

紫云英还田对水稻产量、土壤团聚性及其有机碳和全氮分布的影响

刘春增¹, 刘小粉¹, 李本银¹, 王守刚¹, 丰大清², 刘祥臣², 曹卫东³

(1. 河南省农业科学院 植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2. 信阳市农业科学研究所, 河南 信阳 464000;
3. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 采用田间试验方法, 探讨紫云英-有机肥配施对土壤团聚结构、有机碳和全氮分布及水稻产量的影响。试验设置了有机肥 1 500 kg/hm² + 0 kg/hm² 紫云英翻压量(CK)、有机肥 1 500 kg/hm² + 紫云英翻压量 30 000 kg/hm² (B1)、有机肥 1 500 kg/hm² + 紫云英翻压量 45 000 kg/hm² (B2) 和有机肥 1 500 kg/hm² + 紫云英翻压量 60 000 kg/hm² (B3) 共 4 个处理。结果表明, 翻压紫云英未显著提高大团聚体的含量, 却明显提高了团聚体稳定性, 改善了土壤结构, 且团聚体稳定性与土壤有机碳含量呈正相关; 随着紫云英翻压量增加, 水稻生育期逐渐延长(CK < B1 < B2 < B3), 且 B1、B2 和 B3 水稻产量比 CK 分别提高了 19%、38% 和 57%, 水稻产量与团聚体稳定性呈正相关; 翻压紫云英对团聚体有机碳和全氮含量的影响不明显, 但不同粒径团聚体内有机碳含量和碳氮比随粒径减小而降低。因此, 在施有机肥的基础上, 配施紫云英能有效改善土壤结构和提高稻米产量。

关键词: 紫云英; 土壤团聚体; 团聚体稳定性; 有机碳; 全氮; 水稻产量

中图分类号: S152.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)06-0224-05

Effects of Planting Chinese Milk Vetch on Rice Yield, Soil Aggregation and Distributions of Its Carbon and Total Nitrogen

LIU Chun-zeng¹, LIU Xiao-fen¹, LI Ben-yin¹, WANG Shou-gang¹, FENG Da-qing²,
LIU Xiang-chen², CAO Wei-dong³

(1. Institute of Plant Nutrition, Agricultural Resources and Environmental Sciences, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China; 2. Xinyang Institute of Agricultural Sciences, Xinyang 464000, China;
3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: This study aimed to investigate the influences of applying organic fertilizer combined with different amount of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus*) on soil aggregation, distributions of organic carbon and total nitrogen of aggregates, and rice yields. Four fertilizer treatments were established: organic fertilizer without Chinese milk vetch (CK), organic fertilizer plus Chinese milk vetch (30 000 kg/hm²) (B1), organic fertilizer plus Chinese milk vetch (45 000 kg/hm²) (B2), organic fertilizer plus Chinese milk vetch (60 000 kg/hm²) (B3). The results showed that treatments applying Chinese milk vetch did not significantly increase macroaggregates, but obviously enhanced aggregate stability and improved soil structure. The aggregate stability was positively correlated with soil organic carbon. With the increase in Chinese milk vetch applied, the rice growth stages became longer (CK < B1 < B2 < B3), and compared with CK the rice yields of B1, B2 and B3 increased by 19%, 38% and 57% respectively. The rice yield and aggregate stability had a positive correlation. Organic carbon and total nitrogen of the same aggregate size were hardly influenced by treatments applying different amount of Chinese milk vetch, whereas both organic carbon and C/N ratio decreased as the aggregate size decreases. In conclusion, based on the application of organic fertilizer, adding Chinese milk vetch could improve soil structure and increase the rice yield.

收稿日期: 2012-08-30

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103005); 农业科技成果转化资金项目(2010GB2D000271); 河南省省院科技合作项目(112106000018)

作者简介: 刘春增(1967-), 男, 河南平顶山人, 研究员, 主要从事绿肥利用评价与循环农业研究。

通讯作者: 刘小粉(1985-), 女, 河南上蔡人, 助理研究员, 博士, 主要从事土壤物理方面的研究。

Key words: Chinese milk vetch; Soil aggregates; Aggregate stability; Organic carbon; Total nitrogen; Rice yield

紫云英是优质的豆科牧草、观赏植物、绿色蔬菜和蜜源作物,也是我国稻田最主要的冬季绿肥作物。豫南稻区每年有大量的冬闲田,紫云英作为豫南稻区的主要绿肥品种,在中低产田土壤改良、培肥地力和改善生态环境方面都发挥了重要作用。在倡导农业可持续发展的今天,推广秸秆还田以提高土壤肥力逐渐被提上日程,而紫云英还田培肥土壤、改善土壤结构的效果远比秸秆还田显著^[1-2]。实践证明,合理种植并适时翻压紫云英,能有效提升土壤肥力、提高土壤质量、防止水土流失和改善生态环境,对水稻可持续生产具有重要意义^[3-7]。

目前,大量研究主要集中于绿肥-化肥配施或有机肥-化肥配施对改善土壤质量、培肥土壤、提高水稻产量的影响,在不施化肥或直接用有机肥代替化肥的基础上,翻压紫云英来生产清洁稻米(有机稻米)的效果还鲜见报道。因此,研究翻压紫云英-有机肥配施(并在此基础上进行覆膜以减少病虫害)对豫南稻区土壤团聚结构、有机碳和全氮分布及水稻产量的影响,能为大规模推广绿肥还田、保障土壤质量及生产清洁稻米提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设置

试验地点在信阳市农业科学研究所试验园区(N 32°07', E 114°05'),供试土壤为水稻土(耕层土壤质地为黏壤土),试验田前茬为水稻茬冬闲田,水稻品种为籼型两系杂交水稻两优 6326,紫云英品种为河南省农业科学院选育的信白 1 号。本试验开始于 2009 年,小区面积 15.3 m²,小区之间用 PVC 板隔开,每个重复间留 0.8 m 宽沟,以便独立灌水、排水和田间管理。试验共设置 4 个处理,每个处理设 3 次重复,按随机区组排列,4 个处理为:①有机肥 1 500 kg/hm² + 0 kg/hm² 紫云英翻压量(CK);②有机肥 1 500 kg/hm² + 紫云英翻压量 30 000 kg/hm² (B1);③有机肥 1 500 kg/hm² + 紫云英翻压量 45 000 kg/hm² (B2);④有机肥 1 500 kg/hm² + 紫云英翻压量 60 000 kg/hm² (B3)。有机肥选用固始县金谷农科种粮专业合作社生产的固森牌有机肥(N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 1.81%、1.22%、2.38%)。翻压还田时紫云英为盛花期,其氮、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)含量分别为 3.71%、0.42% 和 3.32%,紫云英干物质占鲜草量的 9.0%。为减少杂草和病虫害的发生,田间翻压紫云英还田 14 d 后对各小区进行覆膜处理。

1.2 项目及方法

2011 年 9 月水稻收获后,采集 0~15 cm 土层的 6 个点混合土样,风干后过 8 mm 筛备用。依据 Kemper 和 Rosenau^[8] 土壤团聚体湿筛测定方法,将 50 g 样品放置于孔径自上而下为 2、0.25、0.05 mm 的套筛顶端,快速湿润并持续 5 min,随后垂直上下振荡 10 min(团聚体湿筛机械参数为:垂直上下移动 30 次/min;上下移动垂直距离 4 cm);把各级筛层上的土粒转移至铝盒中,在烘箱温度为 60℃ 时烘干至质量恒定,做 3 个重复。团聚体分布用团聚体百分比 $f(x_i) = \frac{w_i}{\sum w_i} \times 100$ 计算,团聚体稳定性用平

均质量直径 $MWD = \sum_{i=1}^n w_i x_i$ 来衡量,其中 x_i 为团聚体平均直径, w_i 为对应粒径团聚体的质量。

土壤及各粒径团聚体内有机碳和全氮含量用碳氮仪干烧法测定^[9]。水稻始穗期、齐穗期及收获期通过田间实地观察确定,水稻产量即为收获时的产量数据。

1.3 数据处理

用 SPSS 11.0 (SPSS 2001) 进行数据的方差和相关性分析,采用最小显著差异法(Least significant difference, LSD) 比较处理或团聚体间平均值的差异显著性,显著性分析水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同紫云英翻压量下水稻产量等的变化

表 1 显示,翻压紫云英使得水稻生育期(始穗期、齐穗期和收获期)延长,且翻压量越大后推日期越长,顺序为 CK < B1 < B2 < B3。翻压紫云英后,水稻产量显著提高,翻压量越大,产量提高越显著,与 CK 相比, B1、B2、B3 分别使清洁稻米增产达 19%、38% 和 57%。

表 1 不同紫云英翻压量下水稻产量等的变化

Tab. 1 Changes of rice yield and other related components under the treatments applying different amount of Chinese milk vetch

处理 Treatments	始穗期 (月-日) Initial heading stage	齐穗期 (月-日) Heading stage	成熟期 (月-日) Maturity stage	产量 (kg/hm ²) Yield
CK	07-22	07-25	09-01	7 760.5c
B1	07-24	07-27	09-09	9 198.5bc
B2	07-25	07-29	09-24	10 688.0ab
B3	07-28	07-31	09-24	12 187.0a

注:同一列中不同字母代表处理间差异显著($P < 0.05$)。表 2 同。

Note: Different letters following the same column mean the differences are significant among treatments at $P < 0.05$. The same as Tab. 2.

2.2 不同紫云英翻压量下团聚体分布及其稳定性变化

由表 2 可知,同一处理不同粒径团聚体含量从高到低顺序均为: $0.25 \sim 2 \text{ mm} > 0.05 \sim 0.25 \text{ mm} > (> 2 \text{ mm}) > (< 0.05 \text{ mm})$ 。总之 $0.25 \sim 2 \text{ mm}$ 团聚体在各处理中含量分别为最高和次高(两者总和甚至高达 87%),各处理间差异也较显著:对于 $0.25 \sim 2 \text{ mm}$ 团聚体,各处理间含量基本为 $CK > B1、B3 > B2$,其中 B1、B2 和 B3 分别比 CK 减少了 18%、24% 和 14%;而 $0.05 \sim 0.25 \text{ mm}$ 团聚体变化趋势正好相反: $CK < B1、B3 < B2$,其中 B1、B2 和 B3 分别比 CK 增加了 41%、68% 和 63%。 $> 2 \text{ mm}$ 团聚体在处理间的分布规律为 $B1 > CK、B2 >$

$B3$ 。 $< 0.05 \text{ mm}$ 团聚体含量最低,在各处理间亦无显著差异。团聚体分布的变化,引起其稳定性的改变,团聚体平均重量直径(MWD)的变化趋势为 $CK < B1、B3 < B2$,即与空白相比,翻压紫云英的各处理均能提高团聚体稳定性,B1、B2、B3 分别提高了 26%、42% 和 36%,这将有利于改善土壤结构。

总之,连续翻压紫云英 2 年后,各粒径团聚体分布出现了明显差异,主要表现在粒级含量较高的 $0.25 \sim 2 \text{ mm}$ 团聚体上,即与 CK 相比,翻压紫云英的各处理其 $0.25 \sim 2 \text{ mm}$ 团聚体向 $0.05 \sim 0.25 \text{ mm}$ 团聚体周转。这些改变提高了翻压紫云英各处理团聚体的整体稳定性,使团聚体平均质量直径提高。

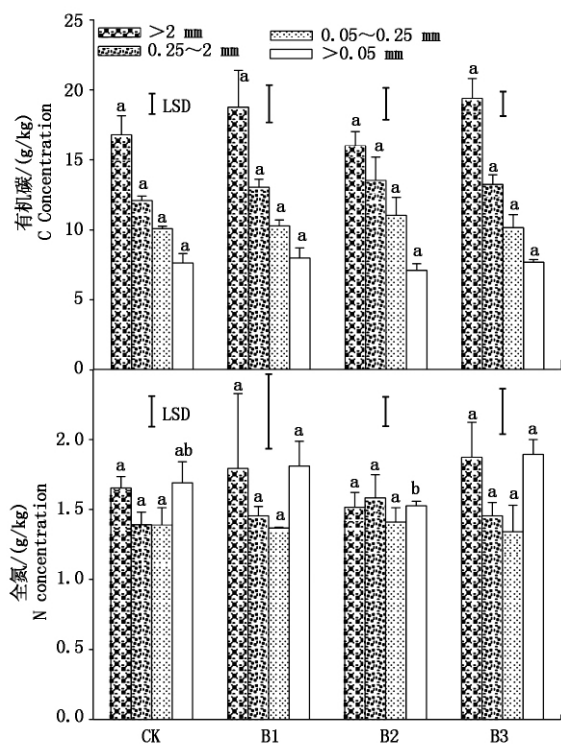
表 2 不同紫云英翻压量下土壤团聚体分布及其稳定性

Tab. 2 Soil aggregate distribution and stability under treatments applying different amount of Chinese milk vetch

处理 Treatments	$> 2 \text{ mm}$	$0.25 \sim 2 \text{ mm}$	$0.05 \sim 0.25 \text{ mm}$	$< 0.05 \text{ mm}$	平均质量直径/ MWD
CK/%	10.71ab	65.27a	19.13b	4.89a	4.14b
B1/%	11.41a	53.38ab	26.96ab	8.25a	5.22ab
B2/%	9.45ab	49.66b	32.21a	8.68a	5.87a
B3/%	6.44b	55.91ab	31.21ab	6.44a	5.63ab

注:同一列中不同字母代表处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different letters following the same column mean the differences are significant among treatments at $P < 0.05$.



不同字母代表处理间差异显著($P < 0.05$),LSD 误差线表示粒级间差异的显著性($P < 0.05$)。Different letters above the charts indicate the differences are significant among treatments at $P < 0.05$, and the LSD bars indicate the differences are significant among aggregate sizes at $P < 0.05$.

图 1 不同紫云英翻压量下各粒径团聚体内有机碳和全氮的分布

Fig. 1 Distributions of organic carbon and total nitrogen within aggregates under treatments applying different amount of Chinese milk vetch

2.3 团聚体有机碳、全氮和碳氮比的分布

图 1 给出了不同紫云英翻压量下各粒径团聚体内有机碳和全氮含量的分布。对于同一团聚体粒级,不同处理团聚体内有机碳和全氮含量均无显著差异($P < 0.05$)。对于同一处理,不同粒级团聚体内有机碳存在显著性差异,粒径越大,有机碳含量越高,即($> 2 \text{ mm}$) $> 0.25 \sim 2 \text{ mm} > 0.05 \sim 0.25 \text{ mm} > (< 0.05 \text{ mm})$;对于全氮含量,只有 CK 和 B3 处理在粒级间存在显著差异,均表现为 $> 2 \text{ mm}$ 和 $< 0.05 \text{ mm}$ 的含量显著高于其他 2 个粒级。总之,连续 2a 翻压紫云英还不能明显提高团聚体内有机碳和全氮含量,而不同粒径团聚体内有机碳和全氮却存在显著差异,尤其是有机碳含量,它随团聚体粒径减小而降低。

各粒径团聚体的碳氮比的分布规律如表 3 所示,其大小为 $4.06 \sim 10.54$ 。对于同一处理,团聚体中碳氮比与有机碳含量分布一致:随粒径减小而降低,即($> 2 \text{ mm}$) $> (0.25 \sim 2 \text{ mm}) > (0.05 \sim 0.25 \text{ mm}) > (< 0.05 \text{ mm})$,且粒级间均存在显著性差异($P < 0.05$)。对于同一粒级,碳氮比在处理间无显著差异($P < 0.05$)。这也与有机碳分布规律一致。

2.4 土壤有机碳和水稻产量与团聚体稳定性的关系

为了进一步探讨团聚体稳定性与土壤有机碳和水稻产量的关系,进行了线性相关分析(图 2)。结

果表明,平均重量直径与土壤有机碳呈显著正相关,相关系数为 0.89;水稻产量也与平均重量直径呈显著正相关,相关系数为 0.86。说明土壤有机碳含量

是影响团聚体稳定性的重要因素,而团聚体稳定性的改善有利于水稻产量的提高。

表 3 不同紫云英翻压量下土壤团聚体碳氮比分布

Tab.3 Carbon/nitrogen ratios of aggregates under treatments applying different amount of Chinese milk vetch

处理 Treatment	碳氮比 C/N ratio			
	> 2 mm	0.25 ~ 2 mm	0.05 ~ 0.25 mm	< 0.05 mm
CK	10.15aA	8.70aB	7.27aC	4.52aD
B1	10.46aA	8.97aAB	7.52aB	4.40aC
B2	10.54aA	8.54aB	7.82aC	4.65aD
B3	10.34aA	9.11aB	7.57aC	4.06aD

注:同一列中不同小写字母代表处理间差异显著,同一行中不同大写字母代表粒径间差异显著($P < 0.05$)。Note: Different lower letters following the same column mean the differences are significant among treatments and different upper letters following the same row mean the differences are significant among aggregate sizes at $P < 0.05$.

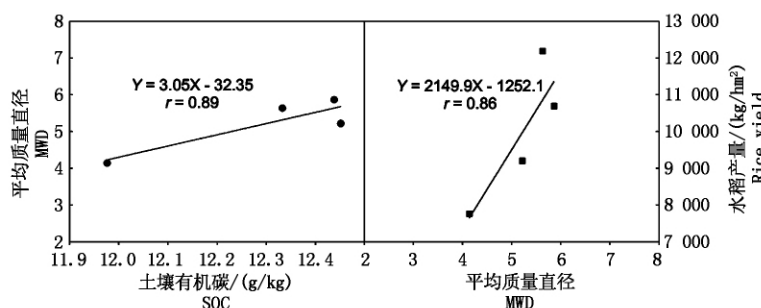


图 2 土壤有机碳和水稻产量与团聚体稳定性的关系

Fig.2 Soil organic carbon and rice yield as related to aggregate stability

3 结论与讨论

连续翻压紫云英 2 年后,水稻生育期明显延长,水稻产量也有了显著提高,且水稻产量与团聚体稳定性呈显著正相关。因此,紫云英还田能够作为清洁稻米增产的有效途径。

诸多研究表明,施用有机物料促进了微团聚体向大团聚体转变,其机理主要有二方面。第一,有机物料在微生物作用下会形成粗颗粒有机质,它又作为黏结剂使小团聚体形成大团聚体。随着有机物料不断加入土壤,大团聚体内能保存下来的有机质会越来越稳定,不易被微生物分解,使得大团聚体的转化周期变长,更有利于大团聚体的保存^[10-11]。第二,随着有机物料用量的增加,土壤有机质总量也增加,充足的营养对作物根系生长发育十分有利,根系本身可以通过缠绕作用促进大团聚体的形成。发育良好的根系也会增加根际微生物量,而土壤微生物,尤其是细菌分泌物和真菌菌丝的黏结作用,对大团聚体的形成和稳定起重要作用^[12-13]。本研究结果发现,翻压绿肥后,团聚体由大团聚体(> 2 mm 和 0.25 ~ 2 mm)向微团聚体(0.05 ~ 0.25 mm)转变,原因可能有 2 个:①试验开展年限较短(2 年),大团聚体较不稳定,容易破碎成微团聚体;②覆膜处理抑

制了紫云英分解时产生气体的逸出,这些气体对孔隙较大的大团聚体具有蓬松和破碎作用,更不利于稳定性较差的大团聚体的形成和稳定。尽管大团聚体数量没有增加,翻压紫云英对团聚体整体稳定性的提高却有改善趋势,且团聚体稳定性与土壤有机碳含量呈正相关,这与前人研究结果一致^[14-15]。

翻压紫云英对团聚体有机碳和全氮含量影响不明显,但不同粒径团聚体内有机碳含量随粒径减小而降低。Elliott^[16]认为大团聚体是由小团聚体黏结而成,可用团聚体等级模型解释:微团聚体是由含碳量高的不稳定的黏结剂(真菌菌丝、根系、微生物和植物源的多糖)黏结成大团聚体,故大团聚体(> 2 mm 和 0.25 ~ 2 mm)比微团聚体(0.05 ~ 0.25 mm)含有更多的有机碳^[17]。碳氮比作为土壤团聚过程和固碳过程的重要指示剂,可以反应土壤碳固持的有效性。本研究发现,碳氮比也随团聚体粒径的减小而降低,这与前人的研究结果一致^[18-19]。这种差异性可能与团聚体有机黏结剂的类型不同密切相关。比如,大团聚体内主要为瞬时和暂时有机黏结剂,易分解;微团聚体内则为永久黏结剂,性质稳定,前者碳氮比大于后者^[16,20]。另外,真菌在大团聚体中占主导而细菌在微团聚体中占主导^[20-21],真菌细胞的碳氮比约为 10,而细菌的约为 4^[22],这也可能是大团

聚体比微团聚体碳氮比高的原因。

总之,翻压紫云英尽管没有提高大团聚体的含量,却明显提高了团聚体稳定性,改善了土壤结构,且团聚体稳定性与土壤有机碳含量呈正相关;随着紫云英翻压量增加,水稻生育期逐渐延长($CK < B1 < B2 < B3$),且 $B1$ 、 $B2$ 、 $B3$ 水稻产量比 CK 分别提高了 19%、38%、57%,水稻产量与团聚体稳定性呈正相关;翻压紫云英对团聚体有机碳和全氮含量的影响不明显,但不同粒径团聚体内有机碳含量和碳氮比随粒径减小而降低。因此,在施有机肥的基础上,配施紫云英能有效改善土壤结构和提高有机稻米产量。

参考文献:

- [1] 姜灿烂,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.
- [2] 王兴祥,张桃林,鲁如坤. 施肥措施对红壤结构的影响[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(3): 70–72.
- [3] 焦彬,顾荣申,张学上. 中国绿肥[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [4] 周晓芬,张彦才,李巧云,等. 厩肥、秸秆和绿肥的含钾状况及其对土壤和作物钾素的供应能力[J]. 华北农学报, 1999, 14(4): 83–87.
- [5] 杨曾平,徐明岗,聂军,等. 长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 92–98.
- [6] 李继明,黄庆海,袁天佑,等. 长期施用绿肥对红壤稻田水稻产量和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 563–570.
- [7] 徐昌旭,谢志坚,曹卫东,等. 翻压绿肥后不同施肥方法对水稻养分吸收及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011, 3: 35–39.
- [8] Kemper W D, Rosenau R C. Aggregate stability and size distribution [M]//Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9 ASA. Wisconsin: Madison, 1986: 425–442.
- [9] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Laboratory methods [M]//Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. No. 9 ASA and SSSA. Wisconsin: Madison, 1982: 539–579.
- [10] 黄运湘,王改兰,冯跃华,等. 长期定位试验条件下红壤性水稻土有机质的变化[J]. 土壤通报, 2005, 36(2): 198–184.
- [11] Six J, Elliot E T, Paustian K. Aggregate and soil organic matter dynamic under conventional and no-tillage systems [J]. Soil Sci Soc Am J, 1999, 63: 1350–1358.
- [12] Guggenberger G, Elliott E T, Frey S D, et al. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch [J]. Soil Biol Biochem, 1999, 31: 407–419.
- [13] Birgitte N, Leif P. Influence of arbuscular mycorrhizal fungus on soil structure and aggregate stability of vertisol [J]. Plant and Soil, 2000, 218: 173–183.
- [14] 魏朝富,谢德体,陈世正. 紫色水稻土有机无机复合与土壤团聚体关系[J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 70–76.
- [15] 章明奎,何振利,陈国潮. 利用方式对红壤水稳定团聚体形成的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 359–366.
- [16] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native cultivated soils [J]. Soil Sci Soc Am J, 1986, 50: 627–633.
- [17] Oades J M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management [J]. Plant Soil, 1984, 76: 319–337.
- [18] Kushwaha C P, Tripathi S K, Singh K P. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem [J]. Appl Soil Ecol, 2001, 16: 229–241.
- [19] Saroa G S, Lal R. Soil restorative effects of mulching on aggregation and carbon sequestration in a miamian soil in central Ohio [J]. Land Degrad Develop, 2003, 14: 481–493.
- [20] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils [J]. J Soil Sci, 1982, 62: 141–163.
- [21] Gupta V V S R, Germida J J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation [J]. Soil Biol Biochem, 1988, 20: 777–786.
- [22] Sylvia D M, Fuhrmann J J, Hartel P G, et al. Principles and applications of soil microbiology [M]. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education Inc, 2005.