发现,植被恢复和高量施用有机肥可提高土壤有机质含量,并可明显地促进土壤团聚体的形成及其稳定性的提高,其原理都是通过增加腐殖质含量提高有机质含量,改善团聚体数量和性质^[25]。本试验通过小区试验得到的结论与之相似,即有机肥与化肥配施能有效降低土壤体积质量,显著提高土壤有机质和粒径 >0.25 mm 机械稳定性团聚体的含量;而粒径 <0.25mm 的不稳定性团聚体与对照相比显著减少。由此可推断,有机肥与化肥合理配施有利于大团聚体的形成,增加有机质的含量,改善土壤结构。

粒径 >0.25 mm 水稳定性团粒含量的高低能够反映土壤抵抗水蚀的能力和土壤结构的好坏。本试验结果表明,各处理水稳性团聚体含量差异不显著,这可能是由于团聚体发生团聚需要一个漫长的过程。在所有处理中,COS >0.25 mm 水稳定性团粒含量最高,说明有机肥与化肥配施处理较好地促进水稳性团聚体的形成,提高土壤稳定性,有利于缓解坡耕地发生水土流失。

平均重量直径(MWD)是各级团聚体的综合指标,其值随着大粒级团聚体含量的增加而增大,其值越大,说明团聚体稳定性越好。几何平均直径(GMD)是对团聚体在主要粒级分

布的描述,其值越大,团聚体含量在大粒级上的分布越多,孔隙度则越好^[26]。本试验结果表明,所有处理中,无论干筛还是湿筛,有机肥与化肥配施的处理(COS)的MWD、GMD的值均最大,说明有机肥与化肥配施有利于降低团聚体破坏率,提高团聚体的稳定性,改善土壤抗蚀性。本试验持续2年,各处理对土壤体积质量、水稳性团聚体、MWD、GMD、团聚体破坏率的影响还不明显;试验结果与赵红等的结论^[16]不一致,这可能是由有机肥、土壤类型等其他因素不同造成的。而土壤团聚体结构和稳定性的改善需要长期试验,后期有待研究不同土层厚度的团聚体对坡耕地土壤稳定性的影响,并优化配施方案。

单施有机肥和化肥处理对改善土壤体积质量和土壤有机质的含量有所作用,而有机肥与化肥配施可以降低红壤土壤体积质量,显著增加土壤有机质含量,改善土壤结构,提高土壤肥力,改善红壤土壤质量。有机肥与化肥配施处理中 $>0.25\text{ mm}$ 机械稳定性团聚体的含量分别比对照、单施化肥处理高17.86%、7.15%,且差异显著;其 $<0.25\text{ mm}$ 微团聚体含量显著低于其他施肥方式的处理。不同施肥处理中 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体的含量无显著差异,其中有机肥与化肥配施处理含量最高。干筛情况下,有机肥与化肥配施处理MWD、GMD值最大;湿筛情况下,不同施肥处理MWD值无显著差异,有机肥与化肥配施处理GMD的值比对照显著提高了300%。单施化肥处理的 $\text{PAD}_{0.25}$ 较对照提高了15.34%,有机肥与化肥配施处理 $\text{PAD}_{0.25}$ 较对照降低了1.56%。

综上所述,有机肥与化肥配施可以降低土壤体积质量,显著增加土壤有机质含量,提高 $>0.25\text{ mm}$ 机械稳定性团聚体和水稳性团聚体的含量,提高了红壤土壤肥力,改善土壤结构的稳定性,可以缓解坡耕地水土流失,土壤退化的现象。

参考文献:

- [1]文倩,关欣. 土壤团聚体形成的研究进展[J]. 干旱区研究, 2004(4):434-438.
- [2]彭思利,申鸿,郭涛. 接种丛枝菌根真菌对土壤水稳性团聚体特征的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3):695-700.
- [3]彭新华,张斌,赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展[J]. 土壤学报,2004(4):618-623.
- [4]van Bavel C H M. Mean weight - diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation[J]. Soil Science Society of America Journal,1949,14:20-23.
- [5]劳秀荣,吴子一,高燕春. 长期秸秆还田改土培肥效应的研究[J]. 农业工程学报,2002(2):49-52.
- [6]Alagoz Z, Yilmaz E. Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: a laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey[J]. Soil and Tillage Research,2009,103(2):419-424.
- [7]林治安,赵秉强,袁亮,等. 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(8):2809-2819.
- [8]王文富,邱鼎宜,吴家才,等. 云南土壤[M]. 昆明:云南科技出版社,1990:667-700.
- [9]孙启铭. 坡耕地综合治理[J]. 云南农业,2006(6):15.
- [10]赵其国. 土壤与环境问题国际研究概况及其发展趋向——参加第16届国际土壤学会专题综述[J]. 土壤,1998(6):281-290,310.
- [11]崔荣美,李儒,韩清芳,等. 不同有机肥培肥对旱作农田土壤团聚体的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(11):124-132.
- [12]Eynard A, Schumacher T E, Lindstrom M J, et al. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota prairie ustolls and usterts [J]. Soil Science Society of American Journal, 2004, 68(4): 1360-1365.
- [13]钱婧,张丽萍,王文艳. 红壤坡面土壤团聚体特性与侵蚀泥沙的相关性[J]. 生态学报,2017(5):1-10.
- [14]姜灿然,何园球,刘晓利,等. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J]. 土壤学报,2010,47(4):715-722.
- [15]中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京:科学出版社,1978:83-85.
- [16]赵红,袁培民,吕盼忠,等. 施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 土壤,2011,43(2):306-311.
- [17]吴彦,刘世全,付秀琴,等. 植物根系提高土壤水稳性团粒含量的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1997(1):46-50.
- [18]刘国彬. 黄土高原土壤抗冲性研究及有关问题[J]. 水土保持研究,1997(增刊1):91-101.
- [19]Kemper W D. Aggregate stability[M]// Black C A. Method of soil analysis. Madison: American Society of Aronomy, 1965:511-519.
- [20]Pirmoradian N, Sepaskhah A R, Hajabbasi M A. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments [J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(2): 227-234.
- [21]刘文利,吴景贵,傅民杰,等. 种植年限对果园土壤团聚体分布与稳定性的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(1):129-135.
- [22]高飞,贾志宽,韩清芳,等. 有机肥不同施用量对宁南土壤团聚体粒级分布和稳定性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(3):100-106.
- [23]史奕,陈欣,沈善敏. 有机胶结形成土壤团聚体的机理及理论模型[J]. 应用生态学报,2002(11):1495-1498.
- [24]余坤,冯浩,王增丽,等. 氮化秸秆还田改善土壤结构增加冬小麦产量[J]. 农业工程学报,2014,30(15):165-173.
- [25]彭新华,张斌,赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报,2003(10):2176-2183.
- [26]Nimmo J R, Perkins K S. Aggregates stability and size distribution [M]// Jacob H D, Clarke T. Methods of soil analysis, part 4: physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002: 317-328.