

# 土层深度与树龄对粤北红壤丘陵区果园土壤崩解特性的影响

刘湘玥, 陈世发, 吕静, 叶梓涛, 何锦繁

(韶关学院 旅游与地理学院, 广东 韶关 512005)

**摘要:**土壤崩解特性是衡量土壤侵蚀的重要指标,是防治土壤侵蚀的重要依据。以粤北红壤丘陵区1年生与9年生桃园土壤为研究对象,采用静水崩解法测定土壤崩解特性。结果表明:(1)各样点土壤累积崩解指数与崩解速率差异较大,但均随崩解时间呈现出先快速增加后缓慢降低的趋势;(2)各样点的土壤崩解速率大体表现为随土层深度的增加而降低;(3)9年生桃园累积土壤崩解指数与崩解速率均低于1年生桃园;(4)土壤崩解速率随容重和含水量的增大而减小。研究为提高红壤抗崩解性提供参考,为红壤丘陵区果园土壤侵蚀防治提供一定的依据。

**关键词:**土壤侵蚀;土壤容重;崩解速率;崩解指数;土层深度

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)01-0118-06

## Effects of Soil Depth and Tree Age on Soil Disintegration Characteristics of Orchards in Hilly Area of Red Soil in Northern Guangdong Province

LIU Xiangyue, CHEN Shifa, LÜ Jing, YE Zitao, HE Jinfa

(School of Tourism and Geography, Shaoguan University, Shaoguan, Guangdong 512005, China)

**Abstract:** Soil disintegration is an important index to measure soil erosion and an important basis for soil erosion control. In this paper, observing 1-year and 9-year red soil of peach orchards in the hilly area in northern Guangdong Province were taken as the examples, the characteristics of soil disintegration was determined by the means of hydrostatic disintegration. The results show that: (1) the cumulative disintegration index and disintegration rate of soil at various points are significantly different, but both present the trend of rapid rising first and then slow declining with the disintegration process; (2) the soil disintegration rate at various points generally decreases with the increase of soil depth; (3) the cumulative soil disintegration index and disintegration rate of 9-year peach garden are lower than that those of 1-year peach garden; (4) soil disintegration rate decreases with the increase of bulk density and water content. This study can provide reference for the improvement of the disintegration resistance of red soil and preventive treatment of oil erosion in hilly area of red soil orchards.

**Keywords:** soil erosion; bulk density; disintegration rate; disintegration index; soil depth

土壤崩解又叫土壤湿化,是指一定体积的土体在静水中发生吸水分散、崩裂成碎块和碎粒的现象<sup>[1]</sup>,土壤崩解是研究土壤侵蚀的重要部分,土壤崩解产生的碎屑和小颗粒容易堵塞土壤非毛管孔隙,使水分难以入渗,发生超渗产流,导致径流量增加,促进土壤侵蚀发生<sup>[2]</sup>。土壤崩解性与土壤侵蚀过程相关联,是土壤侵蚀产生的

必备条件,为此,土壤崩解性被用来作为衡量土壤抗蚀程度的指标,得到国内外学者的广泛使用。

在影响土壤崩解特性方面,Kasmerchak等<sup>[3]</sup>学者通过对比森林与草原土壤的崩解特性,认为土壤崩解速率与土壤性质有关;Xia等<sup>[4]</sup>学者认为土壤崩解速率随土壤含水量增加而增加,Jensena等<sup>[5]</sup>学者研究表明经过

收稿日期:2020-03-07

修回日期:2020-03-19

资助项目:韶关市科技计划项目“韶关红壤低山丘陵区果园开发的水土流失效应及调控研究”(2018sn055);广东省大学生创新训练项目“韶关市低山丘陵区典型果园水土流失现状及防治研究”(S201910576067)

第一作者:刘湘玥(1999—),女,湖南宁乡人,在读本科,从事自然地理研究。E-mail:421735032@qq.com

通信作者:陈世发(1984—),男,湖南平江人,博士,副教授,从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:sgxyysf@163.com

6 a 的土壤侵蚀治理,土壤有机碳(SOC)含量增加,土壤崩解速率变慢,也有学者通过研究三峡库区紫色土崩解过程,发现土壤崩解与含水量相关,且崩解过程与剥洋葱过程类似<sup>[6]</sup>,Zhang 等<sup>[7]</sup>研究我国西南地区不同水热条件的紫色土崩解特性,并认为崩解随湿度增加而增加。蒋定生等<sup>[8]</sup>研究发现黄土高原地区农业耕作、植(生)物生长和土壤成土过程影响土壤崩解速率。另外,相关学者也研究我国三峡库区、紫色土区、黄土高原地区与干热河谷区的土壤崩解特性,这些研究认为土壤干密度<sup>[9]</sup>、含水率<sup>[10]</sup>、容重<sup>[1]</sup>、土壤类型<sup>[11]</sup>、地形坡度<sup>[9]</sup>、气候干湿交替<sup>[12]</sup>与植物根系<sup>[13-14]</sup>均影响土壤崩解特性与土壤崩解速率。土壤崩解既能反映当地土壤的状态,又体现了土壤抗侵蚀能力,对研究土壤侵蚀具有重要意义。虽然国内外对土壤崩解特性及其影响因素进行了大量研究,但针对粤北红壤丘陵区的相关研究相对较少,特别是针对果园土壤崩解特性及影响因素的研究更加偏少。

果园是粤北红壤丘陵区的主要土地利用方式,近30 a 来粤北红壤丘陵区果园面积迅速增长,是变化最快的土地利用类型。然而果园开发过程中,存在重种植,轻养护,且存在全坡面开垦现象,造成仅存的果树,果树下灌草层缺失,“远看青山在,近看水土流”的果园“林下流”的问题,而果园水土流失造成土壤肥力降低,果园产量低下等问题。为此,研究粤北红壤丘陵区果园土壤崩解特性对果园水土流失防治具有重要的理论意义与实践意义。本文以粤北红壤丘陵区典型桃园为研究对象,对同一坡面1 a 生果园与9 a 生果园不同坡位、不同深度的土壤崩解特性进行研究,并分析土壤含水量与土壤容重对果园土壤崩解特性的影响,以期对南方红壤丘陵区水土流失治理提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 取土样地概述

以粤北红壤丘陵区的韶关市浈江区新韶镇某桃园为研究对象,样地均为桃树(*Prunus persica*),其地理坐标为113°42′05″E,24°48′38″N,是韶关境内代表性果园。土壤采样于2019年11月23—24日进行,采样期间天气晴朗,且近2个月无有效降水,土壤含水量极低,各土壤采样点的平均含水量为5.88%。样地朝向为东(81°),海拔为215.1 m,坡度17°,年降水量1 601 mm,年平均气温22℃。该样地北侧为9 a 生桃园,样地南侧为1 a 生桃园。1 a 生桃园地表裸露,盖度约10%,而9 a 生桃园地表存在少数的狗牙根(*Cynodon dactylon*),盖度约70%。

### 1.2 试验土样

在选择具体采样地时,样地统一于果树东南侧,距离树干1.1 m,地表均裸露。测定前从开挖好的土壤剖面的不同层面上用崩解取样器取原状土,在1 a 生和9 a 生的桃园的上坡位、中坡位和下坡位分别取样三次,其取样深度分别为0—20 cm,20—40 cm 和40—60 cm,在每一层取100 g 土样放入铝盒中,带回实验室用烘干法测定各层土壤含水量;用环刀法取土,测定各层土壤容重及孔隙度等土壤物理性质指标;用铝盒在各层取原状土,每层取样三次,测定土壤崩解性能,对每层试验的结果求平均。研究样地的土壤pH介于4.5~5.1,表层土壤pH值最低,酸性最强,9 a 生土壤pH值较高,1 a 生的较低;土壤颗粒以砂粒和粉粒为主,两者比重达到85%以上。

### 1.3 崩解装置与试验方法

土壤崩解在实验室内进行测定,利用已知的标记土样,分批进行测定,自制试验装置主要由天平(精确度0.01 g)、崩解玻璃槽、崩解金属网、秒表、金属细线、支架等部分组成(图1)。金属网网孔大小为10 mm×10 mm,崩解金属网为圆形直径10 cm,崩解金属网与天平之间由细线连接,金属网不接触玻璃槽,水位线是指完全淹没土样的水量高度。

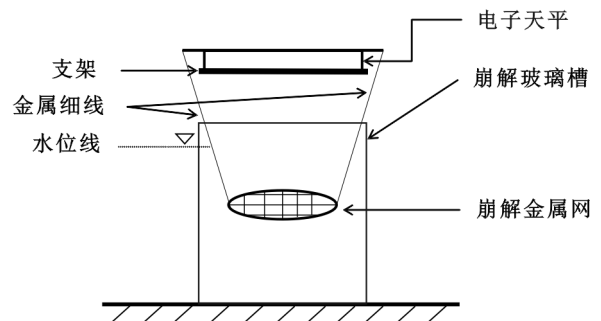


图1 土壤崩解装置示意图

试验前将盛适量水的崩解玻璃槽放好,悬挂、调整好崩解金属网的位置,空崩解金属网完全浸入水中后将天平归零;试验时将已称重的土样均匀放置于崩解金属网上,悬挂好崩解金属网后,将其缓慢浸入水中,细线自然绷直(崩解金属网完全浸没于水中),每10 s 计1次天平读数,2 min 后每30 s 计一次,7 min 后每分钟记录一次,共记录31次,崩解时长全部为960 s,崩解后水变浑浊后及时换水。试验原理为:当悬挂的空崩解金属网完全浸没在水中时,以崩解金属网为受力分析对象,细线向上的拉力、崩解金属网自身的重力、崩解金属网受到的浮力三力平衡,细线的拉力等于崩解金属网自身的重力与其所受浮力之差,而浮力则传递到崩解玻璃槽的底部。为了更客观反映土壤崩解状况,采用累积土壤崩解指数指标作为土壤崩解性能指标,其计算公式为:

$$S=\frac{S_0-S_a}{M_0-M_b}\times 100\%$$

式中： $S$  为崩解时段内的土壤累积崩解指数(%)； $S_0$  为崩解开始时的读数(g)； $S_a$  为  $a$  时间时天平的读数(g)； $M_b$  为崩解结束时天平的读数(g)。

土壤崩解速率表示单位时间内的崩解量，其计算公式为：

$$V=\frac{M_1-M_2}{t_2-t_1}\times 100\%$$

式中： $V$  为土壤崩解速率(g/min)； $M_1$  为第  $t_1$  时刻的土壤崩解读数(g)； $M_2$  为  $t_2$  时刻的土壤崩解读数(g)； $t_2$  和  $t_1$  为崩解的时间(s)。崩解速率即单位时间内土壤在静水中的崩解量，以土壤崩解率定量表示土壤崩解性能，崩解速率愈低，土壤愈不容易崩解。

2 结果与分析

2.1 土壤崩解的变化特征

采用土壤累积崩解指数与土壤崩解速率代表土

壤崩解特征。从图 2 和图 3 可以看出：随着崩解时间增加，土壤累积崩解指数与崩解速率总体呈现先快后慢的趋势，前 120 s 土壤崩解速率较大，特别是前 30 s 的崩解速率最大，土壤累积崩解量也迅速增加。在 60 s 后土壤崩解速率迅速降低，在 600 s 之后，土壤崩解速率几乎为 0，土壤崩解量极小，累积崩解量基本不变。

从累积崩解指数来看，在土壤崩解时段内，所有样点中最大的土壤累积崩解指数为 1 a 生桃园下坡位表层(0—20 cm)，其累积崩解指数达 51.45%；所有样地的土壤累积崩解指数最小为上坡位 20—40 cm 深度的土壤，其崩解指数为 18.05%，仅为为最大值的 35.08%。从崩解速率来看，所有样点崩解速率最大值为 1 a 生桃园下坡位的表层(0—20 cm)，与最大累积崩解指数相同，其崩解速率为 14.40 g/min，而在 9 a 生桃园上坡位 0—20 cm 深度的土壤最大崩解速率仅为 2.78 g/min，仅为为前者的 19.31%。所有样点的最小崩解速率均为 0。

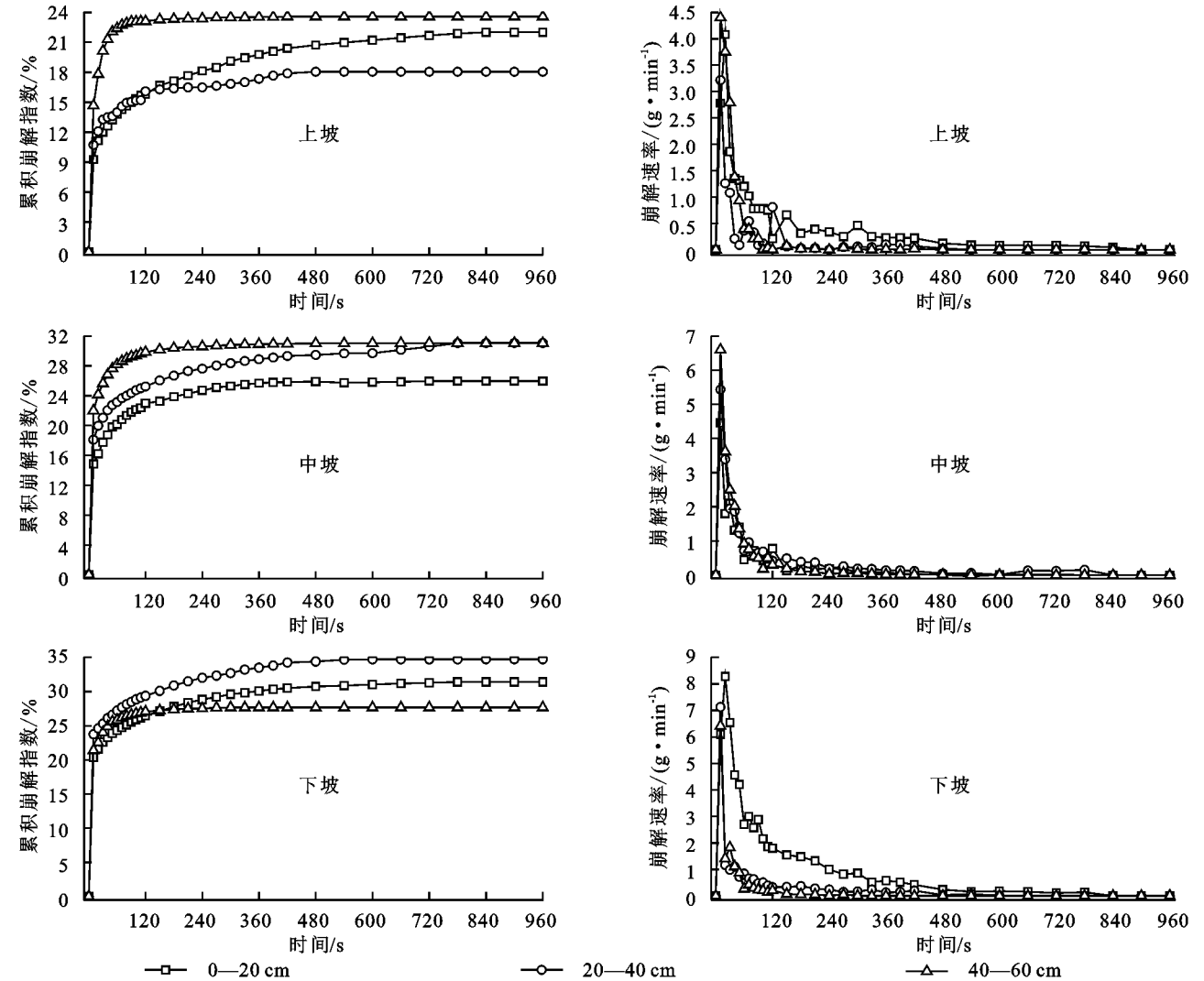


图 2 9 年生桃园不同坡位土壤累积崩解量和崩解速率随时间变化过程

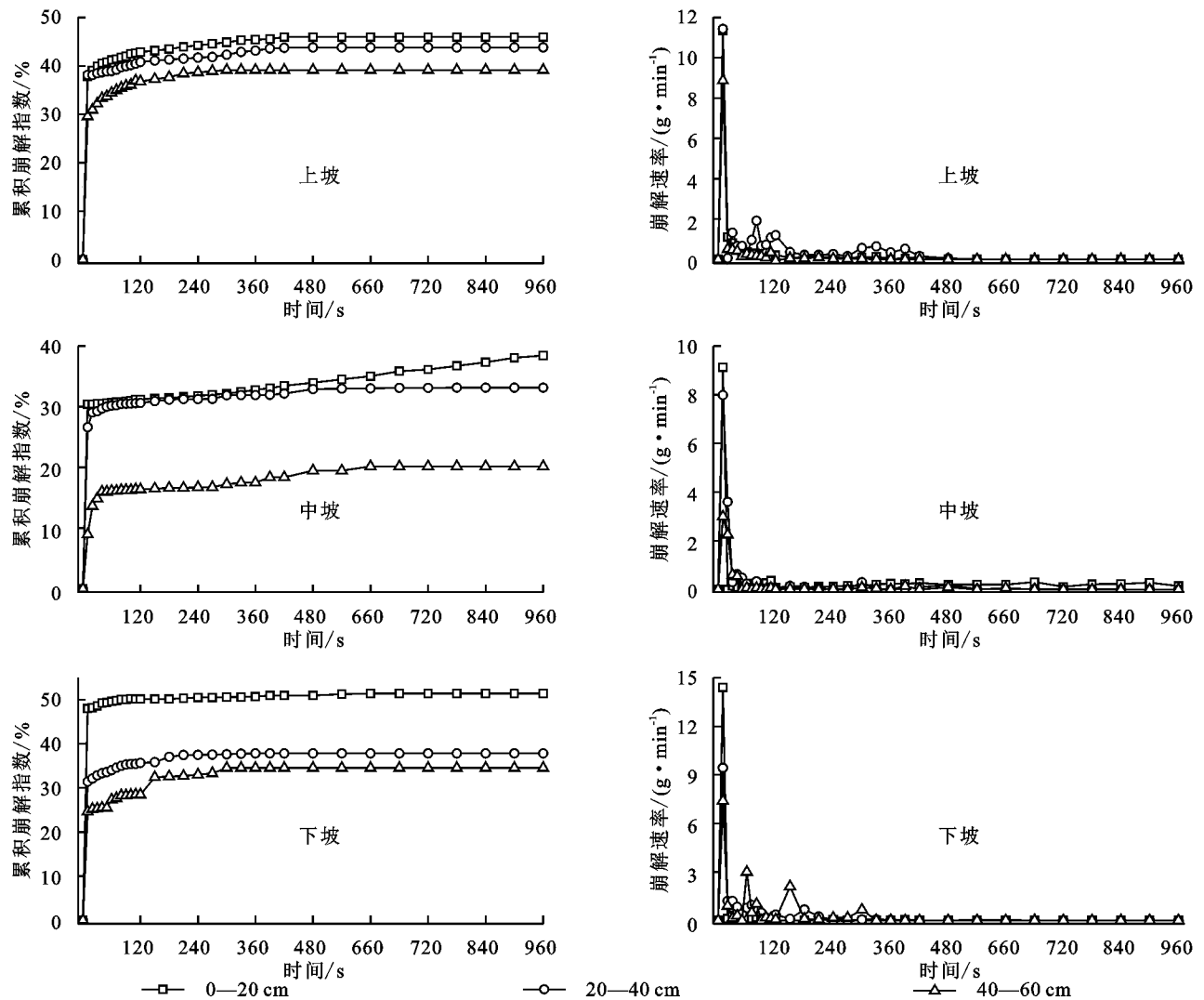


图3 1年生桃园不同坡位土壤累积崩解量和崩解速率随时间变化过程

## 2.2 不同土层深度的土壤崩解特性

从图2和图3可以看出:1 a生桃园的累积崩解指数随着土层深度的增加而降低,而9 a生的桃园则呈现不一致的规律:土层深度在0—20 cm的累积崩解指数均在前120 s内为所有土层深度的最低值,在120 s后则在上坡位和下坡位的累积崩解指数居中,中坡位的累积崩解指数最低;土层深度在20—40 cm的累积崩解指数则随着坡位降低而增加;土层深度40—60 cm的累积崩解指数在上坡位和中坡位最大,而下坡位则在120 s后土层深度在40—60 cm的崩解指数最低。各土层深度的土壤崩解速率总体表现为随土层深度的增加而降低。

由图2,图3可知,各土层的土壤崩解速率可分为3个阶段:(1) 极速崩解期:崩解曲线升高与降低均迅猛。9 a生桃园各土层深度的崩解速率在前60 s达到最大值,1 a生的桃园在前30 s达到最大崩解值,土壤崩解速率在此阶段均达到最大值;(2) 缓慢崩解期:曲线缓慢下降,即从60~360 s期间,各土层

深度的土壤崩解速率缓慢降低;(3) 崩解稳固期:曲线趋近水平,即从360~960 s期间,各土层深度的土壤崩解速率极低,特别是在600 s后基本停止崩解。各土层深度的累积崩解指数变化曲线与崩解速率曲线变化方向相反。土层深度在0—20 cm土壤崩解过程较长,崩解曲线相对平缓,崩解量缓慢增加;20—40 cm的崩解过程与0—20 cm的规律相似,但土壤崩解速率加快;40—60 cm的土壤崩解速率相对迅速。

## 2.3 不同树龄的土壤崩解特性

从图2和图3可以看出:9 a生桃园的上坡和中坡均为下层(40—60 cm)土壤崩解指数较大。上坡表层(0—20 cm)次之,中层(20—40 cm)相对较小。而中坡土壤的崩解指数为下层>中层>表层,下坡为中层>表层>下层。1 a生桃园不同坡位则规律相对一致,上中下三坡位不同土层深度的土壤崩解指数均为表层>中层>下层。对1 a生和9 a生桃园土壤的崩解特性进行比较,当土层深度一定时,不同坡位土壤累积崩解指数与崩解速率均为1 a生桃园土壤大



于 9 a 生桃园土壤。

9 a 生桃园土壤崩解速率在前 120 s 上坡各层土壤崩解很快,土壤崩解速率在 120 s 后才逐渐平缓,表层土壤崩解速率快于中层和下层,但随着时间的推移崩解速率逐渐相近,960 s 时三层趋零。而 1 a 生桃园前 60 s 的土壤崩解速率快,中层土壤崩解速率快于表层和下层,在 480 s 时趋零。1 a 生桃园土壤的各层土壤崩解速率高于 9 a 生桃园,且在 60 s 后崩解速率曲线逐渐平缓。

2.4 土壤容重与含水量对土壤崩解速率的影响

表 1 为各个采样点土壤容重与土壤含水量的大小。

表 1 土壤容重与土壤含水量对桃园的土壤崩解性能的影响

类型	9 年生桃园上坡			9 年生桃园中坡			9 年生桃园下坡		
	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm
土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.38	1.43	1.44	1.43	1.45	1.44	1.40	1.44	1.43
土壤含水量/%	5.18	6.31	6.35	6.01	6.21	6.68	5.01	6.35	6.42
最大累积崩解指数/%	22.00	18.05	23.58	25.95	31.07	31.05	31.4	34.73	27.66
最大崩解速率/(g·min <sup>-1</sup> )	2.78	3.21	4.40	4.46	5.43	6.60	8.28	7.13	6.42

类型	1 年生桃园上坡			1 年生桃园中坡			1 年生桃园下坡		
	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm
土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.14	1.28	1.15	1.12	1.38	1.41	1.12	1.21	1.18
土壤含水量/%	4.22	6.22	6.3	5.74	6.12	6.54	3.84	6.12	6.13
最大累积崩解指数/%	45.98	43.83	39.16	38.45	33.15	20.17	51.45	37.83	34.55
最大崩解速率/(g·min <sup>-1</sup> )	11.34	11.43	8.88	9.13	7.99	2.99	14.40	9.44	7.40

3 讨论

不同土层深度的土壤累积崩解指数与崩解速率呈现不同的特点。在植被覆盖的土壤表层(0—20 cm),土壤根系较多,土壤有机质含量高,大孔隙占比较大,土体结构松散。当浸水时,水通过大孔隙迅速进入土体内部,胶结物质、游离氧化物溶解于水中,粒间结构的物化连结迅速减弱,主要产生溶解型崩解形态,粉末状、散粒状剥落崩解<sup>[15-16]</sup>,使前 120 s 的土壤累积崩解指数最低。下层(40—60 cm)土壤主要为小孔隙,孔隙吸力大,与水接触后,表面强烈地吸附水分子,构成楔裂压力,促使土块产生裂隙,土体沿裂隙崩解,快速崩解。同时,下层因富铝化,氧化铁的胶结作用形成超固结构性<sup>[15-16]</sup>,在崩解后期,崩解趋于稳定。中层(20—40 cm)土壤介于两者之间。而在无植被覆盖的区域,土壤累积崩解指数随着土层深度的增加而减少,这与随土层深度的增加,土壤含水量递增,土壤累积崩解指数逐渐降低相关,这与 Liu 等<sup>[17]</sup>学者研究结论类似。

不同树龄的土壤累积崩解指数与崩解速率存在

土壤容重与最大崩解速率线性呈现负相关( $p=0,R^2=0.599$ ),与最大崩解指数也呈现负相关关系( $p=0,R^2=0.559$ );土壤最大崩解速率与最大崩解指数均随着容重的增加而减少。土壤容重越大,土壤细颗粒间的孔隙占比越小,对进入孔隙水的作用力越小,单位时间内崩解量越小,即崩解速率越小。

土壤含水量与最大崩解速率( $p=0.018,R^2=0.301$ )及最大崩解指数( $p=0.014,R^2=0.321$ )均呈现线性负相关关系。土壤含水量决定土壤颗粒间胶结的状态,是决定土壤崩解的重要因素之一,土壤含水率越低,土壤崩解速率也随之增强,被破坏现状越显著。

差异,这与植物地上部分茎叶对减少土壤冲刷起一定作用,地下部分根系在降低土壤崩解与冲刷方面起决定性作用<sup>[18-19]</sup>。9 a 生桃园根茎越发达,土壤有机质的含量较高,土壤表层枯枝落叶多,有机质高于下层,能减缓土壤崩解作用。植物根系的分布、盘绕固结作用也能够提高表层土壤的固持能力,降低土壤崩解性能。另外植物根系能将土壤单粒固结起来,也可将板结密实的土体分散成小块,并在根系腐化合成腐殖质,累积了土壤养分,并能使这些土壤的团聚体形成具有大量孔隙的和不易破碎的结构<sup>[20]</sup>,使 9 a 生的桃园土壤累积崩解指数与崩解速率均较低。而 1 a 生的桃园地表植被少、根系少,固持土壤能力弱,造成土壤累积崩解指数与崩解速率均较 9 a 生的桃园高。

4 结论

- (1) 果园累积土壤崩解指数与崩解速率均呈现先快后慢的特征,前 120 s 内土壤崩解最快,600 s 后土壤崩解趋近于 0。
- (2) 土壤累积崩解指数随着土层深度的增加而降低,土壤崩解速率也总体表现为随土层深度的增加

而降低(9 a 生桃园部分样点不具此规律)。

(3) 当土层深度一定时,1 a 生桃园土壤累积崩解指数与崩解速率均大于 9 a 生桃园土壤。9 a 生桃园土壤累积崩解指数和崩解速率曲线变化较 1 a 生桃园平缓。

(4) 土壤容重、土壤含水量与最大崩解速率及最大崩解指数呈现线性负相关关系。

参考文献:

[1] 王健,马璠,张鹏辉,等.干湿交替对黄土崩解速度的影响[J].土壤学报,2015,52(6):1273-1279.

[2] 张晓媛,范昊明,杨晓珍,等.容重与含水率对砂质黏壤土静水崩解速率影响研究[J].土壤学报,2013,50(1):214-218.

[3] Kasmerchak C S, Mason J A, Liang M. Laser diffraction analysis of aggregate stability and disintegration in forest and grassland soils of northern minnesota, USA [J]. Geoderma, 2019,338(15):430-444.

[4] Xia D, Zhao B, Liu D, et al. Effect of soil moisture on soil disintegration characteristics of different weathering profiles of collapsing gully in the hilly granitic region, South China [J]. Plos One, 2018,13(12):1-19.

[5] Jensena J L, Schjønninga P, Watts C W, et al. Soil degradation and recovery-Changes in organic matter fractions and structural stability [J]. Geoderma, 2020,364(1):1-12.

[6] Zhang Z H, Liu W, Han L, et al. Disintegration behavior of strongly weathered purple mudstone in drawdown area of three gorges reservoir, China [J]. Geomorphology, 2018,315(15):68-79.

[7] Zhang D, Chen A Q, Liu G C. Laboratory investigation of disintegration characteristics of Purple Mudstone under different hydrothermal conditions [J]. Journal of Mountain Science, 2012,9(1):127-136.

[8] 蒋定生,李新华,范兴科,等.黄土高原土壤崩解速率变

化规律及影响因素研究[J].水土保持通报,1995,15(3):20-27.

[9] 夏振尧,张伦,牛鹏辉,等.干密度初始含水率坡度对紫色土崩解特性的影响[J].中国水土保持科学,2017,15(1):121-127.

[10] 李敬王,陈林,史东梅,等.紫色土崩解特性对容重和含水率的响应特征[J].水土保持学报,2019,33(2):68-72.

[11] 王一峰,牛俊,长江中上游地区土壤崩解速率特征分析[J].长江科学院院报,2015,32(3):40-43.

[12] 张素,郑学用,熊东红,等.干湿交替对干热河谷冲沟发育区不同土壤崩解性的影响[J].水土保持学报,2016,30(2):111-121.

[13] 肖海,夏振尧,彭逗逗,等.植物根系对三峡库区消落带紫色土崩解性能的影响[J].中国水土保持科学,2019,17(3):98-103.

[14] 肖海,彭逗逗,邵艳艳,等.狗牙根根系对三峡库区消落带紫色土崩解性能的作用机理分析[J].土壤通报,2019,50(5):1116-1122.

[15] 周明涛,高家祯,张守德,等.多花木蓝与狗牙根不同种植模式对三峡黄棕壤抗蚀性影响[J].水土保持研究,2017,24(1):7-11.

[16] 兰泽鑫.花岗岩残积土崩解试验研究[D].广州:华南理工大学,2013.

[17] Liu W P, Song X P, Huang F M. Experimental study on the disintegration of granite residual soil under the combined influence of wetting-drying cycles and acid rain[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2019,10(1):1912-1927.

[18] 吴钦孝,李勇.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究:Ⅱ.草本植物根系提高表层土壤抗冲刷力的试验分析[J].水土保持学报,1990,4(1):11-16.

[19] 查轩,唐克丽,张科利,等.植被对土壤特性及土壤侵蚀的影响研究[J].水土保持学报,1992,6(2):52-58.

[20] 朱显谟.黄土地区植被因素对于水土流失的影响[J].土壤学报,1960,8(2):110-121.