

# 横坡和顺坡耕作对紫色土土壤团聚体稳定性的影响\*

张 怡 何丙辉\*\* 王仁新 郭志敏 唐柄哲

(西南大学资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆 400715)

**摘 要** 通过径流小区试验,分析探讨了紫色土横坡和顺坡两种耕作模式下表层(0~20 cm)土壤水稳性团聚体及有机碳含量的特征,为紫色土区坡耕地的有效改造和综合利用提供科学依据。试验结果表明,横坡耕作下土壤水稳性指数  $K$  值比顺坡耕作高 38.99%,而土壤分散性  $D$  值为顺坡耕作的 1.64 倍,横坡耕作抗蚀性大于顺坡耕作。横坡耕作  $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量比顺坡耕作增加 3.62%, $>5$  mm、 $5\sim 3$  mm、 $3\sim 2$  mm 水稳性团聚体含量横坡耕作均高于顺坡耕作,横坡耕作显著提高  $>2$  mm 水稳性团聚体含量。横坡耕作下团聚体结构体破坏率较顺坡耕作减少 3.05%,团聚体平均重量直径为顺坡耕作的 1.39 倍。2 种耕作模式下  $0.5\sim 2$  mm 团聚体有机碳含量均最高, $>0.25$  mm 不同粒级团聚体有机碳含量百分数均随粒径的减小而减小,均在  $0.5\sim 0.25$  mm 粒级下达到最小。横坡和顺坡耕作模式下  $2\sim 1$  mm 团聚体有机碳含量无显著差异。横坡耕作较顺坡耕作能够显著增加紫色土  $>2$  mm 水稳性团聚体含量,且对有机碳的固持作用更好,有利于土壤结构的改善。

**关键词** 紫色土 横坡耕作 顺坡耕作 水稳性团聚体 有机碳 抗蚀性

**中图分类号:** S157.42 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2013)02-0192-07

## Effects of across- and along-slope ploughs on soil aggregate stability

ZHANG Yi, HE Bing-Hui, WANG Ren-Xin, GUO Zhi-Min, TANG Bing-Zhe

(College of Resources and Environment, Southwest University; Key Laboratory of Eco-environments in the Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China)

**Abstract** Soil aggregate is an key soil fertility identification index which determines the quality and erosion resistance of soils. Soil organic carbon content somehow influences soil stability and soil water-stable aggregate forms. It is a critical driving factor of soil fertility and soil cushioning property. Farming measures also influence changes in soil organic carbon pool and different farming measures have different effects on soil physical and chemical property. To find proper tillage measures on slope croplands in purple soils, the effects of across- and along-slope ploughs on soil aggregate stability in purple soils were studied. Through plot runoff experiments, the characteristics of water-stable aggregates and organic carbon contents in top soils (0~20 cm) were studied. On the slope-land of South China, peasants preferred doing along-slope plough than across-slope plough because ease of along-slope plough. However, rill erosion easily occurred in along-slope plough conditions, especially in big rainfall events. This worsened the degree of soil erosion in the region. On the other hand, research on soil nutrient loss in across-slope plough conditions has shown that due to high risks and inputs, across-slope plough farming was unacceptable to most peasants. Studies have shown that soil aggregate organic carbon content accounts for 90% of surface soil nutrients and agricultural production activities occurred mostly in surface soils. This research studied the effects of across- and along-slope ploughs on water-stable aggregates and organic carbon in surface purple soils. The study offered some theoretical bases for effective utilization of soil management measures in slope-land conditions. Results showed that compared with along-slope plough, across-slope plough increased aggregate water stability index by 38.99%. Aggregate dispersion index in along-slope plough was 1.64 times that in across-slope plough. This suggested that erosion resistance in across-slope plough was stronger than in along-slope plough conditions. Compared with along-slope plough, the average content of  $>0.25$  mm water-stable aggregate in across-slope plough increased by 3.62%. Meanwhile, the average contents of water stable aggregate in  $>5$  mm,  $5\sim 3$  mm and  $3\sim 2$  mm sizes in across-slope plough were higher than in along-slope plough. This suggested that

\* 农业部公益性行业科研项目(201003014-6-3)、国家科技支撑计划项目(2011BAD31B03)、国家自然科学基金项目(40971166)、重庆市重大科技专项(CSTC2009AB1115)和西南大学生态学重点学科“211工程”三期建设项目资助

\*\* 通讯作者: 何丙辉(1966—),男,博士,教授,主要从事土壤侵蚀与小流域综合治理研究。E-mail: hebinghui@yahoo.com.cn  
张怡(1991—),女,学士,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: yizhang662@163.com

收稿日期: 2012-07-25 接受日期: 2012-09-20

across-slope plough significantly improved the  $>2$  mm water-stable aggregate content. Percent destruction of soil aggregates in across-slope plough decreased by 3.05%, compared with along-slope plough. Also mean weight diameter (MWD) in across-slope plough was 1.39 times that in along-slope plough conditions. Organic carbon contents in 0.5~2 mm aggregates of the two tillage types were the highest. Under the two tillage measures, percent organic carbon contents in  $>0.25$  mm aggregates decreased with decreasing diameter, reaching the lowest value in 0.5~0.25 mm aggregates. There was no significant difference between the two tillage measures in organic carbon contents in 2~1 mm aggregates, but significant differences existed in the other sizes aggregates. Across-slope plough significantly improved water-stable aggregate contents. It also had a better effect on soil retention capacity of organic carbon and better improved soil structure.

**Key words** Purple soil, Across-slope plough, Along-slope plough, Water-stable aggregate, Organic carbon, Erosion resistance  
(Received Jul. 25, 2012; accepted Sep. 20, 2012)

土壤团聚体是鉴定土壤肥力的重要指标, 其大小和含量是土壤重要的物理性质, 成为土壤质量高低、抗侵蚀能力强弱的指标<sup>[1]</sup>。土壤有机碳含量在很大程度上影响着土壤水稳性团粒结构的形成与稳定性, 同时也是土壤供肥、保肥以及耕性和缓冲性能的重要决定因素<sup>[2]</sup>。团聚体中水稳性团聚体使土壤多级孔隙状况得到维持, 在降雨和径流冲刷作用下, 能够不迅速崩解, 保证了土壤良好的理化性质。宋海燕等<sup>[3]</sup>研究表明, 土壤有机碳变化与农业土壤管理相关联, 长期以传统耕作方式进行的连续种植降低了碳含量, 对于暖温带的退化土壤, 利用覆盖作物残余物的种植模式和免耕模式, 可以提高土地生产力, 固定碳和提高土壤质量。

在侵蚀区的坡耕地上, 一些不适宜的耕作方法会导致严重侵蚀。合理的农业耕作措施可以提高土壤有机物质的输入量, 减少土壤有机质的矿化分解, 增加土壤有机碳含量<sup>[4]</sup>。宋明伟等<sup>[5]</sup>研究表明, 耕地土壤有机碳的变化除受当地气候条件和土壤性质影响外, 农业耕作措施也是影响土壤有机碳库变化的重要因素之一。土壤有机碳是土壤肥力高低的重要指标之一, 也是土壤中重要的胶结物质, 土壤有机碳与土壤微生物量碳、土壤团聚体、土壤水分之间极显著正相关。紫色土区坡耕地土壤面积高达 767 万  $\text{hm}^2$ , 占全国坡耕地面积的 32%, 且其土壤侵蚀强度高达  $5\ 897\ \text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  以上, 仅次于黄土, 比非坡耕地土壤侵蚀强度  $3\ 750\ \text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  高 57%。在我国南方以紫色土为主的水土流失坡耕地区, 顺坡耕作模式较简单, 是农民乐意接受的传统耕作方法, 但在坡耕地上顺坡耕作, 降雨时极易引起细沟侵蚀, 最后演变为沟状侵蚀, 加剧水土流失程度。横坡耕作投入高、风险大, 目前在生产上应用少。关于横坡耕作对土壤养分流失的影响有广泛研究<sup>[6-8]</sup>, 但就两种耕作模式进行土壤水稳性团聚体及有机碳的影响的研究目前相关报道很少。表土中近 90% 的土壤有机碳位于团聚体内<sup>[9]</sup>, 农业生产活动主要发生在土壤表层。本研究探讨了横坡和顺坡两种耕作

模式对紫色土坡耕地表层土壤水稳性团聚体及有机碳的影响, 为紫色土区坡耕地的有效改造及综合利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区自然概况

研究区位于西南大学后山试验基地( $106^{\circ}24'20''\text{E}$ ,  $29^{\circ}48'42''\text{N}$ ), 地貌为丘陵地貌, 坡向为正西方向。试验地位于山腰部位的  $15^{\circ}$  坡耕地上。研究区属亚热带季风气候, 四季分明, 水热同季, 年平均气温  $18.3\ ^{\circ}\text{C}$ , 年平均降雨量  $1\ 100\ \text{mm}$ 。干湿季节变化较为明显, 土壤质地为中壤, 地方土名为沙溪庙组紫色土。供试土壤的基本性质如下: pH 8.11, 硝态氮  $19.48\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 铵态氮  $24.13\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 有机质  $5.92\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全氮  $0.58\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全磷  $0.67\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 有效磷  $3.91\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 有效钾  $71.89\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 小区设置

试验设置两种紫色坡地典型的耕作模式: 在试验区共选取 6 个径流小区, 规格为  $32\ \text{m}^2(8\ \text{m}\times 4\ \text{m})$ , 分别进行横坡耕作和顺坡耕作, 每个处理设 3 次重复, 小区随机排列。为防止各小区间发生土壤颗粒和养分的交换, 小区之间用水泥墙体的田埂隔开。在径流小区与径流池相连一端, 沿小区宽度方向挖 1 个集流槽, 在集流槽中间位置设“V”型径流入水口, 每个小区的径流入水口高度保持一致。供试作物为玉米, 品种为“渝单 15”。按照当地农民习惯, 各小区顺坡种植设置行窝距为  $100\ \text{cm}\times 50\ \text{cm}$ , 横坡种植设置行窝距为  $100\ \text{cm}\times 25\ \text{cm}$ , 2011 年 4 月 23 日移栽, 8 月中旬收割。

### 1.3 土壤样品采集与分析方法

土壤采样时间为玉米收获后的 2011 年 11 月中旬, 采样时先将土壤表面杂草小心铲除, 露出土壤, 采样深度 0~20 cm, 每个小区依据梅花形采样方法采集土样, 采样时使土块不受挤压, 以保持原来结构, 剥去土块外面直接与土铲接触而变形的土壤, 然后混合均匀, 再用四分之一法, 取得试验所需土

样, 每个小区设置 3 个重复。野外采集的土壤, 在硬纸板上摊开成均匀的薄层, 并将土壤掰成直径 1 cm 左右的小土块, 并挑出一些残根和小石子, 放在通风的室内风晾干, 并在风干过程中, 尽量去掉较大的石砾、树叶、草根和其他一些侵入体。

土壤团聚体含量和有机碳含量测定: 将风干土壤依次过孔径为 10 mm、7 mm、5 mm、3 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm 和 0.25 mm 筛子一套, 采用萨维诺夫法<sup>[10]</sup>测定土壤大团聚体水稳性, 团聚体含量采用筛分法测定, 不同粒径团聚体有机碳含量采用重铬酸钾(外加热法)<sup>[11]</sup>测定。

水稳性特征指数测定: 选取直径为 7~10 mm 的土粒 50 颗均匀放在孔径为 5 mm 的金属网格上, 然后置于静水中观测, 以 1 min 为时间间隔, 分别记录分散土粒的数量, 连续观测 10 min, 最后利用公式计算水稳性指数  $K$  值。土壤分散性  $D$  值由水稳性指数  $K$  值推出, 团聚体破损率由各时段分散的土粒数之和与土粒总数推出。

团聚体稳定性指标的计算公式如下<sup>[12-13]</sup>:

$$\text{土壤水稳性 } K = \frac{\sum P_{i1}K_{i1} + P_j}{A} \quad (1)$$

$$\text{团聚体破损率} = \frac{\sum P_{i2}}{A} \quad (2)$$

$$\text{土壤分散性 } D = \frac{1}{K} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{结构体破坏率}(\%) = \\ > 0.25 \text{ mm 团聚体}(\text{干筛}-\text{湿筛}) \\ > 0.25 \text{ mm 团聚体}(\text{干筛}) \times 100 \end{aligned} \quad (4)$$

$$MWD = \sum_{i=1}^N X_i W_i \quad (5)$$

式中,  $MWD$  为平均重量直径,  $X_i$  为各粒级的平均直径,  $W_i$  表示留在筛子上的土壤质量占全部样品质量的比例;  $i_1$  为观测时间( $i=1, 2, 3, \dots, 10$ ),  $i_2$  为观测时间( $i=1, 2, 3, \dots, 30$ ),  $P_j$  表示 10 min 内没有分散的土

粒数,  $P_{i1}$  和  $P_{i2}$  表示第  $i$  分钟分散的土粒数,  $K_{i1}$  表示第  $i$  分钟的校正系数,  $A$  表示试验的土粒总数(50 粒)。

### 1.4 数据分析

相关数据的差异显著性检验和相关性采用 SPSS 19.0 软件, 采用单因素方差分析方法, 不同耕作模式及不同粒径分别是自变量, 团聚体稳定性及不同粒径有机碳含量是因变量, 制图采用 Excel 2010 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作模式下土壤团聚体水稳性特征

土壤团聚体的水稳性指数  $K$  值与土壤侵蚀呈线性相关,  $K$  值愈大, 则侵蚀愈弱; 土壤的分散性和水稳性则相反, 它反映了团聚体分散的程度<sup>[13]</sup>。土壤抗蚀性是指土壤抵抗径流对其分散和悬浮的能力, 它主要取决于土粒和水的亲和能力以及土粒间的胶结力, 与土壤质地和腐殖质含量的多少关系密切。由图 1a 可知, 横坡水稳性指数  $K$  值为 0.454, 比顺坡高 38.99%, 说明在降雨或径流作用下, 横坡土壤颗粒崩解的数量较顺坡少, 团聚体保持程度高, 横坡耕作抗蚀性显著大于顺坡耕作, 其原因为横坡起垄与坡面来水垂直相交, 减小了水的势能和冲击力, 导致侵入土壤颗粒水分能量减小, 其土壤颗粒不易崩解。顺坡耕作模式土壤分散性  $D$  值是横坡耕作模式土壤分散性  $D$  值的 1.64 倍, 表明顺坡耕作土壤分散性强, 土壤大颗粒易破碎成较小颗粒, 其容易被径流所携带, 易发生水土流失, 不能很好地保持土壤肥力。

由图 1b 可知, 在初始的 10 min 内, 两种耕作模式下的团聚体破损率均呈现增加趋势, 特别是在初始 2 min 内, 团聚体破损率增加幅度最大, 横坡耕作和顺坡耕作破损率分别达到 48% 和 70%, 而后逐渐趋于平缓。在短时间内, 团聚体剧烈吸水, 水分子间

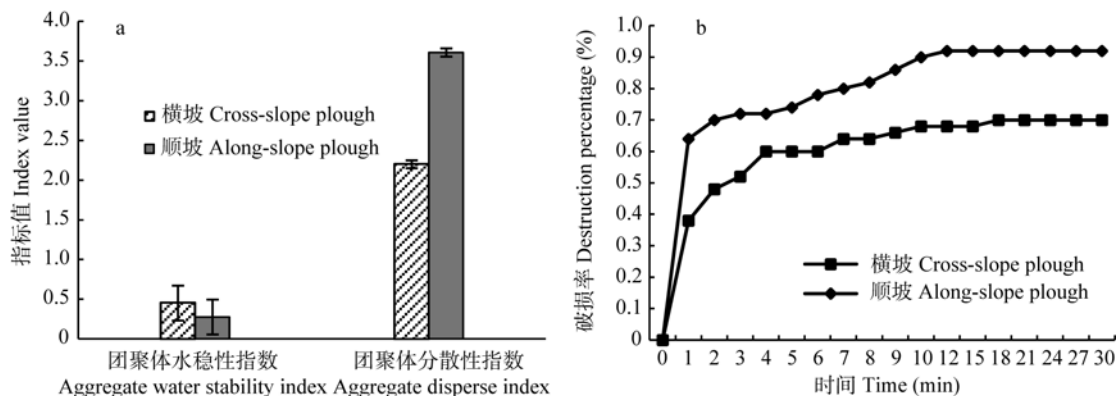


图 1 不同耕作模式下土壤团聚体水稳性指数( $K$  值)、分散性指数( $D$  值)(a)和土壤团聚体破损率(b)  
Fig. 1 Aggregate water stability index, aggregate disperse index (a) and destruction percentage of soil aggregates (b) under different plough measures

的作用力远大于土壤团聚体间的吸引力,大量团聚体破裂,随着时间的增加,团聚体颗粒吸水饱和,处于毛管饱和状态,与水分子之间达到平衡状态,故在短时间内,团聚体破损率急速增加,而后趋于平缓。就整个趋势而言,横坡耕作模式团聚体破损率始终低于顺坡耕作模式,说明在较长时间内横坡耕作模式抵抗雨水侵蚀的能力都大于顺坡耕作模式。

## 2.2 不同耕作模式下土壤水稳性团聚体颗粒分布

土壤水稳性团聚体的大小、数量和稳定性决定着土壤孔隙的大小和结构的稳定性,影响土壤的通透性和抗蚀性,是表征土壤抗蚀性的重要指标<sup>[14]</sup>。由表 1 可知,横坡耕作模式 $>0.25$  mm 水稳性团聚体平均含量为 77.38%,比顺坡耕作模式增加 3.62%,横坡耕作模式 $>0.25$  mm 团聚体平均含量比顺坡耕作模式增加 0.83%,横坡耕作模式水稳性团聚体平均含量增加幅度大于其团聚体平均含量增加幅度,横坡耕作模式人为起垄,对径流携带土壤颗粒起到层层拦截作用,且相对顺坡耕作模式,坡长变短,径流携带土壤颗粒运输距离变短,使得横坡耕作模式更有利于土壤颗粒的截留。在横坡耕作模式下, $>5$  mm、 $5\sim 3$  mm 和  $3\sim 2$  mm 水稳性团聚体含量均高于顺坡耕作,说明横坡耕作模式能显著增加 $>2$  mm 水稳性团聚体含量。横坡耕作模式  $2\sim 1$  mm、 $1\sim 0.5$  mm 和  $0.5\sim 0.25$  mm 水稳性团聚体含量均低于顺坡耕作模式,这在一定程度上说明横坡耕作模式较顺坡耕作模式土壤抗蚀能力强,因为横坡耕作模式下较多的 $>2$  mm 水稳性大团聚体,使土壤中大孔隙数量增多,土壤渗透性增强,从而土壤抗蚀性增强;同时,横坡耕作模式下 $>2$  mm 水稳性团聚体含量较顺坡耕作模式多,其土壤较顺坡耕作模式不易被水流冲刷,更利于水土保持。横坡耕作模式不同粒级水稳性团聚体之间均存在显著差异,顺坡耕作模式 $>5$  mm、 $5\sim 3$  mm 和  $3\sim 2$  mm 水稳性团聚体之间无显著差异, $1\sim 0.5$  mm 和 $<0.25$  mm 水稳性团聚体之间也无显著差异。横坡耕作模式下团聚体结构体破坏率为 21.10%,较顺坡耕作模式减少 3.05%,说明横坡耕作模式下土壤颗粒不易被破坏,从而维持团聚体内部的养分及胶结物质,能够较好地保持土壤肥力。由表 1 可知,顺坡耕作模式土壤以  $1\sim 0.5$  mm、 $<0.25$  mm、 $2\sim 1$  mm 和  $0.5\sim 0.25$  mm 水稳性团聚体为主,横坡耕作模式土壤以  $1\sim 0.5$  mm、 $<0.25$  mm、 $0.5\sim 0.25$  mm 和  $5\sim 3$  mm 水稳性团聚体为主。横坡耕作模式下团聚体平均重量直径(1.51 mm) $>$ 顺坡耕作模式(1.09 mm),是顺坡耕作模式平均重量直径的 1.39 倍,其土壤团聚体平均重量直径越大,土壤团聚体越稳定,越能抵抗降雨和径流的冲刷携带,因此,横坡耕作

模式土壤结构稳定性较强,较顺坡耕作模式不易发生水土流失。

## 2.3 不同耕作模式下土壤团聚体有机碳含量特征分析

耕作模式显著影响土壤不同粒级团聚体有机碳含量分布(图 2a),在横坡耕作模式下,以  $2\sim 1$  mm 土壤团聚体有机碳含量最高( $8.956\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),显著高于其他各粒级团聚体有机碳含量,其次为 $<0.25$  mm 土壤团聚体含量( $8.111\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。顺坡耕作模式以  $1\sim 0.5$  mm 土壤团聚体有机碳含量最高( $6.459\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),其次为  $5\sim 3$  mm 土壤团聚体含量( $5.929\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),顺坡模式下  $5\sim 3$  mm、 $2\sim 1$  mm、 $1\sim 0.5$  mm 和  $0.5\sim 0.25$  mm 团聚体有机碳含量之间无显著性差异。两种耕作模式下  $0.5\sim 2$  mm 团聚体有机碳含量均最高,说明在 2 种耕作模式下, $0.5\sim 2$  mm 土壤团聚体对土壤有机碳贡献率起主导作用。顺坡模式下  $5\sim 3$  mm 团聚体有机碳含量大于横坡模式,其余各粒级下的土壤团聚体有机碳含量均为横坡大于顺坡,原因可能是顺坡耕地所形成的犁沟,在降雨侵蚀下,由于犁沟的比降顺坡远大于横坡,径流对犁沟内土粒的运移力很大,而横坡耕作不仅可以减弱其冲刷运移的能力,还可以让较多水分渗入土壤,截留部分大团聚体,保留了大团聚体中的有机碳胶结物质。总的来说,横坡耕作模式土壤有机碳含量大于顺坡模式土壤有机碳含量,横坡较顺坡能够更好地固持土壤有机碳。由图 2a 可知,横坡和顺坡  $3\sim 2$  mm 和  $1\sim 0.5$  mm 粒级团聚体有机碳含量无显著差异,其他各粒级下的团聚体有机碳含量均存在显著性差异。横坡土壤各粒级团聚体有机碳含量基本均高于顺坡土壤各粒级团聚体有机碳含量,结合表 1 可知,横坡土壤大团聚体含量比顺坡土壤大团聚体含量多。其原因为土壤有机碳与土壤团聚体密切联系,大团聚体的形成是微团聚体通过有机碳的胶结形成的,大团聚体较小团聚体更稳定,抗蚀性更强,土壤中有机碳含量越多,则越有利于土壤中小团聚体胶结为大团聚体。

由图 2b 可知,横坡耕作模式 7 个粒级下的土壤团聚体有机碳含量呈“W”型分布,顺坡模式下 7 个粒级下的土壤团聚体有机碳含量呈“M”型分布。对横坡不同粒级团聚体有机碳和顺坡不同粒级团聚体有机碳进行相关性分析,相关系数为 $-0.268$ ,表明两者之间呈负相关,但未达到显著水平。即 2 种耕作模式下不同粒级团聚体有机碳含量变化基本呈相反趋势,即在某粒级区间下,横坡耕作模式的有机碳含量增加,顺坡耕作模式下的有机碳含量则减少。

由图 2b 可知,在横坡和顺坡 2 种耕作模式下,

表 1 不同耕作模式下土壤水稳性团聚体颗粒分布特征  
Table 1 Distribution of water stable aggregates with different sizes under different tillage measures

处理 Treatment	团聚体平均含量 Content of soil aggregates (%)							结构体 破坏率 Destruction rate of aggregates (%)	平均重量 直径 Mean weight diameter (mm)	
	>5 mm	5~3 mm	3~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	<0.25 mm			
顺坡 Along-slope plough	干筛 Dry sieving	49.36±0.04aA	21.88±0.10bA	12.70±0.04cA	7.23±0.38dA	5.21±0.13eA	0.86±0.01gA	2.76±0.10fA	24.15±0.05A	1.09±0.007A
	湿筛 Wet sieving	3.68±0.06dA	4.84±0.11dA	3.92±0.07dA	19.60±0.14bA	26.76±0.07aA	14.96±0.07cA	26.24±0.13aA		
横坡 Cross-slope plough	干筛 Dry sieving	54.35±0.51aB	22.16±0.07bA	10.92±1.32cA	6.02±0.10dB	3.95±0.11eB	0.67±0.01fB	1.93±0.01fB	21.10±0.10A	1.51±0.001B
	湿筛 Wet sieving	8.52±0.03fB	12.28±0.04dB	4.50±0.05gA	11.72±0.18eB	25.48±0.25aB	14.88±0.14cA	22.62±0.08bB		

不同小写字母表示团聚体粒级之间差异达显著水平( $P<0.05$ , Duncan), 不同大写字母表示不同耕作模式之间差异达显著水平( $P<0.05$ , Duncan)。Different small letters in the same row show significant difference among particle sizes, different capital letters show significant difference between different tillage measures ( $P<0.05$ , Duncan).

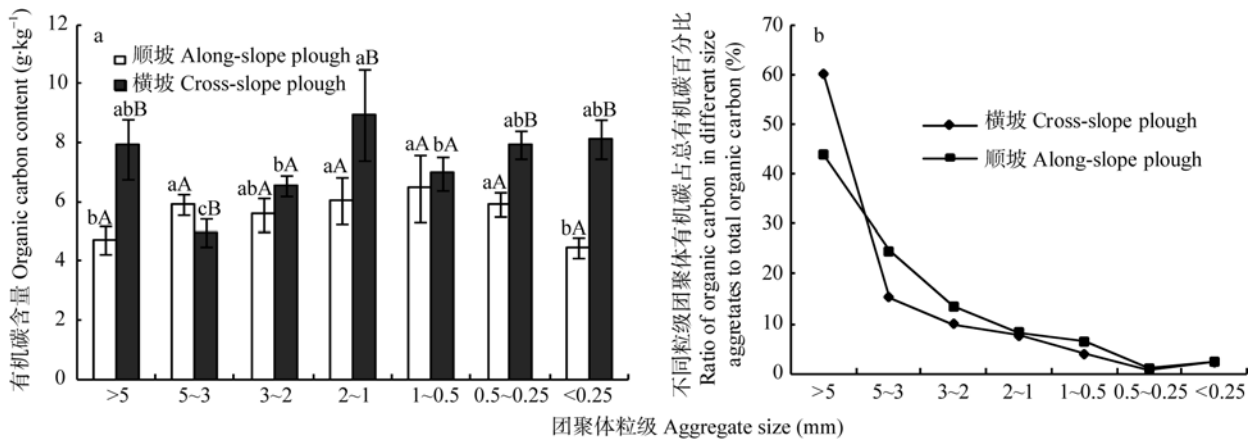


图 2 不同耕作模式下各粒级团聚体有机碳含量(a)和各粒级团聚体有机碳含量占总有机碳含量的百分比(b)

Fig. 2 Organic carbon contents in different size aggregates (a) and ratios of organic carbon in different size aggregates to total organic carbon (b) in different grades under different tillage measures

图 a 中不同小写字母表示不同粒级团聚体差异达显著水平, 不同大写字母表示两处理间差异达显著水平( $P<0.05$ , Duncan), Different small letters show significant difference among different sizes of aggregates, different capital letters show significant difference between different tillage measures ( $P<0.05$ , Duncan).

>0.25 mm 不同粒级团聚体有机碳含量百分数均随粒径的减小而减小, 均在 0.5~0.25 mm 粒级下达到最小, 而在 <0.25 mm 粒级下略有增加。结合表 1 可知, 尽管 0.25~2 mm 各粒级下土壤有机碳含量较高, 但团聚体以 >5 mm、5~3 mm 和 3~2 mm 粒径的团聚体为主, 所以 >2 mm 粒径团聚体有机碳含量百分数较大, 0.25~2 mm 粒径团聚体有机碳含量百分数较小。

横坡 >5 mm 粒级下团聚体有机碳占总有机碳百分比为 60.27%, 顺坡耕作模式下为 44.02%, 横坡较顺坡增加了 16.25%, 这与横坡 >5 mm 团聚体平均含量和 >5 mm 团聚体有机碳均高于顺坡有关。在 0.25~5 mm 的各个粒级中, 顺坡各粒级下团聚体有机碳占总有机碳百分比均高于横坡, 顺坡 5~3 mm、3~2 mm、2~1 mm、1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 粒级团聚体有机碳分别高出横坡 9.19%、3.45%、0.77%、2.53% 和 0.23%。

### 3 讨论与结论

不同耕作模式改变了土地微地貌, 从而对土壤团聚体分布及各粒级团聚体有机碳分布产生影响。本研究探讨了横坡和顺坡两种耕作模式对土壤团聚体稳定性及其团聚体中有机碳含量的影响。结果表明, 横坡耕作模式水稳性指数  $K$  值为 0.454, 顺坡耕作模式水稳性指数  $K$  值为 0.277, 两种模式水稳性  $K$  值差异较大, 横坡耕作模式较顺坡耕作模式团聚体破坏率减少 3.05%, 横坡较顺坡可以有效改善土壤结构, 抗蚀性增强, 减少水土流失。横坡耕作模式较顺坡耕作模式能明显增加 >2 mm 水稳性团聚体含量, 增加土壤大团聚体含量。周萍等<sup>[15-16]</sup>对黄泥土水稳性团聚体有机碳的影响研究表明, 施肥措施能明显增加 >2 mm 水稳性团聚体含量, 横坡耕作可改变地形条件, 施肥和横坡耕作都可提高土壤中 >2 mm 水

稳性团聚体含量。

横坡和顺坡 2 种耕作模式下 0.5~2 mm 团聚体有机碳含量均最高, 说明在 2 种耕作模式下, 0.5~2 mm 土壤团聚体对土壤有机碳贡献率起主导作用。高会议等<sup>[17]</sup>研究表明, 在不同施肥条件下, >5 mm 和 1~0.5 mm 团聚体对土壤有机碳的贡献率起主导作用, 究其原因可能为新鲜有机物的输入, 使得土壤中较小颗粒胶结为大团聚体, 使得>5 mm 大团聚体含量增加, 所以其>5 mm 团聚体有机碳含量也很高, 但是不同粒级团聚体有机碳含量会受不同地区的地形、气候、种植、耕作方式等影响。2 种耕作模式下>0.25 mm 不同粒级团聚体有机碳含量百分数均随粒径的减小而减小, 均在 0.5~0.25 mm 粒级下达到最小, 而在<0.25 mm 粒级下略有增加, 这与何淑勤等<sup>[18]</sup>的研究一致。坡耕地土壤的有机碳损失不仅加剧了坡耕地土壤的退化, 而且在一定程度上加剧了温室效应。传统的顺坡耕作是造成土壤有机碳损失的主要原因, 横坡耕作较顺坡耕作可以减少土壤有机碳损失, 更好地固持土壤肥力。在本研究中, 横坡 5~3 mm 和 3~2 mm 粒级团聚体平均含量高于顺坡模式下的相应粒级团聚体平均含量, 横坡 2~1 mm、1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 粒级团聚体平均含量低于顺坡相应粒级团聚体平均含量, 横坡 5~3 mm 粒级团聚体有机碳含量小于顺坡 5~3 mm 粒级团聚体有机碳含量, 横坡 3~2 mm、2~1 mm、1~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量均高于顺坡模式下的相应粒级团聚体中的有机碳含量, 原因可能为各粒级团聚体有机碳含量不仅受各粒级团聚体平均含量和各粒级团聚体有机碳含量影响, 土壤内部的物理化学成分变化比较复杂, 还受其他多种因素影响, 仍有待进一步的定点长期多次试验研究。

## 参考文献

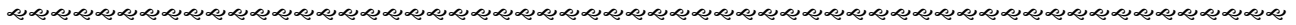
- [1] 张保华. 长江上游典型区域森林土壤结构体形成和稳定性机制分析[J]. 聊城大学学报: 自然科学版, 2007, 20(1): 12-17  
Zhang B H. Study on aggregate formation and stability mechanism of forests soil in typical region of upper reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Liaocheng University: Natural Science Edition, 2007, 20(1): 12-17
- [2] 邵月红, 潘剑君, 孙波. 不同森林植被下土壤有机碳的分解特征及碳库研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 24-28  
Shao Y H, Pan J J, Sun B. Study on characteristics of soil organic carbon decompositions and carbon pool under different vegetations[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 19(3): 24-28
- [3] 宋海燕, 牟信刚, 王薇. 土壤管理模式中地形特征对固碳的影响[J]. 水土保持应用技术, 2008(4): 9-10  
Song H Y, Mou X G, Wang W. Effect of terrain feature on carbon fixation in soil management model[J]. Technology of Soil and Water Conservation, 2008(4): 9-10
- [4] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, 等. 耕作方式对耕层黑土有机碳库储量的短期影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1287-1293  
Liang A Z, Zhang X P, Yang X M, et al. Short-term effects of tillage on soil organic carbon storage in the plow layer of black soil in northeast China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(6): 1287-1293
- [5] 宋明伟, 李爱宗, 蔡立群, 等. 耕作方式对土壤有机碳库的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 622-626  
Song M W, Li A Z, Cai L Q, et al. Effects of different tillage methods on soil organic carbon pool[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2): 622-626
- [6] 张兴昌. 耕作及轮作对土壤氮素径流流失的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 70-73  
Zhang X C. Soil nitrogen loss in runoff and sediment as affected by level trench and crop rotation[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(1): 70-73
- [7] Barbosa F T, Bertol I, Luciano R V, et al. Phosphorus losses in water and sediments in runoff of the water erosion in oat and vetch crops seed in contour and downhill[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 106(1): 22-28
- [8] Stevens C J, Quinton J N, Bailey A P, et al. The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss[J]. Soil and Tillage Research, 2009, 106(1): 145-151
- [9] Jastrow J D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28(4/5): 665-676
- [10] 中国科学院南京土壤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  
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science. The assay method of soil physical properties[M]. Beijing: Science Press, 1978
- [11] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 27  
Yang J H, Wang C L, Dai H L. The soil physical properties analysis and environment monitor[M]. Beijing: Chinese Earth Press, 2008: 27
- [12] 史晓梅, 史东梅, 文卓立. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗蚀性特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 63-66  
Shi X M, Shi D M, Weng Z L. Study on soil anti-erodibility of different land utilization types in purple soil hilly region[J]. Journal of Soil and Water conservation, 2007, 21(4): 63-66
- [13] 刘震. 水土保持监测技术[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004: 33  
Liu Z. The supervise technology of soil and water conservation[M]. Beijing: Chinese Earth Press, 2004: 33
- [14] 杨玉盛. 杉木林可持续经营的研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998  
Yang Y S. The research of sustainable management about fir plantation[M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 1998

[15] 周萍, 潘根兴. 长期不同施肥对黄泥土水稳性团聚体颗粒态有机碳的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(2): 256-261  
Zhou P, Pan G X. Effects of different long-term fertilization treatments on particulate organic carbon in water-stable aggregates of a paddy soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(2): 256-261

[16] 周萍, 张旭辉, 潘根兴. 长期不同施肥对太湖地区黄泥土总有机碳及颗粒态有机碳含量及深度分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 765-771  
Zhou P, Zhang X H, Pan G X. Effects of different long-term fertilization on content of total and particulate or organic carbon and their depth distribution of a paddy soil: An example of huangnitu from the Tai Lake region, China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(6): 765-771

[17] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 等. 不同施肥处理对黑垆土各粒级团聚体中有机碳含量分布的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(5): 932-936  
Gao H Y, Guo S L, Liu W Z, et al. Effects of fertilization on organic carbon distribution in various fractions of aggregates in caliche soils[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(5): 932-936

[18] 何淑勤, 郑子成, 杨玉梅. 茶园土壤团聚体分布特征及其对有机碳含量影响的研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 187-190, 199  
He S Q, Zheng Z C, Yang Y M. Distribution characteristics of soil aggregates and organic carbon in tea plantation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(5): 187-190, 199



**以下各位专家在 2012 年度为本刊审阅稿件，在此表示衷心的感谢！（按姓氏拼音排序）**

- |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 安调过 | 白志辉 | 别 墅 | 蔡焕杰 | 蔡强国 | 曹承富 | 曹宏鑫  | 曹建生 | 曹林奎 | 曹卫东 |
| 柴 强 | 柴守玺 | 常志州 | 陈利军 | 陈洪松 | 陈怀亮 | 陈立松  | 陈利顶 | 陈世宝 | 陈素英 |
| 陈效民 | 陈 欣 | 陈志彪 | 陈志杰 | 成杰民 | 程建峰 | 程先富  | 程叶青 | 池宝亮 | 慈 恩 |
| 崔金虎 | 崔克辉 | 戴传超 | 董全民 | 董文旭 | 董孝斌 | 董元华  | 杜太生 | 杜相革 | 樊胜岳 |
| 方一平 | 房世波 | 高 阳 | 高照全 | 高志奎 | 耿玉清 | 郭华春  | 郭建平 | 郭丽琢 | 郭 沫 |
| 郭熙盛 | 郭相平 | 郭旭东 | 郭治兴 | 韩广轩 | 韩淑敏 | 何园球  | 何丙辉 | 贺 锋 | 贺学礼 |
| 洪竖平 | 侯新伟 | 呼世斌 | 胡 飞 | 胡克林 | 胡荣桂 | 胡正义  | 黄文坤 | 黄占斌 | 贾树龙 |
| 江长胜 | 江幸福 | 姜 军 | 姜远茂 | 焦念元 | 金 剑 | 金千瑜  | 居 辉 | 巨晓棠 | 柯文山 |
| 孔垂华 | 寇太记 | 李保平 | 李春强 | 李发东 | 李 锋 | 李红军  | 李辉信 | 李久生 | 李钧敏 |
| 李俊明 | 李凯荣 | 李杰卿 | 李 林 | 李 强 | 李强坤 | 李全起  | 李世清 | 李小刚 | 李新平 |
| 李雁鸣 | 李章海 | 李兆华 | 李兆君 | 梁成华 | 梁康迳 | 梁银丽  | 廖 红 | 廖 敏 | 廖晓兰 |
| 廖宗文 | 林 电 | 林 琪 | 林瑞余 | 刘春生 | 刘国振 | 刘 晃  | 刘建国 | 刘建玲 | 刘金铜 |
| 刘黎明 | 刘立峰 | 刘明池 | 刘荣花 | 刘荣章 | 刘润进 | 刘少玉  | 刘世梁 | 刘守龙 | 刘小京 |
| 刘晓风 | 隆小华 | 娄永根 | 卢新民 | 卢 瑛 | 鲁春霞 | 陆宏芳  | 罗其友 | 罗专溪 | 马风云 |
| 马 均 | 马瑞君 | 马永清 | 毛德华 | 毛任钊 | 门明新 | 闵庆文  | 缪卫国 | 宁堂原 | 牛俊玲 |
| 牛叔文 | 牛永春 | 彭致功 | 彭正萍 | 漆智平 | 齐学斌 | 齐永青  | 钱晓晴 | 秦安臣 | 任建强 |
| 邱建军 | 邱立友 | 任志远 | 阮维斌 | 芮昌辉 | 商书波 | 上官周平 | 沈彦俊 | 沈应柏 | 沈永宝 |
| 师光禄 | 史春余 | 史印山 | 宋进喜 | 宋亚娜 | 苏以荣 | 苏振成  | 隋 鹏 | 孙国荣 | 孙宏勇 |
| 孙剑秋 | 孙景生 | 谭周进 | 汤 利 | 滕 应 | 田霄鸿 | 涂书新  | 汪诗平 | 王德建 | 王改玲 |
| 王 刚 | 王宏富 | 王继军 | 王建林 | 王 靖 | 王立春 | 王启山  | 王起超 | 王强盛 | 王让会 |
| 王荣富 | 王闰平 | 王松良 | 王效科 | 王学东 | 王一鸣 | 王宜伦  | 王玉英 | 王月福 | 魏道智 |
| 温 蓓 | 吴发启 | 吴景贵 | 吴强盛 | 吴文斌 | 武兰芳 | 武书庚  | 武 侠 | 武占会 | 肖家欣 |
| 肖润林 | 谢立勇 | 辛承松 | 邢前国 | 熊 伟 | 徐福利 | 徐 慧  | 徐 进 | 徐俊增 | 徐明岗 |
| 徐润林 | 徐卫红 | 徐卫华 | 徐小牛 | 徐 勇 | 许 曈 | 许明祥  | 许自成 | 薛林贵 | 薛晓萍 |
| 闫弘文 | 阎秀兰 | 杨安中 | 杨代斌 | 杨殿林 | 杨改河 | 杨贵羽  | 杨虹琦 | 杨建州 | 杨莉琳 |
| 杨利民 | 杨晓云 | 杨永辉 | 杨玉盛 | 杨允菲 | 杨正礼 | 杨正勇  | 杨志新 | 姚凤梅 | 姚槐应 |
| 姚丽贤 | 叶优良 | 衣悦涛 | 尹昌斌 | 尹 东 | 于法稳 | 于贵瑞  | 于建军 | 于静洁 | 俞元春 |
| 宇万太 | 原保忠 | 袁国富 | 曾德慧 | 曾江海 | 曾昭海 | 占车生  | 张安录 | 张 彪 | 张恩和 |
| 张凤路 | 张光生 | 张海林 | 张宏武 | 张晋京 | 张 晶 | 张科利  | 张克强 | 张丽梅 | 张文菊 |
| 张文胜 | 张文忠 | 张希明 | 张锡洲 | 张喜英 | 张 兴 | 张 颖  | 张友静 | 张友军 | 张玉钧 |
| 张玉铭 | 张玉秀 | 张玉烛 | 张增强 | 张正斌 | 张正峰 | 张智猛  | 张重义 | 章家恩 | 章明奎 |
| 赵哈林 | 赵惠燕 | 赵立宁 | 赵世伟 | 赵廷宁 | 赵同科 | 赵同谦  | 赵希勇 | 赵先贵 | 赵雪雁 |
| 赵言文 | 赵艳霞 | 郑长英 | 郑 华 | 郑 军 | 郑新奇 | 郑有飞  | 钟丽锦 | 钟旭华 | 周东美 |
| 周建斌 | 周福才 | 周冀衡 | 周建斌 | 周 培 | 周丕生 | 周 青  | 朱安宁 | 朱 波 | 朱德峰 |
| 朱国胜 | 朱建兰 | 朱新开 | 祝树德 | 庄恒扬 | 宗良纲 | 邹国元  | 邹建文 | 邹应斌 | 祖艳群 |