

侵蚀修复措施对红壤团聚体组成及养分的影响

魏兆猛 杨莹莹 黄丽 陈家宙 蔡崇法

华中农业大学农业部亚热带农业资源与环境重点实验室, 武汉 430070

摘要 以鄂南侵蚀红壤为研究对象, 采用花生-小麦轮作模式, 在侵蚀小区实施结构改良剂(聚丙烯酰胺, polyacrylamide, PAM)、稻草覆盖、带状牧草及其组合措施, 研究其对红壤水稳性团聚体组成(>4.00 、 $2.00\sim 4.00$ 、 $1.00\sim 2.00$ 、 $0.50\sim 1.00$ 、 $0.25\sim 0.50$ mm)、土壤有机质及速效养分的影响, 结果表明: 稻草覆盖极显著地提高红壤 $1.00\sim 2.00$ 和 $2.00\sim 4.00$ mm 的水稳性团聚体含量, 且花生季后土壤速效 K 的含量明显提高, 而小麦季后红壤的有机质和速效 K 含量都有提高, 但提高幅度各有不同。PAM 以及 PAM 和带状牧草组合措施能较好地提高 $0.50\sim 1.00$ mm 水稳性团聚体的含量, 但对土壤有机质和速效养分效果不明显。带状牧草和稻草覆盖组合措施能显著提高 >4.00 mm 水稳性大团聚体含量, 但对土壤有机质和速效养分影响不明显。稻草覆盖提高 $0.25\sim 4.00$ mm 水稳性团聚体含量的效果好于稻草覆盖和带状牧草组合措施, 而 PAM 和带状牧草组合措施对提高 >0.25 mm 水稳性团聚体含量的效果好于带状牧草, 但对于 $0.25\sim 1.00$ mm 粒径效果不如 PAM。

关键词 侵蚀红壤; 水稳性团聚体; 速效养分; 侵蚀修复措施

中图分类号 S 156.6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)03-0331-06

南方红壤地区是我国经济作物和粮食作物的重要生产基地, 然而占国土面积 22% 的红壤区的土壤流失量却超过全国总流失量的一半^[1]。由土壤侵蚀引起的土壤肥力下降是红壤地区土壤退化的普遍方式, 部分侵蚀红壤区的养分水平已接近谷底, 其中旱地红壤中磷素退化和水田中钾素流失等问题已严重制约该地区农业生产的发展^[2]。

有研究表明, 土壤结构是侵蚀的重要影响因子^[3], 而土壤团聚体又是土壤结构的物质基础, 其数量和质量决定着土壤的性质和肥力^[4-5]。土壤结构的退化是侵蚀红壤退化的最重要过程^[6-7], 其中最明显的特征表现在团聚体构成比例失调及团聚体稳定性下降, 而红壤团聚体的稳定性主要表现是其水稳性。李朝霞等^[8]认为 $0.5\sim 5.0$ mm 粒径的水稳性大团聚体含量高有助于提高红壤团聚体的稳定性, 而土壤团聚体与土壤肥力之间关系紧密; 关连珠等^[9]研究表明随着土壤肥力水平提高, 大于 $10\ \mu\text{m}$ 微团聚体含量增加, 土壤团聚度增大。

侵蚀修复方面的研究表明, 禾本科-豆科牧草轮作的植被恢复措施对于南方侵蚀红壤有机碳的积累

和微团聚体的形成作用显著^[10]。此外, 稻草易地还土等措施在提高土壤大团聚体含量, 改善大团聚体内碳、氮含量和比例, 改良红壤结构方面效果明显^[11]。在土壤结构改良剂研究方面, 有学者发现聚丙烯酸钾盐型保水剂可以显著改善土壤生理结构能增加土壤中水稳性团聚体的含量, 显著提高团聚体的质量^[12]。红壤培肥的研究表明, 有机无机肥料配合施用能加强有机碳对红壤团聚体形成及稳定方面的作用。此外, 选取大豆作为先锋作物, 配合修复措施, 可较好提高侵蚀红壤的修复效应, 并且使用土壤调理剂或有机肥料可明显提高红壤旱地肥力^[13]。

目前, 国内外有关侵蚀红壤修复的研究绝大多数是建立在单一或少数修复措施的基础上进行的, 研究的对象也主要针对于土壤团聚体和土壤肥力两者之一, 对于不同侵蚀阻断措施下, 红壤团聚体及养分特点的研究更是鲜见。本试验以湖北省咸宁市的侵蚀红壤为研究对象, 通过小区作物种植, 结合覆盖秸秆、施加结构改良剂、种植牧草等措施对侵蚀红壤进行修复和结构改良, 探讨不同措施对侵蚀红壤的修复效果, 以期为红壤修复机理的研究提供理论依据。

收稿日期: 2010-07-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40930529 和 40971143)

魏兆猛, 硕士研究生, 研究方向: 养分资源综合管理. E-mail: wzm2172@yahoo.cn

通讯作者: 黄丽, 博士, 教授, 研究方向: 土壤化学. E-mail: daisyh@mail.hzau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地点位于湖北咸宁市华中农业大学红壤试验站(东经 $113^{\circ} 41'$ ~ $114^{\circ} 58'$, 北纬 $29^{\circ} 15'$ ~ $30^{\circ} 25'$), 年均气温 16.5°C , 年均降雨量为 $1\ 484\ \text{mm}$, 年均蒸发量 $1\ 473\ \text{mm}$, 且大多集中在春季和夏初, 水土流失严重, 对该地区的农业生产影响很大^[14]。该地区地带性土壤主要为红壤, 成土母质以第四纪红色粘土(Q₂)为主, 土层深厚。试验选取花生、小麦作为供试作物, 花生播种时间为 2008 年 4 月, 小麦播种时间为 2008 年 10 月。

试验设置 6 个处理: (1) 作物对照(CK); (2) 作物 + 结构改良剂(聚丙烯酰胺, polyacrylamide, PAM)($2\ \text{g}/\text{m}^2$)(C1); (3) 作物 + 地面稻草覆盖($1\ 000\ \text{g}/\text{m}^2$)(C2); (4) 作物 + 带状牧草(百喜草)(C3); (5) 作物 + 结构改良剂($2\ \text{g}/\text{m}^2$) + 带状牧草(C4); (6) 作物 + 地面稻草覆盖($1\ 000\ \text{g}/\text{m}^2$) + 带状牧草(C5)。在距坡底 5、10、15 m 处种植牧草(百喜草)带, 每带宽 30 cm。大田试验地坡度为 8° , 用不透水铝塑料板分隔为面积相同的矩形小区, 小区面积为 $37.8\ \text{m}^2$, 铝塑料板插入地下 30 cm, 露出地表 10 cm, 每 2 个小区间隔 50 cm, 地表层互不串水。小区建成于 2008 年初, 由于受地块面积的限制, 每个处理设计 2 次重复, 小区随机排列。种植作物前用硫酸钾型复合肥($71\ \text{g}/\text{m}^2$)和磷酸二氢钙($71\ \text{g}/\text{m}^2$)作为基肥 1 次深施并翻耕。分别在花生和小麦收获后 1 周进行取样, 2 次取样后都分析土壤有机质以及速效养分, 小麦收获后分析土样的团聚体。

1.2 分析与测定

土壤基本性质测定参照文献[15], 土壤质地采用吸管法; 有机质(OM)(6.13 ± 1.65) g/kg(重铬酸钾外加热法); pH 5.02 ± 0.26 (电位法, $m_{\text{水}} : m_{\text{土}} = 2.5 : 1.0$); 全 N (0.50 ± 1.22) g/kg(半微量开氏法), 速效氮 (31.63 ± 5.65) mg/kg(扩散法); 全 P (0.23 ± 2.05) g/kg(混合酸消化法), 速效 P (1.67 ± 2.65) mg/kg(0.5 mol/L 碳酸氢钠法); 全 K (16.49 ± 4.35) g/kg(NaOH 熔融-火焰光度法), 速效 K (54.60 ± 4.82) mg/kg(乙酸铵提取-火焰光度法)。CEC (11.83 ± 4.26) cmol/kg(乙酸铵交换法), 比表面积(SSA)(38.97 ± 5.02) m²/g(氮气吸附法)。重复 3 次。采用干湿筛法^[16]测定各级团聚体占总团聚体含量比例, 分析各级团聚体的分布规律(表 1)。

表 1 干湿筛法测定各级团聚体占总团聚体含量比例

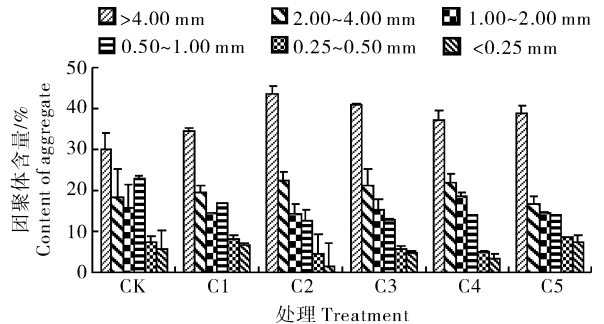
粒径大小/mm Particle size	干湿筛法 Dry-wet sieving method	百分比 Percentage
>4.00	干 Dry	33.24±4.20
	湿 Wet	0.09±0.03
2.00~4.00	干 Dry	23.49±0.45
	湿 Wet	1.38±0.49
1.00~2.00	干 Dry	15.77±1.95
	湿 Wet	5.54±0.75
0.50~1.00	干 Dry	15.94±0.53
	湿 Wet	17.70±0.72
0.25~0.50	干 Dry	6.39±2.11
	湿 Wet	10.69±0.78
<0.25	干 Dry	5.17±1.64
	湿 Wet	64.61±1.22

试验数据用 Microsoft-Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同侵蚀修复措施对红壤团聚体的影响

小麦季取样分析表明: 干筛后各级团聚体中 >4.00 mm 粒径的团聚体含量最多, 随着粒径的减小, 团聚体含量也随之减少(CK、C1 在 0.50~1.00 mm 除外)(图 1)。在 >4.00 mm 和 0.50~1.00 mm 范围各个处理与作物对照的均值相差最明显。对于 >4.00 mm 粒径的团聚体, 各个处理均值都要高于对照, 其中 C2 达到 43.74%, 最高, 而 CK 最低, 为 29.94%, 而在 0.50~1.00 mm 范围, 各个处



CK: 作物对照 Crop; C1: 作物 + 结构改良剂 Crop + PAM; C2: 作物 + 地面稻草覆盖 Crop + Straw mulching; C3: 作物 + 带状牧草 Crop + Zonal forage; C4: 作物 + 结构改良剂 + 带状牧草 Crop + PAM + Zonal forage; C5: 作物 + 地面稻草覆盖 + 带状牧草 Crop + Straw mulching + Zonal forage. 下同 The same as follows.

图 1 小麦季土壤干筛后各级团聚体占总团聚体的含量
Fig.1 Content of different size fraction of aggregates in the red soil as percentage of total after dry-sieving in the wheat season

理后团聚体含量比例却一致低于对照,其中CK最高,而C2最低。

湿筛法研究表明(表2):各个处理下,<0.25 mm粒径的团聚体比例最高,CK达到了65.25%。随着粒径的减小,总体上团聚体含量随之增加,只是在0.50~1.00与0.25~0.50 mm范围内变化不明显,前者略高于后者。湿筛后不同侵蚀修复措施下红壤的各级团聚体分布较一致,在>0.25 mm范围内,各个处理水稳性团聚体含量的均值都高于对照,在1.00~2.00和0.25~0.50 mm范围,更是明显高于对照。但是,具体到各级团聚体上,不同处理也

有差异,而且这种差异在不同的粒级上也表现不同。统计分析表明,对于各粒径团聚体,干筛后各处理间差异不显著,而湿筛后各级粒径不同处理之间都表现为差异显著。试验所采用的6种处理与原始土样相比,除了0.50~1.00 mm,其他粒径的团聚体比例都有不同程度的提高,尤其表现在>4.00 mm范围,差异显著。与作物对照相比,不同侵蚀修复措施都在不同程度上提高>0.25 mm水稳性团聚体含量,这说明各个侵蚀修复措施对提高>0.25 mm的水稳性团聚体含量效果明显,但不同修复措施效果差异明显。

表2 小麦季土壤湿筛后各个处理下各级团聚体含量¹⁾

Table 2 Statistical analysis of content of different size fraction of aggregates in the red soil after wet-sieving in the wheat season %

处理 Treatment	各级团聚体含量 Content of different size fraction of aggregates as percentage of total				
	>4.00 mm	2.00~4.00 mm	1.00~2.00 mm	0.50~1.00 mm	0.25~0.50 mm
原始土样 Original soil	0.09 dD	1.38 cB	5.54 bB	17.70 aA	10.69 cB
CK	0.40 cC	1.65 cB	5.89 bB	14.09 cB	12.72 cB
C1	1.74 abABC	2.58 cB	8.55 aAB	17.63 aA	16.09 abA
C2	0.94 cBC	4.61 aAB	10.25 aA	16.57 abAB	16.42 aA
C3	1.43 bABC	3.18 bAB	9.12 aA	14.70 cB	14.52 bAB
C4	2.17 abAB	3.25 bAB	9.83 aA	18.08 aA	14.93 abAB
C5	2.46 aA	2.63 cB	9.16 aA	15.86 bAB	15.22 abAB

1) 同列小写英文字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 水平,大写字母不同表示差异达到 $P < 0.01$ 水平。下同。Different small letters means prominent effect on the result at 0.05 level. Different capital letters means prominent effect on the result at 0.01 level. The same as follows.

对于>4.00 mm粒径的团聚体,采用地面稻草覆盖的C2与作物对照差异不显著,但采用结构改良剂的C1和种植带状牧草的C3则表现出差异显著,而采用稻草覆盖,结构改良剂和种植带状牧草复合处理的C4、C5的差异达到极显著水平。C1、C3、C4、C5四种措施的对比检验表明C5较其他3种处理效果要好,达到2.46%,而C4达到2.17%,其余均在2.00%以下。这说明种植带状牧草对提高水稳性大团聚体含量效果显著。

对于2.00~4.00 mm粒径,与CK相比,带状牧草处理C3、带状牧草与结构改良剂组合处理C4达到了显著水平,而地面稻草覆盖措施C2达到了极显著水平。C2效果更加明显,而C3、C4效果差异不显著。数据显示,C2处理下达到4.16%,明显高于其他处理,差异显著。这说明稻草覆盖措施对于提高2.00~4.00 mm团聚体含量效果最佳,C3、C4处理后结果说明带状牧草对提高2.00~4.00 mm团聚体的效果较好;但是,稻草覆盖与带状牧草组合处理措施的效果不明显。

对于1.00~2.00 mm粒径,除了施加结构改良剂的C1与CK相比表现出差异显著之外,其他4种

处理都表现出差异极显著,但是处理之间相差不大。地面稻草覆盖措施C2、结构改良剂与带状牧草复合措施C4均值分别是10.25%,9.83%,略好于其他处理效果,但差异不显著。这说明各侵蚀修复措施,对1.00~2.00 mm水稳性团聚体含量的提高效果都较为明显,不同措施的效果相当。

在0.50~1.00 mm的粒径范围内,与CK相比地面稻草覆盖和带状牧草复合处理C5表现出显著性差异,而结构改良剂措施C1、稻草覆盖的C2以及结构改良剂与带状牧草复合处理C4间的差异达到了极显著水平。有效处理之间的差异分析表明:C1、C2、C4与C5间差异显著,效果更好。这说明采用结构改良剂以及稻草覆盖措施,较其他措施在提高0.50~1.00 mm粒径团聚体含量方面效果更佳。

对于0.25~0.50 mm粒径,带状牧草处理C3、结构改良剂与带状牧草复合措施C4以及稻草覆盖与带状牧草复合措施C5间差异达到显著水平,而结构改良剂措施C1、地面稻草覆盖措施C2处理间差异达到了极显著水平。这表明采用结构改良剂,稻草覆盖措施对于提高0.25~0.50 mm粒径团聚体含量的效果要明显好于植被恢复措施;同样,对于

0.25~1.00 mm 的小团聚体,施加结构改良剂以及稻草覆盖措施效果最佳。

2.2 不同侵蚀修复措施对红壤养分的影响

1)不同处理对红壤 OM 的影响。从表 3 可知:作物为花生时各处理下土壤 OM 表现为:带状牧草和结构改良剂组合处理 C4、带状牧草和稻草覆盖复合措施 C5 效果要略好于其他处理,而各单一处理之间效果相近,这说明单一处理之间的相互促进作用导致组合处理效果增强。而作物为小麦时各项处理对团聚体有机质的影响差异较大,各处理下团聚体有机质含量都有提高(C1 除外),但提高幅度各有不同。统计分析表明稻草覆盖处理 C2、稻草覆盖与带状牧草复合 C5 处理后有机质含量提高幅度最大,尤其是 C2,处理后有机质达 11.05 g/kg,达到显著水平。而 C5 与 C2 都是采用了稻草覆盖的措施,种植带状牧草后有机质含量也有所提高,但效果不如稻草覆盖,而添加结构改良剂的效果较差,带状牧草与结构改良剂复合 C4 处理比 C1 均值略高,这从另一方面揭示,种植带状牧草对提高团聚体有机质含量具有一定的效果。

2)不同处理对红壤速效 N 的影响。从表 2 可以看出:结构改良剂与带状牧草组合 C4 处理后土壤速效 N 均值达到 77.43 mg/kg,明显高于其他处

理,而同样采用结构改良剂措施的 C1,也达到 69.43 mg/kg,仅次于 C4。这说明结构改良剂在提高土壤速效 N 上效果可能要好于其他处理。小麦收获后,稻草覆盖 C2、带状牧草 C3、结构改良剂与稻草覆盖组合措施 C4 处理后速效 N 含量更高,而只用结构改良剂的 C1 最低。这说明作物为小麦时,采用稻草覆盖,带状牧草等措施比单纯依靠使用结构改良剂更有助于提高团聚体速效 N 的含量。但是,作物为花生时,采用结构改良剂措施的效果更好一些。

3)不同处理对红壤速效 P 的影响。从表 2 可以看出:供试作物为花生时,稻草覆盖措施 C2 速效 P 达到 23.78 mg/kg,是各处理中效果最好的。与作物对照 CK 相比,各个处理都在不同程度上提高了土壤速效 P 的含量。这说明侵蚀修复措施对提高土壤速效 P 产生了一定的效果,但各处理效果上的差异没有完全显现。而供试作物为小麦时,各措施下速效 P 都在降低(C1 除外),C3、C4、C5 处理的土壤速效 P 都明显降低,其中 C5 只有 12.16 mg/kg。这说明作物为小麦时种植带状牧草可能降低了侵蚀红壤团聚体速效 P 的含量。与作物为花生时土壤速效 P 的变化不同,这表明作物种类对侵蚀修复措施的效果影响较大。

表 3 修复处理后侵蚀红壤速效养分及有机质含量

Table 3 The content of available nutrient and OM at every treatment in eroded red soil

作物 Crop	处理 Treatment	养分含量 The content of available nutrient and OM			
		有机质 OM/(g/kg)	速效 N/(mg/kg) Available N	速效 P/(mg/kg) Available P	速效 K/(mg/kg) Available K
花生 Peanut	CK	13.79±0.04 aA	57.19±0.35 aA	16.40±4.41 aA	126.33±5.95 dC
	C1	13.86±0.01 aA	69.43±2.40 aA	18.56±4.43 aA	171.70±4.06 bcABC
	C2	13.78±0.21 aA	62.12±4.22 aA	23.78±5.28 aA	206.70±9.78 abAB
	C3	14.02±0.65 aA	67.20±1.40 aA	20.70±1.66 aA	139.67±6.89 cdBC
	C4	14.42±0.07 aA	77.43±1.07 aA	18.62±1.34 aA	167.69±1.42 bcdABC
	C5	14.15±1.12 aA	61.08±6.65 aA	19.34±9.04 aA	231.75±6.74 aA
小麦 Wheat	CK	9.17±1.63 bA	62.84±4.30 aA	21.09±4.64 aA	99.64±1.41 cBC
	C1	7.42±1.12 bA	57.41±4.75 aA	22.24±4.85 aA	102.64±2.83 cBC
	C2	11.05±2.76 aA	72.64±4.82 aA	20.07±5.65 aA	251.77±5.52 aA
	C3	10.14±2.14 bA	71.08±3.73 aA	17.14±1.01 aA	86.63±6.98 cC
	C4	9.98±2.39 bA	79.38±4.16 aA	13.36±1.75 aA	117.66±6.05 cBC
	C5	10.43±1.17 bA	64.97±5.01 aA	12.16±3.62 aA	158.69±5.66 bB

4)不同处理对红壤速效 K 的影响。从表 2 可以看出:花生季各处理间团聚体速效 K 含量之间差异显著,采用稻草覆盖措施的 C2 与 C5 效果最好,均值分别达到 206.70 和 231.75 mg/kg,与其他处理相比差异显著,尤其是稻草覆盖与带状牧草复合处理 C5 效果最佳。这说明作物为花生时采用稻草

覆盖措施能显著提高土壤速效 K 含量,而种植带状牧草可能强化了这一作用。作物为小麦时,各措施处理后土壤速效 K 含量差异也较为显著。结构改良剂处理 C1、稻草覆盖处理 C2、结构改良剂与带状牧草复合处理 C4、稻草覆盖与带状牧草复合处理 C5 处理后速效钾大幅提高,其中 C2 处理后速效钾

均值为 251.77 mg/kg, 达极显著水平, 而 C5 处理为 158.69 mg/kg, 达显著水平。这说明作物为小麦时采用稻草覆盖和添加结构改良剂等措施能显著提高侵蚀红壤团聚体速效钾的含量, 稻草覆盖以及添加结构改良剂措施能显著提高 0.50~2.00 mm 的小团聚体含量。

3 讨论

土壤团聚体与土壤肥力之间关系紧密。关连珠等^[9]对不同肥力黑土、棕壤微团聚体组成的研究表明, 随着土壤肥力水平提高, 大于 10 μm 微团聚体含量增加, 增加幅度为 2%~5%。而侵蚀红壤有机质含量和 >0.25 mm 水稳性团聚体呈显著正相关^[17-18]。稻草覆盖增加土壤 OM 同时导致相应粒径土壤团聚体含量增加, 本质上是土壤有机质有效地增加了土壤团聚体的稳定性^[19]。本次试验所采用的稻草覆盖措施可显著提高土壤 OM, 以致该措施下 >0.25 mm 团聚体含量明显增加。

植被恢复措施能较快增加土壤有机碳的储存^[10], 而百喜草被认为是最佳覆盖作物^[20], 可显著提高土壤孔隙度和有机质, 因此种植带状牧草对于提高土壤 OM 效果较为明显, 但效果不如稻草覆盖。其主要原因是稻草覆盖能够在较短的时间内显著增加土壤有机质^[21], 而带状牧草等植被覆盖措施产生相当的效果可能需要较长时间。豆科作物的固 N 作用明显, 尤其是在作物缺 N 时, 固 N 作用就更加强烈, 这可能导致各修复措施在提高土壤速效 N 方面的作用被掩盖。试验结果表明结构改良剂措施在提高 >0.25 mm 范围水稳性团聚体含量上效果良好, 但其对土壤 OM 以及速效 N, P, K 的提高效果不佳, 似乎与前人的研究相悖^[12], 其原因可能是该措施作用下土壤 OM 以及速效养分的提高需要一个较长的过程。

本研究结果表明: 从单一修复措施的角度来看, 种植带状牧草对于提高 >4.00、2.00~4.00 mm 粒径的大团聚体效果最佳, 而稻草覆盖措施对于提高 >0.25 mm 各级团聚体效果都较好, 尤其表现在 2.00~4.00、1.00~2.00 mm 这 2 个粒级。章明奎等^[7]研究认为 >0.25 mm 红壤水稳性团聚体含量占总团聚体含量的比例与土壤有机质含量呈正相关, 而地面稻草覆盖措施可能明显提高土壤有机质含量。对于 0.25~1.00 mm 范围的小团聚体来说, 施加结构改良剂的效果最好。对于大团聚体, 有机

质是其主要的胶结物质, 这可能是使用结构改良剂之后水稳性大团聚体提高并不显著的原因之一。从组合修复措施角度来看, C4、C5 修复措施显著提高 >4.00 mm 的大团聚体含量, 但对于其他粒径团聚体修复的效果并非最佳。采用作物加稻草覆盖措施的 C2, 对于 0.25~4.00 mm 范围的团聚体效果都较好, 相对来说是供试侵蚀红壤团聚体修复的最佳措施。侵蚀红壤不同粒径水稳性团聚体的特点以及不同侵蚀修复措施之间的差异造成了修复效果的复杂性。但稻草覆盖措施对水稳性团聚体修复以及肥力提升的良好效果所覆盖的范围最为广泛, 因此本试验表明: 针对侵蚀红壤地区普遍采用的花生小麦轮作体系, 地面稻草覆盖措施对供试侵蚀红壤团聚体结构的修复以及土壤速效养分的提高效果突出。

参考文献

- [1] 陈永强. 侵蚀红壤肥力退化评价指标体系研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 72-75.
- [2] 孙波, 张桃林, 赵其国. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价[J]. 土壤, 1995, 27: 119-128.
- [3] EDWARDS A P, BREMER J M. Microaggregate in soil[J]. J Soil Sci, 1967, 33: 141-163.
- [4] PINHEIRO E F M, PEREIRA M G, ANJOS L H C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a red latosol from Brazil[J]. Soil Till Res, 2004, 77: 79-84.
- [5] 王月容, 周金星, 周志翔, 等. 不同土地利用方式下洞庭湖退田还湖区土壤物理特性[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(3): 306-311.
- [6] 魏朝富, 高明. 有机肥对紫色水稻土水稳性团聚体形成的影响[J]. 土壤学报, 1995, 26(3): 114-116.
- [7] 章明奎, 何振力, 陈国潮, 等. 利用方式对红壤水稳性团聚体形成的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 359-365.
- [8] 李朝霞, 蔡崇法, 史志华, 等. 鄂南第四纪粘土红壤团聚体的稳定性及其稳定机制初探[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 69-72.
- [9] 关连珠, 张伯泉, 颜丽. 不同肥力黑土、棕壤微团聚体组成及其胶结物质的研究[J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 260-266.
- [10] 李恋卿, 潘根兴, 张旭辉. 退化红壤植被恢复中表层土壤微团聚体及其有机碳的分布变化[J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 193-195.
- [11] 朱捍华, 黄道友, 刘守龙, 等. 稻草易地还土对丘陵红壤团聚体碳氮分布的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 135-140.
- [12] 许晓平, 汪有科, 冯浩, 等. 土壤改良剂改土壤肥增产效应研究综述[J]. 中国科学通报, 2007, 23(9): 331-334.
- [13] 刘杰, 张杨珠, 曾希柏, 等. 不同施肥结构和调理剂对侵蚀红壤

- 的修复效应[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 152-156.
- [14] 夏冰, 林丽蓉, 陈家宙, 等. 几种水蚀阻断措施对坡地红壤干旱的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2): 108-115.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [16] HAYNES R J. Interactions between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability[J]. *Bio Fertil Soils*, 2000, 30: 270-275.
- [17] 王春燕, 黄丽, 谭文峰, 等. 几种侵蚀红壤中有机质和团聚体的关系[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 52-56.
- [18] HUANG L, WANG C Y, TAN W F. Distribution of organic matter in aggregates of eroded ultisols, Central China[J]. *Soil Till Res*, 2010, 108: 59-67.
- [19] TISDALL J M, OADES J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. *J Soil Sci*, 1982, 31: 141-163.
- [20] 廖绵浚, 张贤明. 水土保持作物百喜草研究[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(2): 8-17.
- [21] 李玲, 朱捍华, 苏以荣, 等. 稻草还田和易地还土对红壤丘陵农田土壤有机碳及其活性组分的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 926-933.

Effects of erosion restoration measures on aggregate component and available nutrient in the red soil

WEI Zhao-meng YANG Ying-ying HUANG Li CHEN Jia-zhou CAI Chong-fa

Key Laboratory of Subtropical Agricultural Resource and Environment, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Erosion restoration measures such as, polyacrylamide (PAM), straw mulching, zonal forage (*Paspalum notatum*), and the combination of them were used in the eroded plots of red soil rotated by peanut and wheat in southern area of Hubei Province. The water stable aggregates (more than 4.00, 2.00-4.00, 1.00-2.00, 0.50-1.00, 0.25-0.50 mm) and the content of available N, P and K in the eroded red soil was detected to reveal the effects of erosion restoration measures on aggregate stability and available nutrient. The results showed that straw mulching could significantly increase the contents of 1.00-2.00 and 2.00-4.00 mm water stable aggregate (WSA), and the increase rate was 40% for the contents of more than 0.25 mm WSA. In the straw mulching treatment, the contents of organic matter and available K separately increased 20% and 150% after planting wheat. The measures of PAM and the combination of PAM and zonal forage could increase the content of 0.50-1.00 mm WSA, and rates were 25% higher than that of the control, but they were not significant for the increase of the soil organic matter and available nutrients. The combination of zonal forage and straw mulching could significantly increase the content of more than 4.00 mm WSA by 500% compared to the control, but no obvious influences to the soil organic matter and available nutrients. The measure of straw mulching was better than the combination of straw mulching and zonal forage for increasing the content of 0.25-4.00 mm WSA. In improving the content of more than 0.25 mm WSA, the effect of the composition of PAM and zonal forage was better than the measure of zonal forage, but less than the measure of PAM for increasing the content of 0.25-1.00 mm WSA.

Key words eroded red soil; water stable aggregate; available nutrient; erosion restoration measures

(责任编辑: 张志钰)