

不同利用方式和开垦年限下红壤水稳性团聚体及养分变化研究^①

刘晓利^{1,2}, 何园球^{1*}

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 本文就不同开垦年限下旱地、水田、菜园和荒地土壤水稳性团聚体、有机 C 和各养分的变化规律及其相互关系进行了研究。结果表明, 荒地开垦为旱地、水田和菜园后, >5 mm 的水稳性团聚体含量迅速下降, 但随着利用年限的延长, >0.25 mm 的水稳性团聚体总量呈增加趋势。旱地和菜园土壤有机 C 的积累速度高于全 N, 而水田土壤中全 N 和有机 C 含量同时迅速上升。土壤全 P 含量随开垦年限增加快速升高, 但土壤 K 素淋失严重, 随着熟化程度的提高而降低。红壤各粒级水稳性团聚体含量与有机 C 和全 N 含量之间均达到了显著相关关系, 而与全 P 和全 K 间相关性不显著。可见, 土壤团聚体稳定性程度保持在何种水平, 主要取决于农田有机 C 库及 N 的平衡状况。

关键词: 开垦年限, 水稳性团聚体, 土壤有机碳、氮和磷

中图分类号: S181

我国东南红壤丘陵区水、热、生物资源丰富, 生产潜力大。但由于对土地资源的长期不合理利用, 部分地区生态与环境状况恶化, 土壤结构性状也遭到破坏^[1]。而土壤团聚体是土壤结构的基本单位, 是土壤的重要组成部分^[2-3], 土壤团聚体的稳定性对土壤肥力质量和土壤的可持续利用等有很大的影响^[4]。土壤质量的高低, 不仅与大、小粒级团聚体自身的作用有关, 而且与它们的组成比例相关。有机质被认为是形成稳定土壤结构的重要条件, 但同时利用方式和开垦年限影响着有机 C 的分解、转化及循环速率, 并且和其他土壤养分也有着密切的联系。

研究表明, 土壤团聚体颗粒组成的不同是造成养分差异的最主要内在原因。土壤开垦后随着黏粒活度的增加和无机胶结物含量的降低, 土壤团聚体的水稳性会逐渐降低, 团聚体有从较大粒径向小粒径转变的趋势^[5]。同时, 大团聚体中的有机物质含量会随着耕作降低, 但在小团聚体中则增加^[6-8]。姚贤良等^[9]研究表明, 适于植物生长的良好结构主要依赖于直径 10~1 mm 的水稳性团聚体, 这种团聚体有利于调节通气和持水间以及养分的释放和保持间的矛盾。同时, 土壤中有机 C、N 和 P 可以以不同的形态存在于不同的土壤中, 并且在土壤肥力演变中具有不同的稳定性和变

化趋势^[10-12]。因此, 研究不同利用年限下红壤团聚体各养分的变化研究, 对于探讨红壤肥力演变过程中的影响因素及作用机理具有重要的意义。

目前, 关于利用年限对红壤水稳性团聚体、土壤养分及二者间关系的研究尚未见深入而全面的报道。因此, 本文就不同利用年限对旱地、水田和菜园土壤团聚体和有机 C 及 N、P、K 的影响作了较深入的分析讨论, 以期对红壤资源的合理利用、结构调控以及培肥地力等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样地概况

采样区位于江西省鹰潭市刘家站 (东经 116°55', 北纬 28°15'), 属亚热带季风气候区, 年均气温 17.8 °C, 年均降雨量为 1785 mm, 年蒸发量 1318 mm, 无霜期 261 天。该地区位于我国中亚热带典型红壤分布区, 干湿季节变化较为明显, 成土母质为覆盖在第三纪红砂岩上的第四纪红黏土。

1.2 土壤样品采集

本试验选择旱地、水田和菜园 3 种利用方式的原状土壤, 每种利用方式土壤分别选取自荒草地开垦后不同利用年限的样本。其中种植年限分别为旱地(花生

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40671108) 资助。

* 通讯作者 (yqhe@issas.ac.cn)

作者简介: 刘晓利 (1979—), 女, 河北鹿泉人, 博士研究生, 主要从事红壤肥力方面的研究。E-mail: xlliu@issas.ac.cn

地)土壤(7, 18, 43, 50年), 水田土壤(6, 30, 85, 100年)和菜园土壤(10, 20, 40, 50年)。同时选择邻近的荒地地进行相同采样, 以作本底对照(未种植)。采样时先将土壤表面的植被和枯草小心铲除, 露出土壤表层, 采样深度为0~10 cm, 每一利用年限田块随机采取3个样点, 每个样点的原状土分别装入硬质塑料盒中带回实验室处理。

1.3 水稳性团聚体筛分

将土壤中砾石、侵入体及粗有机物捡除, 并在风干过程中沿自然断裂面掰成10 mm大小的土块。待土壤样品完全风干后, 一部分土样采用湿筛法分离土壤水稳性团聚体^[13], 一部分土壤风干测定土壤有机C、全N和全P含量。湿筛时称取60 g风干土, 置于5 mm土筛上, 蒸馏水浸泡10 min, 然后将土样依次通过2、1、0.5、0.25、0.053 mm的土筛。团聚体的分离通过上下移动筛子3 cm, 重复50次(2 min), 将留在每个筛子上的土壤冲洗到铝盒中, 在50℃下烘干, 称重。

1.4 分析方法和数据处理

土壤相关项目测定均参照土壤农业化学分析方法^[14]。土壤有机质采用高温外加热重铬酸钾氧化-容量法测定; 土壤全N采用半微量凯氏定氮法测定; 土壤全P

采用酸溶-钼锑抗比色法测定。

统计分析采用Excel和SPSS 13.0进行。

2 结果与讨论

2.1 不同开垦年限下红壤水稳性团聚体的变化

红壤的利用方式多种多样, 导致团聚体的组成和含量存在很大差别。随着土地的耕作, 土壤有机C的分布及土壤团聚体也发生了一定的变化。

由表1可知, 荒地土壤开垦为旱地、水田和菜园后, >5 mm的水稳性团聚体含量均有不同程度的降低, 其中旱地和菜园土壤的降低幅度最大, 由原来的393.2 g/kg均降低为零, 并且随着开垦年限的延长无明显变化; 而水田土壤中团聚体含量降低幅度较小, 并且随着开垦年限的延长而有所升高。这说明, 人为耕作对旱地和菜园土壤的干扰强度较大, 这也是导致大颗粒水稳性团聚体破碎成小颗粒团聚体的一个重要原因。荒地水耕后, 初期的人为扰动确实造成了大团聚体的破碎, 但经过数年的培育, 又重新形成了>5 mm水稳性团聚体结构。这可能是因为, 水田土壤灌水和晒田的干湿交替以及特殊的管理措施导致较易形成较大团聚体结构^[15-16]。

表1 不同开垦年限下红壤水稳性团聚体含量(g/kg)

Table 1 Contents of water-stable aggregates in different reclamation years

利用方式	开垦年限 (年)	水稳性团聚体							
		>5 mm	5.0~2.0 mm	2.0~1.0 mm	1.0~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.053 mm	>0.25 mm	
荒地	0	393.2 (28.4)	191.8 (5.1)	40.2 (1.4)	81.0 (8.5)	45.2 (2.2)	170.0 (19.0)	751.4	
	旱地	7	0.00	38.2 (8.3)	18.2 (2.7)	69.1 (12.8)	134.0 (28.1)	504.0 (62.5)	259.5
		18	0.00	63.7 (18.0)	28.1 (4.6)	127.1 (18.9)	134.7 (27.0)	224.4 (45.0)	353.6
		43	0.00	32.6 (7.3)	23.9 (1.8)	139.7 (2.82)	187.7 (19.5)	466.4 (26.9)	383.8
		50	0.00	61.4 (11.0)	44.0 (6.4)	210.4 (9.3)	148.7 (2.1)	247.8 (3.5)	464.5
水田	6	116.0 (23.1)	193.7 (11.4)	42.9 (5.8)	167.8 (2.4)	107.8 (4.9)	179.7 (8.2)	628.9	
	30	92.6 (6.9)	240.8 (22.9)	73.3 (12.9)	187.8 (18.2)	94.3 (8.02)	204.3 (15.2)	688.9	
	85	65.6 (8.3)	167.0 (23.2)	55.4 (1.7)	246.6 (12.2)	91.4 (0.7)	126.2 (3.9)	625.9	
	100	176.6 (8.02)	355.3 (5.03)	54.0 (3.74)	143.4 (2.47)	47.4 (2.6)	79.1 (4.04)	776.8	
	菜园	10	0.00	113.8 (23.3)	46.1 (9.0)	227.5 (30.9)	159.9 (12.3)	271.9 (40.1)	547.3
20		0.00	33.2 (3.4)	16.4 (0.8)	64.4 (3.7)	121.6 (5.5)	496.6 (21.6)	235.6	
40		0.00	107.3 (15.8)	39.7 (3.8)	219.7 (11.3)	152.6 (15.7)	358.1 (17.4)	519.2	
50		6.5 (5.6)	94.9 (1.6)	40.6 (9.5)	303.4 (29.6)	142.9 (27.8)	238.1 (46.3)	588.3	

注: 括号内数据为STDEV值, 下表同。

旱地、水田和菜园土壤>0.25 mm的水稳性团聚体含量随着开垦呈现增加的趋势, 这可能是因为人为施肥导致土壤有机C含量增加, 肥力水平提高, 进而导致大团聚体含量增加。而荒地土壤中>0.25 mm的水

稳性团聚体含量显著高于其他利用方式, 这可能是因为有机C含量不高、养分不太丰富的土壤中, 还存在其他胶结物质, 发挥着形成和稳定>0.25 mm团聚体的作用^[3]。

开垦初期的旱地和菜园红壤中 0.25 ~ 0.053 mm 的水稳性团聚体含量先升高后下降。其中, 菜园土壤中 0.25 ~ 0.053 mm 团聚体含量在开垦 20 年时达到最高, 而旱地土壤则是在 7 年左右就达到最大值, 这说明菜园土壤中大粒径团聚体向小粒径团聚体转变的速度较慢。这可能是因为菜园土壤有机肥的施用量相对较高, 有机养分有利于保持土壤颗粒的团聚作用^[17]。而旱地土壤中 0.25 ~ 0.053 mm 的水稳性团聚体含量下降的同时, 2.0 ~ 1.0 mm 和 1.0 ~ 0.5 mm 的水稳性团聚体含量是升高的, 但旱地土壤仍以 0.25 ~ 0.053 mm 的水稳性团聚体为主, 这说明在开垦种植过程中, 旱地土壤中较小粒径团聚体有向较大团聚体转变的趋势, 耕作对

旱地土壤大团聚体的破坏程度要强于其形成过程。

2.2 不同开垦年限下红壤有机 C 及养分的变化

2.2.1 土壤有机 C

分析结果表明(表 2), 荒地土壤开垦为旱地、水田和菜园后, 土壤有机 C 含量随种植年限的延长均呈增加趋势, 新开垦的旱地土壤中有有机 C 含量低于荒地土壤, 这是因为有机 C 含量的动态变化是由系统输入和输出的相对大小决定的。红壤荒坡地, 每年以禾本科草为主的归还土壤的地被物量约为 1000 ~ 1200 kg/hm², 保证了有机物料输入^[18]。而旱地土壤种植前期, 减少了有机质的输入, 而增大了有机质的分解速率^[19], 因此, 在旱地开垦初期, 土壤有机 C 含量快速下降。

表 2 不同开垦年限下红壤有机 C 及各养分含量 (g/kg)

Table 2 Contents of soil organic C, N, P and K in different reclamation years

利用方式	开垦年限 (年)	有机 C	全 N	全 P	全 K	C/N	
荒地	0	8.79 (0.32)	0.91 (0.04)	0.36 (0.01)	9.52 (0.21)	9.67	
	旱地	7	8.08 (0.09)	1.23 (0.06)	0.57 (0.02)	7.43 (0.19)	6.56
旱地	18	7.40 (0.15)	0.82 (0.01)	0.58 (0.01)	11.39 (0.68)	9.03	
	43	8.55 (0.14)	0.86 (0.02)	0.49 (0.01)	8.06 (0.23)	9.94	
	50	13.08 (0.81)	1.08 (0.09)	0.61 (0.10)	7.95 (0.65)	12.16	
	水田	6	12.93 (0.22)	1.11 (0.01)	0.72 (0.10)	7.96 (0.64)	11.65
		30	17.34 (0.57)	1.99 (0.03)	0.69 (0.06)	7.34 (0.14)	8.71
85		20.17 (0.03)	1.69 (0.01)	0.76 (0.07)	8.69 (1.07)	11.93	
100		21.57 (0.11)	2.01 (0.02)	0.82 (0.09)	8.01 (0.23)	10.75	
菜园	10	13.94 (0.15)	1.73 (0.02)	0.88 (0.06)	9.83 (0.45)	8.05	
	20	12.71 (0.21)	1.51 (0.01)	1.01 (0.11)	7.06 (0.19)	8.44	
	40	12.94 (0.11)	1.32 (0.02)	1.27 (0.11)	9.25 (0.35)	9.80	
	50	17.46 (1.32)	1.34 (0.01)	1.39 (0.08)	8.63 (0.09)	13.00	

菜园土壤有机 C 含量在开垦的前 20 年无明显变化, 在 50 年时发生较大幅度增长。这可能是菜园土壤有机肥施入量较大, 而有机肥的肥效长而缓, 因此, 有机 C 含量在开垦后期显著增加。水田土壤有机 C 含量也是随着开垦年限的延长而升高, 但绝对值要明显高于旱地和菜园土壤。这是因为红壤地区水稻田每年有机质进入量达 6000 ~ 11000 kg/hm², 其中包括还田秸秆、根茬及施用的有机肥等^[20-21]; 加之稻田的施肥管理水平较高, 大量的作物残体和其他有机物质归还土壤使得每年形成的土壤有机质较多, 土壤有机 C 含量快速增加^[22]。

2.2.2 土壤全 N

旱地和菜园土壤中全 N 和有机 C 的变化趋势相反, 全 N 含量随开垦年限的延长呈下降的趋势(表 2)。而高亚军等人^[23-25]的研究结果表明, 土

壤有机 C 和 N 的消长趋势往往是一致的, 本研究的结果和他们的结果存在差异。旱地和菜园土壤的 C/N 也是随开垦年限延长而升高的。说明, 荒地开垦为旱地和菜园后, 土壤有机 C 和全 N 的积累速度是不同的。从开垦的初期到后期 C/N 分别从 6.56 和 8.05 增加到 12.16 和 13.00。有机 C 的积累速度要高于全 N, 而 C/N 变化反映了土壤有机 C 积累过程中 C、N 周转速率的差异, 这可能会对土壤有机质的储存以及养分和能量的循环产生明显的影响^[26]。

荒地水耕后, 土壤有机 C 和 N 含量均迅速上升。开垦百年的水田土壤有机 C 和全 N 含量分别比荒地土壤增加了 12.98 和 1.10 g/kg, 这一数值明显高于旱地和菜园土壤中全 N 含量。这是因为在水耕条件下, 水稻通过非共生固 N 而获得生长需要的部分 N 素, 水田施肥水

平较高，而旱耕利用作物生长较差，管理水平和有机物质的进入量均较低，土壤全N的积累速度也较慢，导致土壤全N和有机C含量均较高^[27-28]。而水田土壤C/N的变化在长期过程中处于平衡状态，与荒地土壤相比略有升高。这说明，水田土壤有机C和全N的转化速率相当，这可能是由于水稻的共生固N作用使得N素含量比旱地和菜园土壤相对偏高。

2.2.3 土壤全 P 与荒地土壤相比，旱地、水田和菜园土壤中全 P 含量有了显著提高，并且随着开垦年限的延长，土壤全 P 含量均为增加的趋势。这说明在常年施用 P 肥的情况下，土壤 P 素水平得到了提高。可见，红壤区土壤全 P 含量是可以施用 P 肥来得到快速提高的。红壤地区，土壤由于巨大的固 P 能力以及 P 在土壤中的微弱移动性，进入的 P 很容易被保持在土壤中，而导致土壤全 P 含量能够快速升高。但从表 2 可以看出，旱地土壤 P 素的增长速度要比菜地土壤缓慢，而且菜地土壤中全 P 平均水平高于旱地和水田，可见菜地土壤的管理和施肥措施更有利于土壤 P 素的积累。

2.2.4 土壤全 K 旱地、水田和菜园土壤随着开垦年限的延长，土壤全 K 含量均呈现先升高后降低的趋势。开垦若干年后，旱地、水田和菜园土壤中全 K 含量比荒地土壤分别低 16.5%、15.9% 和 9.3%。据研究，这种随着熟化程度的提高土壤全 K 含量降低的趋势，在红壤水稻土中是一种普遍存在的现象^[28]。但从表 2 可知，随开垦年限的延长，旱地土壤全 K 含量的损失比菜地大，这是因为旱地土壤结构较差，土壤 K 素的淋失问题很严重，而菜地土壤团聚体结构较早地好，因此，全 K 损失较早地少。荒地水耕利用后，导致含 K 矿物的破坏和损失，灌水期间的水分协同作用使土体内的物质形成溶液随水迁移，导致 K 的大量淋失，使固 K 能力降低。另外，长期以来，红壤地区农田 K 肥的施用严重不足，农田 K 素的平衡状况处于亏损状态，这也是导致土壤全 K 含量下降的原因之一^[29-30]。

2.3 水稳性团聚体与土壤有机 C、全 N 和全 P 含量的关系

将土壤水稳性团聚体与土壤有机 C 和各养分进行相关分析，结果见表 3。

表 3 土壤水稳性团聚体含量与土壤养分的相关性

Table 3 Correlation between water-stable aggregates and soil nutrients

水稳性团聚体 (mm)	有机 C (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)
>5	0.651**	0.537**	-0.107	-0.274
5.0~2.0	0.761**	0.557**	-0.046	-0.156
2.0~1.0	0.710**	0.474**	-0.063	-0.044
1.0~0.5	0.511**	0.010	0.489**	0.370*
0.5~0.25	-0.653**	-0.598**	0.026	0.187
0.25~0.053	-0.689**	-0.402*	-0.040	-0.283
>0.25	0.807**	0.426**	0.207	-0.008

注：**：p<0.01；*：p<0.05。

红壤开垦后，各粒级团聚体均与土壤有机C含量间存在显著相关关系，并且随着土壤团聚体颗粒的变小，由正相关转变为负相关关系（表 3）。这是因为，红壤水稳性大团聚体的形成主要依靠有机质的胶结作用，大团聚体是由较小粒径团聚体加有机胶结物质形成的。因此，大团聚体中有机C含量较高，与有机C含量间呈显著正相关关系^[15]。

除 1.0~0.5 mm 的水稳性团聚体外，各团聚体与土壤全N含量也呈显著相关。土壤有机C的保持主要取决于土壤全N含量（表 3）。但一般认为，土壤有机C含量不高、黏粒和氧化铁铝价高的土壤中，团聚体的形成主要靠黏粒的内聚力及铁铝氧化物的胶结作用

^[2]。例如，荒地土壤>0.25 mm的水稳性团聚体含量高于旱地、水田和菜园，而荒地土壤有机C含量却较低。

表 3 结果表明，除 1.0~0.5 mm 的水稳性团聚体外，其他粒级团聚体均与土壤全 P 和全 K 含量无显著相关。土壤 P 和 K 素对于水稳性团聚体的形成和稳定的影响远远低于土壤有机 C 和全 N。有研究表明，土壤全 K 的含量除因黏土矿物类型的不同而异外，特别与黏粒含量有显著关系。土壤 K 素主要集中在 <0.002 mm 的粒级中，其含量随粒级的增大而降低。土壤 K 素是由于黏粒的淋失而随利用年限降低的，因此，水稳性大团聚体导致的土壤结构变化不会引起 K 含量的明显变化。

3 结论

(1) 荒地土壤开发为旱地、水田及菜园后, >5 mm 的水稳性团聚体含量迅速下降, 0.25 ~ 0.053 mm 的水稳性团聚体含量升高。随着利用年限的延长, >0.25 mm 的水稳性团聚体总量呈增加的趋势, 并以水田的增加幅度最大。可见, 水耕利用应该是保持良好土壤结构和土壤肥力的首选利用模式。

(2) 旱地、水田和菜园土壤有机 C 含量随种植年限的延长均呈增加趋势。尤其是大量有机物质的回田使得水稻土壤有机 C 含量迅速提高, 在红壤地区水耕应该是土壤得到快速熟化的常用措施。

(3) 旱地和菜园土壤有机 C 的积累速度高于全 N, 而水田土壤由于共生固 N 作用, 全 N 和有机 C 同时迅速上升。红壤地区巨大的固 P 能力以及 P 在土壤中的微弱移动性, 导致土壤全 P 含量能够快速升高。但红壤区土壤 K 素的淋失问题很严重, 土壤全 K 含量随着熟化程度的提高而降低。

(4) 红壤水稳性团聚体与土壤有机 C 和全 N 之间均达到了显著相关关系, 但与土壤全 P 和全 K 之间相关性不显著。可见, 土壤团聚体稳定性保持在何种水平, 主要取决于土壤的性质和农田有机 C 库及 N 的平衡状况。

参考文献:

- [1] 章明奎, 何振立. 成土母质对土壤团聚体形成的影响. 热带亚热带土壤科学, 1997, 6(3): 198-202
- [2] 史弈, 陈欣, 沈善敏. 土壤团聚体的稳定机制及人类活动的影响. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1491-1494
- [3] 王清奎, 汪思龙, 高洪, 刘艳, 于小军. 土地利用方式对土壤有机质的影响. 生态学杂志, 2005, 24(4): 360-363
- [4] 胡国成, 章明奎, 韩常灿. 红壤团聚体力学和酸碱稳定性的初步研究. 浙江农业科学, 2000(3): 125-127
- [5] Linquist BA, Singleton PW, Yost RS, Cassman KG. Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorus in an Ultisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61:160-166
- [6] Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water-stable aggregate in soil. Journal of Soil Science, 1982, 33(2):141-163
- [7] Elliot ET. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1986, 50: 627-633
- [8] Castro FC, Lourenco A, Guimaraes MF, Fonseca I CB. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. Soil and Tillage Research, 2002, 65: 45-51
- [9] 姚贤良, 许绣云, 于德芬. 不同利用方式下红壤结构的形成. 土壤学报, 1990, 27(1): 25-33
- [10] 张履勤, 章明奎. 林地与农地转换过程中红壤有机碳、氮和磷库的演变. 浙江林学院学报, 2006, 23(1): 75-79
- [11] Guggenberger G, Zech W, Thomas RJ. Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an oxisol under tropical pastures following native savanna. Soil Biol. Biochem., 1995, 27: 1629-1638
- [12] 夏建强, 章明奎, 徐建民. 林地开垦后对不同质地红壤碳氮和磷库的影响. 土壤通报, 2005, 36(2): 185-189
- [13] Six J, Paustian K, Elliott ET, Combrink C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, 64: 681-689
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [15] 章明奎, 徐建民. 利用方式和土壤类型对土壤肥力质量指标的影响. 浙江大学学报, 2002, 28 (3): 277-282
- [16] Six J, Elliott E, Paustian K. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1998, 62: 1367-1377
- [17] 王库, 何东方. 有机肥对旱地红壤供磷效应的研究. 土壤肥料, 2001(5): 19-22
- [18] 李忠佩. 亚热带人工林地的生物归还动态及土壤养分含量的变化 // 王明珠, 张桃林, 何园球. 红壤生态系统研究 (第三集). 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 199-207
- [19] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 尹瑞龄, 施亚琴. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析. 土壤学报, 2003, 40 (3): 344-352
- [20] 李忠佩. 红壤区耕地有机物质的利用现状与开发策略. 土壤与环境, 1999, 8(2): 148-152
- [21] 朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992
- [22] 李忠佩, 吴大付. 红壤水稻土有机碳库的平衡值确定及固碳潜力分析. 土壤学报, 2006, 43(1): 46-52
- [23] Salnju UM, Terrill TH, Gelaye S, Singh BP. Soil aggregation and carbon and nitrogen pools under rhizoma peanut and perennial weeds. Soil Sci. Soc. Am. J., 2003, 67: 146-155
- [24] 洪瑜, 方晰, 田大伦. 湘中丘陵区不同土地利用方式土壤碳氮含量的特征. 中南林学院学报, 2006, 26(6): 9-16
- [25] 高亚军, 李生秀. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对有机质和全氮的影响. 土壤与环境, 2000, 9(1): 27-30
- [26] 李忠佩, 李德成, 张桃林, 陈碧云, 尹瑞玲, 施亚琴. 红壤水稻土肥力性状的演变特征. 土壤学报, 2003, 40(6): 870-878
- [27] 张桃林主编. 中国红壤退化机制与防治. 北京: 中国农业出版社, 1999

- [28] 李庆逵主编. 中国水稻土. 北京: 科学出版社, 1992
北京: 科学出版社, 2002: 57-60
- [29] 鲁如坤. 东部红壤区农田养分平衡的时空演变 // 赵其国主编.
中国东部红壤地区土壤退化的时空变化和机理及调控措施.
- [30] 谢建昌. 中国土壤的钾素肥力及农业中的钾管理 // 沈善敏主编. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998

Water-Stable Aggregates and Nutrients in Red Soil Under Different Reclamation Years

LIU Xiao-li^{1,2}, HE Yuan-qiu¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: The variation of water-stable aggregates, nutrients and their correlation in four land uses (upland, paddy soil, vegetable soil and wasteland soil) under different reclamation years were studied. The results showed that the content of >5 mm aggregates decreased rapidly after the wasteland soil was cultivated to upland, paddy soil and vegetable soil. With the reclamation years prolonged, the total content of >0.25 mm aggregates increased. The accumulation rate of soil organic C was higher than soil N for upland and vegetable soil, but kept stable for paddy soil. The content of soil P increased rapidly with the reclamation years prolonged in red soil. And in this study, soil K run off seriously and the content of soil K decreased with the reclamation years prolonged. Soil organic C and soil N were significantly correlated with the content of water-stable aggregates, but soil P and K were not significant correlated with the content of water-stable aggregates. So the level of stability of water-stable aggregates was mainly depended on the balance of soil organic C and soil N.

Key words: Reclamation years, Water-stable aggregates, Soil organic C, N and P