

# 土壤团聚体和水分动态在 3 种植被覆盖下的关系

徐程, 谷峰, 王瑶, 何阳波, 陈家宙

(华中农业大学, 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

**摘要:** 为了探究不同植被覆盖下的土壤水分动态变化和团聚体稳定性的关系, 选取桂花地、油菜地、杉树地 3 种植被下的土壤为研究对象, 就团聚体和土壤水分之间的年变化关系、短期变化关系(在短期降雨前后)进行了研究。结果表明: 在 1 年时间内, 3 种植被下的土壤中, 杉树地土壤团聚体稳定性显著高于桂花地和油菜地, 并以 0.25~2 mm 的水稳团聚体为主。土壤团聚体稳定性的年变化趋势和土壤水分呈显著负相关关系, 在土壤水分含量降低的时候团聚体稳定性升高。在桂花地、油菜地中, 土壤水分和 <0.25 mm 粒级团聚体呈显著正相关关系, 和 >0.25 mm 粒级团聚体呈负相关趋势, 表明水分会促进大团聚体破碎分解成微团聚体, 从而改变团聚体稳定性。同时, 在短期时间内, 土壤团聚体平均重量直径(MWD)随着降雨的开始呈现下降趋势, 随着降雨的停止, 团聚体 MWD 会逐渐回升。这种变化与降雨以及降雨引起的土壤水分的迅速变化有关。综合长期和短期时间变化, 种植杉树林可以有效调控土壤水分变化幅度, 提高团聚体稳定性, 对预防水土流失具有重要作用。

**关键词:** 团聚体稳定性; 土壤水分; 降雨; 植被

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0068-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.01.012

## Study on the Relationships Between Soil Aggregate and Water Dynamics Under Three Vegetation Cover

XU Cheng, GU Feng, WANG Yao, HE Yangbo, CHEN Jiazhou

(Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of the Yangtze River), Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

**Abstract:** In order to explore the relationships between soil water dynamics and aggregate stability under different vegetation cover, the soil under the three vegetation types of osmanthus field, rapeseed field and fir field was selected as the research objects. The relationships between soil aggregate and soil water content in the long-term, short-term (before and after short-term rainfall) were investigated. The results showed that in the relatively long-term (one year), the aggregate stability under the fir trees field was significantly higher than those of the osmanthus and rapeseed fields. The water stable aggregate was dominated by 0.25 ~ 2 mm. The one-year aggregate variation was significantly negatively correlated with soil water content, which meant the aggregate stability increased with decreasing soil water content. For example, in osmanthus field and rapeseed field, soil water were positively correlated with the portion of aggregate (< 0.25 mm), but negatively correlated with the portion of aggregate (> 0.25 mm). This indicated that the soil water content could promote the large aggregates into microaggregates, and therefore, the stability of aggregate changed. In the short term, the soil aggregate mean weight diameter (MWD) changed in response to the soil water content. Specifically, soil aggregate MWD showed a downward trend with the beginning of rainfall, then reached a minimum value, after that, the aggregate MWD rose gradually when the rainfall stopped. The pattern of aggregate MWD was related with the rapid changes in soil water caused by rainfall and rainfall mechanical effect. Therefore, in combination with long-term and short-term changes of aggregate, fir trees in red soils can effectively regulate the dynamics of soil water variation, and improve the stability of aggregates, then play important role in preventing soil water erosion.

**Keywords:** aggregate stability; soil water; precipitation; vegetation

红壤是我国南方热带、亚热带地区重要的土壤资源之一,分布广泛。南方红壤地区山地丘陵交错、地形起伏大,存在明显的干湿季节之分,雨季降雨集中、强度较大,极易造成水土流失。已有研究<sup>[1-2]</sup>表明地表径流及侵蚀过程与土壤团聚体之间存在密切关系。土壤团聚体破坏后分裂成许多微团聚体小颗粒并在土表迁移,降低了土壤水分的入渗能力,从而造成水土流失<sup>[3]</sup>。

一般认为 $>0.25$  mm 水稳性团聚体的数量可以判别土壤结构的好坏,表征土壤抗侵蚀能力的强弱<sup>[4-5]</sup>。团聚体稳定性差的土壤,容易被破坏,尤其是微团聚体所占比例较高,对侵蚀抵御的能力低,容易造成水土流失。为了预防水土流失,多数农民采用在坡地中上部种植林地、坡下种植农作物的措施,这种措施一定程度上改善了土壤结构、孔隙分布和水分的变化。刘晓利等<sup>[6]</sup>研究发现,在林地土壤中 $>0.25$  mm 水稳定性团聚体含量显著大于农田土壤,种植树林显著提高了土壤团聚体稳定性。

有研究<sup>[7]</sup>认为,土壤水分和随着降雨强度变化的水分变化历史影响了团聚体稳定性变化过程,其中消散、膨胀、机械破坏作用是团聚体破坏主要机制。Dimnoyiannis<sup>[8]</sup>研究发现,由于土壤水分的动态变化导致团聚体在地中海地区不同季节不稳定系数 $\beta$ 不同,在典型的地中海气候下,团聚体稳定性在冬季或初春处于低值,在夏季处于较高值。此外,Algayer等<sup>[9]</sup>推测土壤水分即时变化也是影响土壤团聚体结构稳定性的重要因素,尤其是降雨前后 2~5 天内,土壤水分变化剧烈,团聚体稳定性呈明显动态变化,稳定性级别跨越幅度大,可以从稳定到不稳定状态。

因而,假设红壤土壤团聚体稳定性随水分动态存在明显季节性变化和短期降雨变化,但是目前缺乏在自然条件下研究红壤水分动态变化和团聚体稳定性的关系。本文主要通过监测土壤水分的动态年变化以及水分在降雨前后的短期变化,分析团聚体稳定性对水分的响

应,以及二者之间在不同植被下的土壤的相互关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于湖北省咸宁市贺胜桥镇江浦村(华中农业大学红壤实验站附近,地理坐标 30.01° N, 114.39° E)。所在地区属于亚热带季风气候,年平均气温 16.8 °C,年均降水量 1 572 mm,其中在 4—7 月降水量占全年降水量的 70%。试验期间的降水量由小型气象站(Watchdog 2900ET)测得,其分布趋势见图 1。地带性植被为常绿阔叶林和落叶阔叶林,但是经历多年开发利用之后,当地目前的大部分坡地植被属于人工植被,主要包括经济林、果树、茶树、农作物等。本试验主要选用 3 种植被:11 年的针叶树林(杉树)、5 年的桂花树和油菜地(农作物)。针叶林地面积最大,是人工种植的杉木,其植被覆盖度较大,位于植被中心地带的树木下半部分常年不受阳光直接照射,大多枯萎,林下表面枯枝落叶层较厚。桂花地较为特殊,改为桂花树之前多种植水稻。油菜地,油菜在当地的生长期为 9 月中旬至翌年 5 月中旬,其余时间是休耕状态。试验地点的土壤主要是第四纪红色黏土母质发育的红壤,土壤剖面层次明显,表层 0—20 cm 的具体土壤性质见表 1。

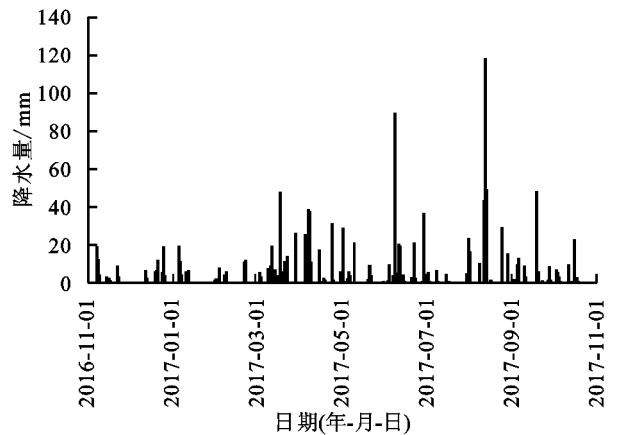


图 1 降水量变化

表 1 表层 0—20 cm 土壤理化性质

植被覆盖 地类型	砂粒/ %	粉粒/ %	黏粒/ %	容重/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	pH	饱和含水量/ ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )	田间持水量/ ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )	萎焉点/ ( $cm^3 \cdot cm^{-3}$ )	株高/ m	胸径/ cm
桂花地(5 a)	1.13	72.09	26.78	1.55	15.10	4.90	0.42	0.36	0.21	2.70	2.87
油菜地	3.39	67.83	28.78	1.51	14.65	4.99	0.43	0.36	0.20	0.35	
杉树地(11 a)	3.79	55.27	40.94	1.40	15.70	5.14	0.47	0.40	0.25	12.00	10.19

注:土壤粒级的划分方法采用美国 USDA 级别制。

### 1.2 土壤体积含水量测定

在每种植被类型下的地块中心地带安装有土壤水分记录仪器(H21-002 Soil moisture logger system),此仪器分为 2 部分:(1)土壤水分智能传感器(4 S-SMC-M005 soil moisture smart sensors);(2)数据采集器(H21-002)。其中水分智能传感器

探头埋设在 0—20 cm 深度的土壤中,用来测量土壤体积含水量,每 30 min 测定 1 次。

### 1.3 土壤团聚体样品采集和测定

本试验开始于 2016 年 11 月,团聚体取样时,以水分探头为中心的半径 1 m 范围内等距离标记 12 个位置点,作为团聚体取样的参照位置。团聚体取样分为 2 种

时间尺度。第 1 种尺度为每个月从标记位置采集土壤团聚体,本试验采集 12 个月。第 2 种尺度为短期降雨(几天内)取样,根据雨型的大小选取 4 场降雨(暴雨、大雨、中雨、小雨),在雨前、雨中和雨后取样。取样时,用取样器小心采集 0—20 cm 土壤样品,将土壤样品放到塑料盒中,防止运输过程中挤压、破坏了团聚体样品。这部分样品将用于测量团聚体稳定性指标。

将采集的土壤样品自然风干 1 周,大土块沿着天然裂隙破碎。风干的土样经过套筛(0.1,0.25,0.5,1,2,3,5 mm)筛分,称取每种粒级颗粒重量,然后计算每种粒级团聚体百分比。此外风干的团聚体样品筛分后保留 2~5 mm 团聚体颗粒,用于后面团聚体水稳定性分析。

团聚体水稳定性测定方法参考 LB 快速湿润法<sup>[10]</sup>,具体过程有些改变。①称取在 40 ℃烘干至恒重的 10 g 土样(2~5 mm)于 100 mL 小烧杯中,沿杯壁缓缓加入 25 mL 去离子水,待湿润 10 min 后,用洗耳球将多余的水分吸出。②将湿润后的烧杯中的土样洗到 0.053 mm 筛子中(用酒精洗),在团聚体分析仪上筛分 4 min,振动幅度为上下 4 cm,振动频率为 20 次/min,然后将筛子上的土样冲洗回到小烧杯中,待一批都做完后,放入 40 ℃烘箱中烘 24 h。③最后将烘干的土样过套筛(0.1,0.25,0.5,1,2 mm),称每种粒级的重量,计算湿筛后每种粒级的团聚体百分比、团聚体平均重量直径(MWD)和团聚体破坏率(PAD)。

$$MWD = \sum_{i=1}^{n+1} \frac{r_{i-1} + r_i}{2} \times m_i$$

式中:MWD 为团聚体平均重量直径(mm); $r_i$  为第  $i$  个筛子的直径(mm), $r_0 = r_1$ ;  $m_i$  为第  $i$  个筛子上团聚体的质量; $n$  为筛子个数。

$$PAD = \frac{(W_a - W_b)}{W_a} \times 100\%$$

式中:PAD 为团聚体破坏率(%); $W_a$  为干筛过后大于某一粒径所占的比例(%); $W_b$  为湿筛过后大于某一粒径所占的比例(%); $a = b$ 。

#### 1.4 统计分析

利用 Excel 2016 软件进行数据处理,在 SPSS 19 软件中进行数据统计分析,方差分析检验方法为一般线性模型单变量,用最小显著差异法 LSD,在  $P < 0.05$  水平进行比较,通过 Origin 2017 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 团聚体指标在 3 种植被覆盖下土壤之间的比较

不同植被下土壤经过干筛后,团聚体均以 0.25~2 mm 级别为主,此级别在不同地块下的趋势为油菜地>杉树地>桂花地(图 2)。在>2 mm 团聚体级别中,其趋势为杉树地>桂花地>油菜地。总体体现出,3 种植被下土壤都以大团聚体(>0.25 mm)为

主,占 90%左右。经过湿筛之后,桂花地和油菜地大团聚体破碎,此时水稳性团聚体以<0.25 mm 的微团聚体为主,桂花地和油菜地约占 72%和 70%;而杉树地<0.25 mm 的微团聚体百分含量约占 45%,为最小,其占主体的是 0.25~2 mm 的团聚体。在 0.25~2 mm 水稳性团聚体中,杉树地、油菜地、桂花地的含量存在显著差异,其中杉树地此部分团聚体的含量显著高于另外 2 块地( $P < 0.05$ )。以 2017 年 4 月的土壤为例,杉树地、油菜地、桂花地 0.25~2 mm 水稳团聚体的百分含量分别为 54%,33%,26%。多数研究认为>0.25 mm 水稳性团聚体是表征土壤结构好坏、抗侵蚀能力强弱的重要指标,在本研究的 3 种植被土壤中,杉树地土壤不论是干筛还是水稳性团聚体,>0.25 mm 部分的团聚体均显著高于其他 2 种土地,说明杉树地土壤团聚体稳定性最好。

经过湿筛之后,团聚体各粒级变化剧烈,风干团聚体破碎分解成更小粒级水稳性团聚体,可以用团聚体破坏率(PAD)来分析团聚体的破坏程度,PAD 值越大,说明团聚体越容易被破坏,稳定性越差。由图 2 可知, $PAD_{(>2 \text{ mm})}$  数值很高,验证了上述土壤大团聚体的破坏。桂花地、油菜地和杉树地的  $PAD_{(>2 \text{ mm})}$  含量分别是 97%~98%,91%~95%和 93%~97%,桂花地含量最高,但彼此之间差异不明显。在  $PAD_{(0.25 \sim 2 \text{ mm})}$  中,杉树地显著低于其他 2 地块,其趋势大概为桂花地>油菜地>杉树地。在 2017 年 2,4 月的  $PAD_{(0.25 \sim 2 \text{ mm})}$  中,桂花地  $PAD_{(0.25 \sim 2 \text{ mm})}$  含量 44%~70%为最高,其次是油菜地含量 32%~63%,杉树地含量 2%~13%为最小,说明水分对杉树地团聚体破坏最小,与上述杉树地土壤大团聚体含量最高趋势保持一致。总之,在 2 种粒级 PAD 中桂花地基本最高,说明桂花地土壤团聚体容易被破坏,稳定性很差,甚至稳定性弱于油菜农田土壤,与预期不同。可能与田地改为种桂花树之前种植水稻有关。

团聚体平均重量直径(MWD)也是反映土壤团聚体稳定性的重要指标。由表 2 可知,在 1 年的团聚体 MWD 变化中,3 种植被下土壤之间存在显著差异。杉树地 MWD 最大,范围是 0.31~0.50 mm,显著高于其他 2 块地( $P < 0.05$ )。油菜地 MWD 居中,范围是 0.26~0.33 mm;桂花地 MWD 最低,范围是 0.21~0.30 mm。MWD 越高,则团聚体稳定性越好,说明杉树地土壤稳定性最高,并且 3 种土壤团聚体 MWD 趋势正好能对应上述团聚体粒径比例和 PAD 分析的结果。在 1 年中,3 种土壤团聚体稳定性在不同时间呈现浮动变化(表 2 和图 3),主要可能与土壤水分呈现动态变化对团聚体稳定性产生了重要影响有关。

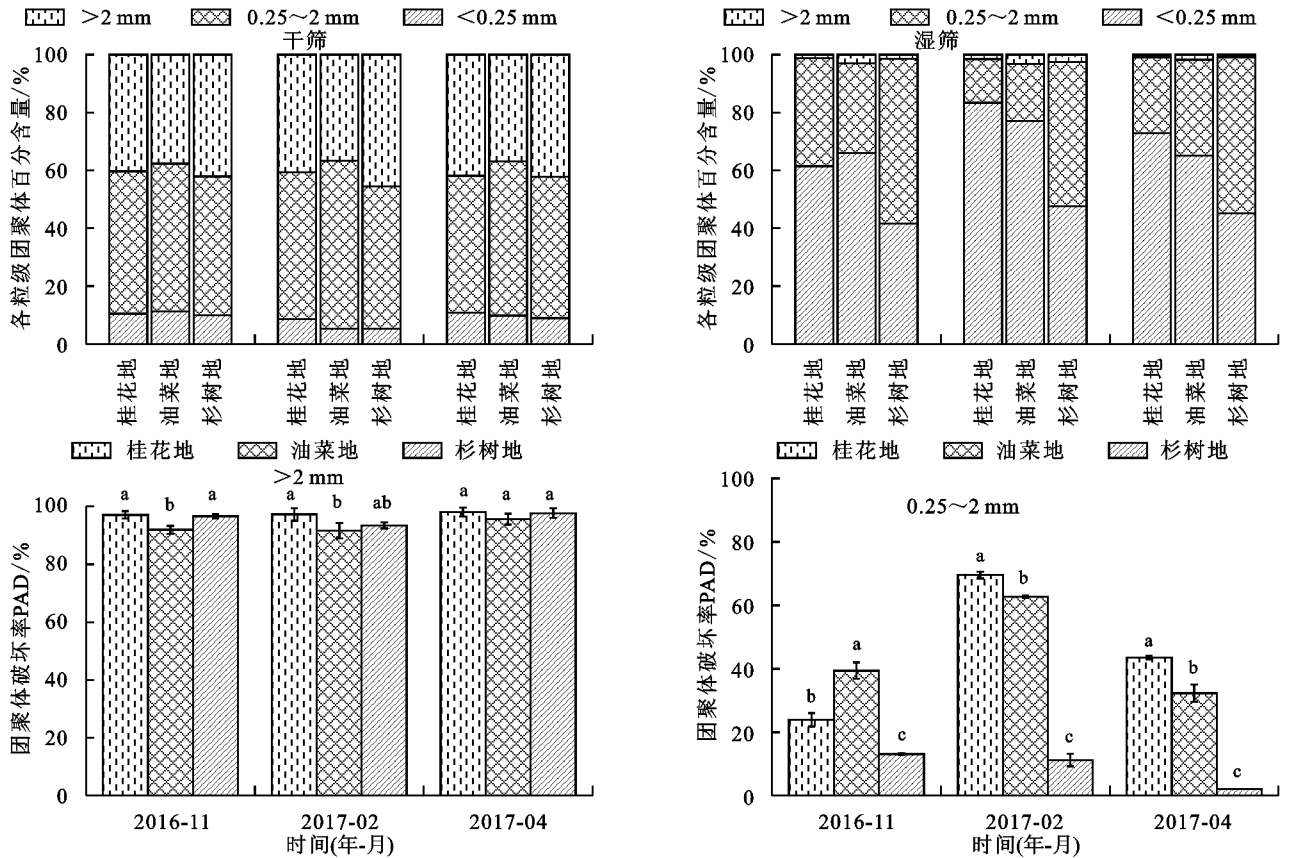


图 2 土壤团聚体粒级分布和团聚体破坏率 PAD 在 3 种植被下的土壤分布

表 2 3 种植被下土壤团聚体 MWD

时间(年-月-日)	土地类型	MWD/mm	时间(年-月-日)	土地类型	MWD/mm
2016-11-05	杉树地	0.43±0.01a	2017-05-13	杉树地	0.37±0.01a
	油菜地	0.31±0.04b		油菜地	0.28±0.03b
	桂花地	0.29±0.03b		桂花地	0.24±0.01c
2016-12-02	杉树地	0.36±0.03a	2017-06-05	杉树地	0.41±0.0a
	油菜地	0.33±0.03b		油菜地	0.29±0.01b
	桂花地	0.30±0.04c		桂花地	0.24±0.02c
2017-01-02	杉树地	0.36±0.02a	2017-07-16	杉树地	0.32±0.01a
	油菜地	0.28±0.01b		油菜地	0.28±0.02b
	桂花地	0.27±0.04b		桂花地	0.26±0.01b
2017-02-18	杉树地	0.43±0.02a	2017-08-13	杉树地	0.32±0.02a
	油菜地	0.27±0.02b		油菜地	0.26±0.02b
	桂花地	0.21±0.04c		桂花地	0.22±0.01c
2017-03-16	杉树地	0.39±0.01a	2017-09-17	杉树地	0.50±0.02a
	油菜地	0.27±0.02b		油菜地	0.33±0.01b
	桂花地	0.30±0.06b		桂花地	0.31±0.01c
2017-04-13	杉树地	0.31±0.06a	2017-10-16	杉树地	0.37±0.03a
	油菜地	0.30±0.02b		油菜地	0.27±0.01b
	桂花地	0.24±0.01c		桂花地	0.24±0.01c

注:不同小写字母表示相同月份下,不同地块团聚体 MWD 之间存在显著差异( $P<0.05$ )。

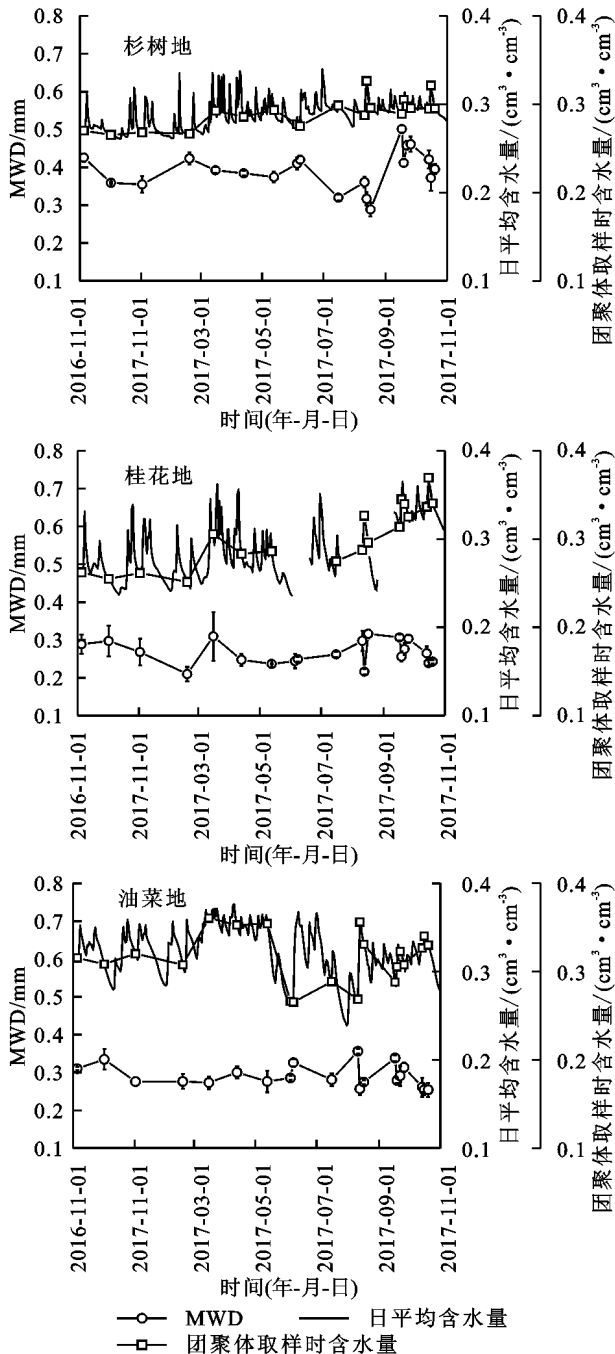
### 2.2 团聚体和土壤水分之间的年变化关系

由图 3 可知,团聚体 MWD 随时间的变化与土壤水分的动态变化有关。在 3 种植被下,土壤团聚体 MWD 随水分的变化趋势大体相同,都是呈现出土壤含水量升高时,团聚体 MWD 相对降低;反之,土壤含水量降低时,团聚体 MWD 相对升高。MWD 和土壤水分之间,呈现出显著负相关性(表 3)。证明了土壤水分的变化是影响土壤团聚体稳定性的重要因素。

土壤含水量分析表明,桂花地、油菜地、杉树地土壤含水量范围分别是 0.23~0.37, 0.23~0.38, 0.26~0.34  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 。桂花地土壤水分( $\text{CV}=11.3\%$ )和油菜地土壤水分( $\text{CV}=8.6\%$ )变化幅度大,而杉树地土壤水分变化幅度最小( $\text{CV}=5.7\%$ ),相对稳定。水分波动幅度较大的桂花地和油菜地导致两地块团聚体 MWD 偏低,反之,波动幅度较小的杉树地可能与团聚体 MWD 偏高有关。

以油菜地为例,2016 年 11 月至 2017 年 2 月,土壤

水分呈现先下降后上升的趋势,团聚体 MWD 由 0.31 mm 上升到 0.33 mm,然后又下降到 0.28 mm。2017 年 3—5 月,土壤水分整体偏高,团聚体 MWD 相对偏低。2017 年 6—10 月,能明显发现团聚体 MWD 和团聚体取样时含水量呈现相反的趋势。其他 2 种地块趋势大体相似,不再赘述。此外,通过表 3 相关性分析看出,3 种植被下土壤团聚体 MWD 与水分呈显著负相关关系,正好解释了图 3 中 MWD 和水分的变化趋势关系。土壤水分含量对团聚体 MWD 的影响可能与图 2 中土壤水分影响团聚体粒径有关,土壤水分与桂花地和油菜地  $<0.25$  mm 团聚体呈显著正相关关系,与  $>0.25$  mm 团聚体呈负相关趋势。



注:桂花地土壤水分数据有部分缺失。

图 3 土壤团聚体 MWD 与土壤水分年变化关系

表 3 土壤水分与团聚体 MWD 和粒径含量的相关性

指标	MWD	粒径含量		
		$>2$ mm	0.25~2 mm	$<0.25$ mm
桂花地水分	-0.54*	-0.33	-0.57*	0.58*
油菜地水分	-0.59**	-0.57**	-0.38	0.44*
杉树地水分	-0.50*	-0.22	-0.40	0.42

注: \* 表示显著相关( $P<0.05$ ); \*\* 表示极显著相关( $P<0.01$ )。

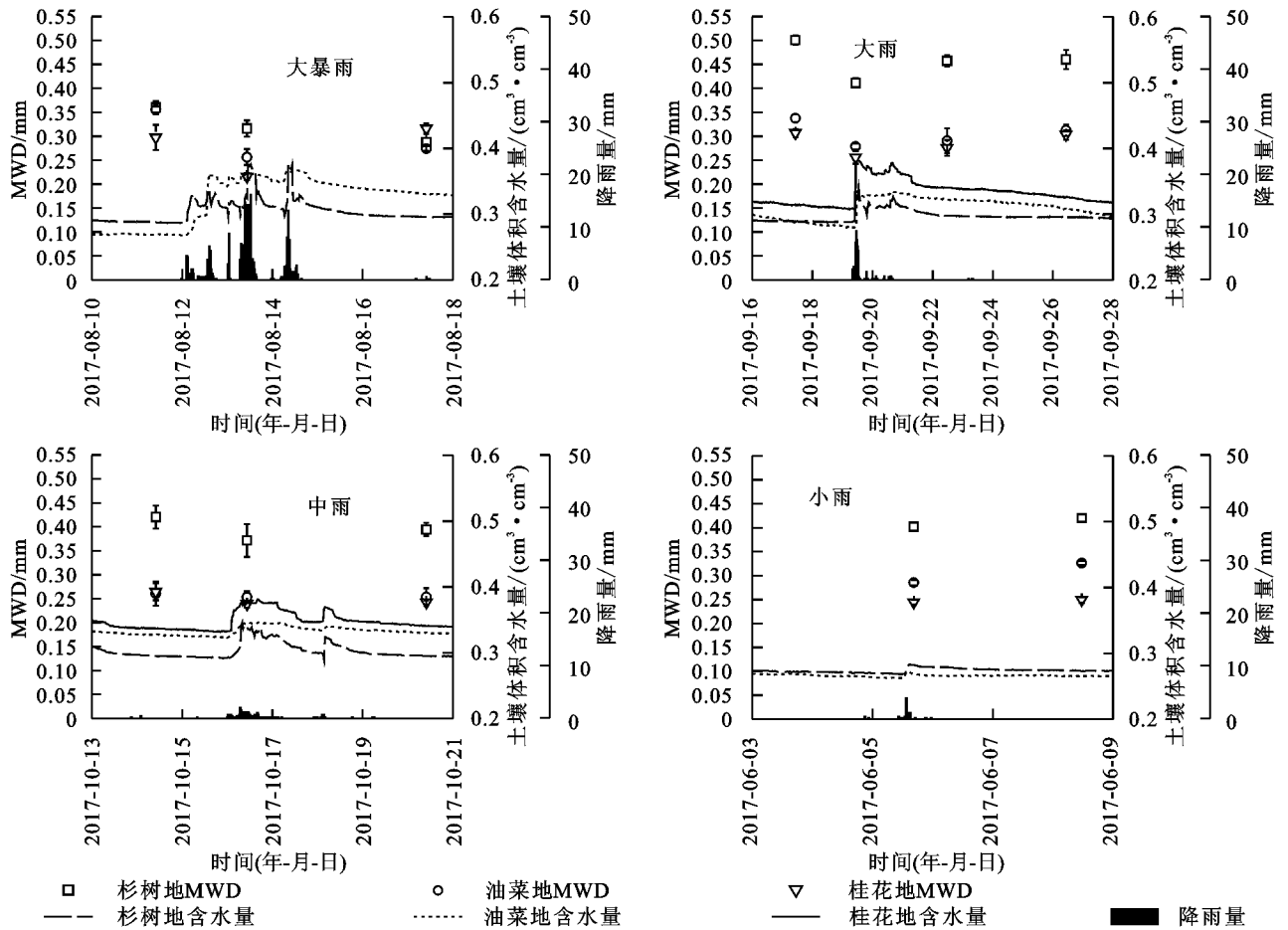
### 2.3 团聚体和土壤水分在短期降雨下的关系

由图 4 可知,团聚体对土壤水分的响应以及随着时间的变化,在短期内也受降雨类型影响,尤其是雨前、雨中和雨后。以 2017 年 6—10 月典型降雨为例,团聚体 MWD 随着降雨开始呈现下降趋势,直到降低到最低值,之后随着降雨的停止,团聚体 MWD 逐渐回升(图 4)。

团聚体 MWD 随降雨的迅速变化与土壤水分随降雨的迅速变化、水分对团聚体的破坏有关。4 种降雨类型中,大雨对团聚体影响最明显。以 2017 年 9 月 19 日大雨为例(24 h 降雨量为 48 mm),从 9 月 16—18 日雨前土壤水分变化不大;19 日降雨后,土壤水分的上升幅度显著,桂花地土壤中的水分变化幅度最大( $0.31\sim 0.38\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ),油菜地水分由  $0.28\text{ cm}^3/\text{cm}^3$  上升到  $0.34\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ,杉树地水分由  $0.29\text{ cm}^3/\text{cm}^3$  上升到  $0.34\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 。相应地,杉树地、油菜地和桂花地土壤团聚体 MWD 分别由 0.50 mm 降低到 0.41 mm,0.34 mm 降低到 0.28 mm,0.31 mm 降低到 0.26 mm。之后雨后持续到 9 月 26 日,土壤水分下降,团聚体 MWD 出现上升恢复的趋势。2017 年 8 月 13 日为大暴雨,期间降雨持续从 12—14 日(约 3 天),8 月 13 日 24 h 降雨量为 118 mm。13 日雨中土壤水分变化幅度更剧烈,油菜地土壤中水分变化幅度( $0.27\sim 0.37\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ )比杉树地土壤水分变化幅度( $0.29\sim 0.37\text{ cm}^3/\text{cm}^3$ )更大,这导致在油菜地土壤中 MWD 降低幅度比杉树地更明显。杉树地可能由于枝叶截留降水、落叶覆盖物滞留水分等原因,团聚体 MWD 在雨后没有呈现前面大雨情况下的回升趋势,但是差异不显著。2017 年 10 月 16 日为中雨(24 h 降雨量为 22.4 mm),土壤水分小幅度增加,团聚体 MWD 变化幅度较小,总体趋势大体一致。2017 年 6 月 5 日为小雨(24 h 降雨量为 9.3 mm),虽然雨前 MWD 和桂花地水分数据缺失,但是可以看出雨后 MWD 上升的趋势。小雨对土壤水分影响较小,土壤水分波动不大,团聚体变化幅度也较小。总之,降雨引起的水分变化对 3 种植被下土壤团聚体 MWD 的影响趋势大体相似,团聚体 MWD 会随着降雨的开始呈现下降趋势,之后随着降雨的停止,团聚体 MWD 会逐渐回升。而且,无论在何种降雨类型下,3

种植被下土壤团聚体的稳定性基本呈现为杉树地 >

油菜地 > 桂花地。



注:桂花地大暴雨和小雨情况下土壤水分数据有部分缺失

图 4 不同降雨类型及土壤水分变化对团聚体 MWD 的影响

### 3 讨论

在 3 种植被土壤中,可以明显看出杉树地团聚体稳定性最好,显著高于其他 2 种地块。这是由于杉树地常年处于无耕作状态,树龄时间长,杉树根系在 40 cm 以内的根表面积密度和根体积密度都是最大的<sup>[11]</sup>,有助于连接土壤颗粒,使得土壤团聚体稳定性强。桂花地植被根系在 20 cm 深度下的丰富程度不如杉树,而且由于该地块在未种植桂花树之前是水稻田,粉粒含量较高,团聚体稳定性较差。油菜地作为农田,土壤根系以细根为主,地表覆盖物少,土壤有机质含量相对较低(表 1),团聚体稳定性较差,但是其细根比例高于桂花树田地土壤,有助于解释油菜地 MWD 高于桂花地 MWD。本研究结果中不同植被下土壤的团聚体趋势和刘晓利等<sup>[6]</sup>研究结果一致,在几种土地利用方式团聚体稳定性比较中,呈现出林地 > 水田 > 菜园 > 果园 > 旱地的趋势。同样周虎等<sup>[12]</sup>研究认为,对土壤的扰动越多,土壤水稳性团聚体含量的下降越显著,而退耕 5~10 年间的土壤团聚体含量有显著增加,有助于解释本研究中油菜农田由于扰动等原因造成的水稳性团聚体较低的现象。

团聚体在不同植被土壤下的变化也会受植被对土

壤水分调控的影响。土壤前期含水量、水分变化历史等因素会影响团聚体稳定性,造成团聚体在一年中呈现出明显的动态变化趋势。在降水多的季节,土壤水分变化幅度大,水分含量高,团聚体一般都不稳定;反之,在干旱少雨的季节,土壤水分含量低,团聚体稳定性相对较高。这和 Dimnogiannis<sup>[8]</sup>发现的团聚体在地中海不同季节稳定性动态变化结论一致。团聚体对水分的年变化响应可以从水分和 <0.25 mm 团聚体的正相关性明显看出,水分使大团聚体破碎成 <0.25 mm 微团聚体,改变团聚体结构,使得水分和团聚体 MWD 呈显著负相关关系(表 3),这和 Algayer 等<sup>[9]</sup>推测的土壤水分即时变化是影响土壤团聚体稳定性的结论一致。马仁明等<sup>[13]</sup>研究也表明,前期低含水率条件下的团聚体破碎机制主要是快速湿润引起的消散作用,随着前期含水率的升高,团聚体破碎机制以机械作用和土壤矿物湿润后非均匀膨胀作用为主,消散作用是引起团聚体破碎的最有效的机制。所以,在长期变化和短期变化中,土壤水分的动态变化会引起团聚体粒级的变化,从而影响团聚体的稳定性。

在短期降雨条件下,降雨引起的土壤水分变化是团聚体破坏的重要因素之一。雨水通过雨滴冲击、径流搬

运(机械作用)和消散作用等过程影响团聚体稳定性<sup>[14-17]</sup>。Algayer 等<sup>[9]</sup>研究发现,降雨前后 2~5 天内,土壤水分变化剧烈,团聚体稳定性呈明显动态变化,稳定性级别跨越幅度大,可以从稳定到不稳定状态。本研究中,降雨发生初期土壤受到的破坏主要以雨滴打击为主;降雨过程中由于杉树枝叶茂盛,降雨会被枝叶截留,同时地表覆盖物(落叶)会阻挡雨水的直接冲刷,使得杉树地土壤水分总体变化幅度小,对土壤消散作用较小。桂花地和油菜地由于地面裸露较多,降雨初期雨水直接冲刷地表,之后土壤水分瞬时升高,消散等作用使土壤结构改变分解成大量微团聚体。一般认为,土壤水分快速进入土壤,造成土壤孔隙间密闭空气被压缩,所产生的应力引起团聚体破碎分解,土壤水分变化幅度越大,团聚体破坏越明显。此外水分迅速变化也可能造成黏土颗粒的表面电位瞬时变化,土壤颗粒之间斥力变大,团聚体相对不稳定<sup>[18]</sup>。降雨停止后,随着水分的下渗和蒸发,地表水分含量减少,颗粒之间斥力减少,团聚体稳定性逐渐恢复。

## 4 结论

(1)在 3 种植被下的土壤中,团聚体在干筛和水稳性方面呈现显著差异。干筛后,3 种植被下土壤均以 0.25~2 mm 团聚体为主。湿筛后,杉树地团聚体 MWD 显著高于桂花地和油菜地,并以 0.25~2 mm 的水稳性团聚体为主;油菜地和桂花地以 <0.25 mm 微团聚体为主,且桂花地团聚体破坏率最高。

(2)在 1 年的时间内,土壤团聚体 MWD 的年变化趋势和土壤水分呈显著负相关关系。在土壤水分含量降低时,团聚体稳定性升高。在桂花地、油菜地中,土壤水分和 <0.25 mm 粒级团聚体呈显著正相关关系,和 >0.25 mm 粒级团聚体呈负相关趋势,表明土壤水分会促进大团聚体破碎分解成微团聚体,从而改变团聚体稳定性。

(3)在短期时间内,土壤团聚体 MWD 对水分的响应在短期降雨下呈现的趋势为团聚体 MWD 会随着降雨的开始呈现下降趋势,随着降雨的停止,团聚体 MWD 会逐渐回升。这种变化与降雨以及降雨引起的土壤水分的迅速变化有关。

所以,种植杉树林可以有效调控土壤水分变化幅度,提高团聚体稳定性,对预防水土流失具有重要作用。但是由于土壤原因,种植 5 年的桂花树对土壤的积极作用还没有表现出来。

### 参考文献:

[1] 左继超,胡建民,王凌云,等. 侵蚀程度对红壤团聚体分布及养分含量的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 112-117.

[2] 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, 2018, 38(5): 1590-1599.

[3] Larionov G A, Bushueva O G, Dobrovolskiy S N G, et al. Destruction of soil aggregates in slope flows [J]. Eurasian Soil Science, 2007, 40(10): 1128-1134.

[4] 杨如萍,郭贤仕,吕军峰,等. 不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 252-256.

[5] 刘雷,安韶山,黄华伟. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6670-6680.

[6] 刘晓利,何园球,李成亮,等. 不同利用方式和肥力红壤中水稳性团聚体分布及物理性质特征[J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 459-465.

[7] 徐爽. 化学物质对土壤团聚体稳定性及其他物理性状的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学, 2015.

[8] Dimoyiannis D. Seasonal soil aggregate stability variation in relation to rainfall and temperature under Mediterranean conditions [J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2010, 34(6): 860-866.

[9] Algayer B, Bissonnais Y L, Darboux F. Short-term dynamics of soil aggregate stability in the field [J]. Soil Science Society of America Journal, 2014, 78(4): 1168-1176.

[10] Bissonnais Y L. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology [J]. European Journal of Soil Science, 2016, 67(1): 11-21.

[11] 宋婧. 红壤坡地不同植被类型的干湿季土壤水分动态规律研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2017.

[12] 周虎,吕贻忠,杨志臣,等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.

[13] 马仁明,蔡崇法,李朝霞,等. 前期土壤含水率对红壤团聚体稳定性及溅蚀的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 95-103.

[14] Ramos M C, Nacci S, Pla I. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces [J]. Catena, 2003, 53: 365-376.

[15] Roth C H, Eggert T. Mechanisms of aggregate breakdown involved in surface sealing, runoff generation and sediment concentration on loess soils [J]. Soil & Tillage Research, 1994, 32(2/3): 253-268.

[16] Zheng F L. Runoff, soil erosion, and erodibility of conservation reserve program land under crop and hay production [J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(4): 1332-1341.

[17] 史志华,闫峰陵,李朝霞,等. 红壤表土团聚体破碎方式对坡面产流过程的影响[J]. 自然科学进展, 2007, 17(2): 217-224.

[18] Marchuk A, Rengasamy P, McNeill A. Influence of organic matter, clay mineralogy, and pH on the effects of CROSS on soil structure is related to the zeta potential of the dispersed clay [J]. Soil Research, 2013, 51(1): 34-40.