

稻田植茶后土壤团聚体水稳性变化特征及影响因素分析

李欣雨¹, 夏建国², 田汶艳³

(1. 四川农业大学环境学院, 成都 611130; 2. 四川农业大学资源学院, 成都 611130; 3. 仁和区政府办公室, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 采用野外调查与室内分析相结合的方法, 研究名山地区稻田植茶后土壤团聚体水稳性变化特征及其影响因素。结果表明: 稻田及植茶后的土壤水稳性团聚体含量在各粒径及土层间表现不同, 稻田、茶园 5 年和 10 年土壤水稳性团聚体含量总体上随着粒径的减小呈先降低后上升的趋势, 茶园 15 年水稳性团聚体含量则随着粒径的减小逐渐增加。从不同土层来看, 在 0—20、20—40 cm 土层中, 随着稻田植茶年限的增加, 土壤团聚体含量以 >2 mm 粒径团聚体为主转变为以 <0.25 mm 粒径团聚体为主, 而在 40—60 cm 土层中, 总体上 <0.25 mm 粒径团聚体占据着主要地位; 在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层, 稻田植茶后土壤团聚体水稳性逐年下降, 由大到小依次为水稻田 $>$ 茶园 5 年 $>$ 茶园 10 年 $>$ 茶园 15 年, 而在 40—60 cm 土层, 土壤团聚体水稳性由大到小依次为茶园 5 年 $>$ 茶园 10 年 $>$ 水稻田 $>$ 茶园 15 年, 不同土层中团聚体的水稳性与 >0.25 mm 粒径团聚体含量呈正相关关系。稻田及稻田植茶后的土壤团聚体水稳性受土壤的理化性质影响, 其中受 >0.25 mm 粒径团聚体含量、土壤容重、总孔隙度的影响较显著。就所测养分而言, 稻田土壤团聚体的水稳性影响因素为有机质和游离氧化铁, 茶园 5 年的影响因素为有机质和阳离子交换量 (CEC), 茶园 10 年的影响因素为有机质、CEC 和有效磷含量, 而茶园 15 年的影响因素主要是 CEC 含量。

关键词: 土壤; 团聚体; 水稳性; 稻田植茶; 种植年限

中图分类号: S152.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)04-0148-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.04.024

Research on the Water Stability and the Driving Forces of Soil Aggregate After Paddy Field Switched to Tea Garden

LI Xinyu¹, XIA Jianguo², TIAN Wenyan³

(1. College of Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130; 2. College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130; 3. Renhe District Government Offices, Panzhihua, Sichuan 617000)

Abstract: Adopting field investigation and indoor analysis, the changes of soil water-stable aggregates distribution and the driving forces in the conversion of paddy field to tea garden were examined. The results showed that soil water-stable aggregate in the paddy field and tea garden was different among different size class and soil layer. With the decrease of the particle size, the water-stable aggregate firstly decreased and then increased in paddy soil and tea plantation with 5 years, 10 years. In the 15 years tea garden, water-stable aggregate was increased with the decrease of the particle size. With the increasing years of tea planation, water-stable aggregate was given priority to >2 mm turn into <0.25 mm both in 0—20 cm and 20—40 cm soil layer, while <0.25 mm water-stable aggregate was the predominant contributor in 40—60 cm soil layer. The water stability of soil aggregate decreased with the increasing years both in 0—20 cm and 20—40 cm soil layer, whereas the ranking from high to low in 40—60 cm soil layer was: tea plantation 5 years $>$ tea plantation 10 years $>$ paddy field $>$ tea plantation 15 years. The stability water of soil aggregate was positively correlated with the content of >0.25 mm water-stable aggregate. The water stability of soil aggregates was positively correlated with the soil chemical properties, and the main driving factors were >0.25 mm aggregates, soil bulk density and total porosity. In terms of nutrients, the driving forces of water stability in paddy field, tea garden 5 years, 10 years and 15 years were organic matter, organic matter and CEC, organic matter, CEC and effective phosphorus content, content of CEC, respectively.

Keywords: soil; aggregate; water stability; paddy field switched to tea garden; planting years

土壤是地球表层系统的重要组成部分,是人类生产和生活中不可或缺的一种重要资源。而土壤团聚体是指土粒通过各种自然过程的作用而形成的直径<10 mm 的结构单位^[1],是土壤结构构成的基础,其数量和质量直接决定着土壤质量和肥力^[2],土壤团聚体各粒级的不同组成比例是造成养分差异的最主要内在原因^[3]。土壤团聚体的稳定性是判定土壤物理质量的一个重要指标^[4],影响土壤团聚体稳定性的因素很多,主要分为内因和外因两个方面^[5],外因包括气候、生物、人为扰动等,而内因主要为电解质、黏土矿物、碳酸盐、有机质、铁铝氧化物等。大量研究表明,1~10 mm 粒级的水稳性团聚体有利于调节土壤通气与持水间养分的释放与保持间的矛盾,而不同土地利用方式下土壤团聚体的水稳性表现不同^[6-7]。

为构建长江上游生态屏障,提高地方经济收入,自 20 世纪 90 年代以来,川西各地区结合当地的自然条件大面积进行退耕还林还茶,随着茶叶经济的发展,雅安一带的茶园种植业还在不断扩大。而植茶土壤作为一种单一连作土壤,相对于稻田土壤,其理化性质发生了一系列变化^[8],对土壤中团聚体的水稳性也会产生一定影响,因此,如何实现高效、安全的茶叶生产以及土地资源的可持续利用就成为了近年来关注的重点。雅安市名山区是我国著名的茶叶产地,本文选取名山区境内老冲积黄壤为研究对象,研究稻田在植茶前后以及不同植茶年限下不同粒径团聚体的水稳性特征,定量分析土壤理化性质对其稳定性的影响,为有效预测和评价土壤团聚体的水稳定性和改善土壤环境提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 土样采集处理

四川省雅安市名山区位于成都平原西南边缘,辖区内(30°05′—30°09′N,103°05′—103°07′E)地貌为低山台地,海拔在 600~900 m,属于亚热带季风性湿润气候,年均降雨量为 1 500 mm,年际变化幅度大,土壤类型以老冲积黄壤和酸性紫色土为主。于 2015 年 9 月采集百丈镇相同母质的茶园土壤和稻田土壤,茶园由稻田改变种植方式而来。按照“S”形路线采集不同土层(0—20,20—40,40—60 cm)土壤,每 5 个分点合为 1 个土样,重复 3 次,将新鲜土壤均匀混合后装入无菌塑料袋内,带回实验室保鲜储存,取出部分土壤自然风干后磨细过筛,供土样团聚体稳定性以及基本理化性质的测定。以四分法分出一份(约 250 g)土壤,磨碎过 2 mm 筛,作为原土备用。

1.2 土壤团聚体测定

将风干原状土掰成 10~12 mm 的土块,除去植物残体、小石块以及蚯蚓等动物残体后,采用湿筛法^[9]测定>2,1~2,0.5~1,0.25~0.5,<0.25 mm 5 个土壤粒径含量。

1.3 土壤基本理化性质的测定

pH 值采用电位计法(水土比 1:2.5)测定;有机质含量采用外加热(Turin)法测定;游离氧化铁采用 DCB 法测定;阳离子交换量采用醋酸铵交换法测定;腐殖质含量采用焦磷酸钠提取—重铬酸钾法测定;速效钾含量采用原子吸收法测定;有效磷含量采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;土壤容重采用环刀法测定。土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 研究区土壤基本理化性质

土地利用 方式	土层 深度/cm	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	腐殖质/ HA/FA	游离氧化铁/ (g·kg ⁻¹)	CEC/ (cmol·kg ⁻¹)	有效 P/ (mg·kg ⁻¹)	速效 K/ (mg·kg ⁻¹)
稻田	0—20	6.7±0.35	34.51±1.23	0.37	13.48±0.28	14.67±0.27	15.89±1.02	126.23±0.08
	20—40	6.66±0.30	29.53±0.45	0.53	24.27±0.38	13.32±0.33	8.92±0.33	84.32±2.20
	40—60	6.21±0.03	26.00±2.28	0.37	28.02±0.55	12.91±0.04	4.97±0.11	72.51±2.29
茶园 5 年	0—20	5.08±0.07	45.50±0.92	0.47	19.56±0.11	16.98±0.31	14.16±1.17	99.99±0.30
	20—40	5.61±0.08	28.38±0.61	0.39	12.52±0.28	12.99±0.06	10.77±0.33	69.39±0.88
	40—60	5.77±0.14	27.06±0.55	0.25	12.2±0.20	12.80±0.31	10.09±0.25	67.52±1.76
茶园 10 年	0—20	4.57±0.02	25.24±1.10	0.70	11.47±0.22	12.22±0.50	13.26±1.46	65.37±0.23
	20—40	4.83±0.18	22.14±0.86	0.42	10.64±3.47	11.83±0.30	9.13±0.35	51.32±0.81
	40—60	5.10±0.08	17.63±0.15	0.31	10.24±1.45	11.98±0.08	7.76±0.02	49.77±1.32
茶园 15 年	0—20	4.16±0.07	19.89±0.36	0.50	9.98±0.54	12.04±0.06	13.20±1.50	47.27±0.46
	20—40	4.25±0.16	12.57±0.81	0.42	8.23±0.31	11.62±0.24	8.22±0.07	45.96±1.32
	40—60	4.90±0.04	6.71±2.45	0.30	5.75±0.36	11.42±0.39	6.97±0.12	42.54±2.22

1.4 数据计算与处理

(1)团聚体稳定性评价公式。平均重量直径:

$$MWD=\sum_i W_i \overline{X_i} \tag{1}$$

式中:W_i 为某粒级团聚体的质量比;X_i 为某粒级的平均直径^[10]。

几何平均直径:

$$GMD=\text{Exp} \frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{2}$$

式中:W_i 为某一粒级水稳性团聚体重量;X_i 为某一粒级团聚体平均直径^[10]。

采用 SPSS 软件进行数据统计分析,数据处理及方程拟合通过软件 Excel 2013 完成。

2 结果与分析

2.1 稻田及植茶后的土壤水稳性团聚体的分布特征

老冲积黄壤稻田及植茶后的土壤水稳性团聚体在不同土层中的分布特征见图 1。稻田、茶园 5 年和 10 年土壤水稳性团聚体含量总体上随粒径的减小呈先降低后增加趋势,茶园 15 年土壤水稳性团聚体含量则随着粒径的减小而逐渐增加。在稻田土壤中,0—20 cm 及 20—40 cm 土层均以 >2 mm 粒径团聚体为主,所占比例均超过 70%,其次为 <0.25 mm 粒径;在 40—60 cm 土层中, <0.25 mm 则占据主要地位,含量达 70.94%;在茶园土壤中,茶园 5 年土壤团聚体以 >2 mm 粒径为主,茶园 10 年和茶园 15 年则以 <0.25 mm 团聚体为主,该结果与何淑勤等^[10]研究结果一致。在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层, >2 mm 的土壤团聚体所占比例均为稻田>茶园 5 年>茶园 10 年>茶园 15 年, <0.25 mm 的土壤团聚体所占比例为茶园 15 年>茶园 10 年>茶园 5 年>稻田;在 40—60 cm 土层中, >2 mm 的土壤团聚体所占比例均为茶园 5 年>茶园 10 年>稻田>茶园 15 年, <0.25 mm 的土壤团聚体所占比例为稻田>茶园 15 年>茶园 10 年>茶园 5 年。

在茶园土壤中,随着植茶年限的增加, >2 mm 和 1~2 mm 粒径的土壤团聚体含量呈明显递减趋势,而 <0.25 mm 土壤团聚体含量随植茶年限的增加而呈递增趋势。由此可知,植茶不利于土壤大团聚体的形成,相反却有利于土壤小团聚体的形成。这可能是因为茶园是一个开放或半开放的系统,受到施肥、茶叶采摘等人为因素的影响,土壤中的水分、养分以及修剪物等物质流出系统,每年归还茶园的有机物质总量明显减少,这种物质循环方式导致土壤有机碳库储量迅速下降,从而加速了水稳性团聚体之间有机胶结物质的分解,使得大粒径团聚体分解,转变成小粒径水稳性团聚体,故随着种植年限的增加,大粒径的水稳性团聚体含量下降,而小粒径的团聚体含量上升^[11]。

就 4 种土壤种类下各土层水稳性团聚体的变化来看,稻田中 3 个土层各粒径的变化最大,其中 <0.25 mm 和 >2 mm 粒径团聚体含量随着土层的加深变化显著,尤其是稻田 40—60 cm 粒径中 <0.25 mm 团聚体含量相较于 20—40 cm 增加了 61.98%,而这两个土层 >2 mm 团聚体含量则相差 67.64%。由此可知,随着土层深度的增加,稻田土壤中的大团聚体含量逐渐减少,小团聚体含量逐渐增加。茶园 5 年 3 个土层各粒径水稳性团聚体变化幅度最小,其中 20—40 cm 土层中的大团聚体含量较高,40—60 cm 小团聚体含量最大,3 个土层

各粒径团聚体含量差异较小,变化幅度相近;茶园 10 年和茶园 15 年 3 个土层中的小团聚体占了土壤绝大部分。由此可知,稻田及不同种植年限的茶园中 >2 mm 和 <0.25 mm 两个粒径的水稳性团聚体含量随着土层深度的加深变化最为显著。

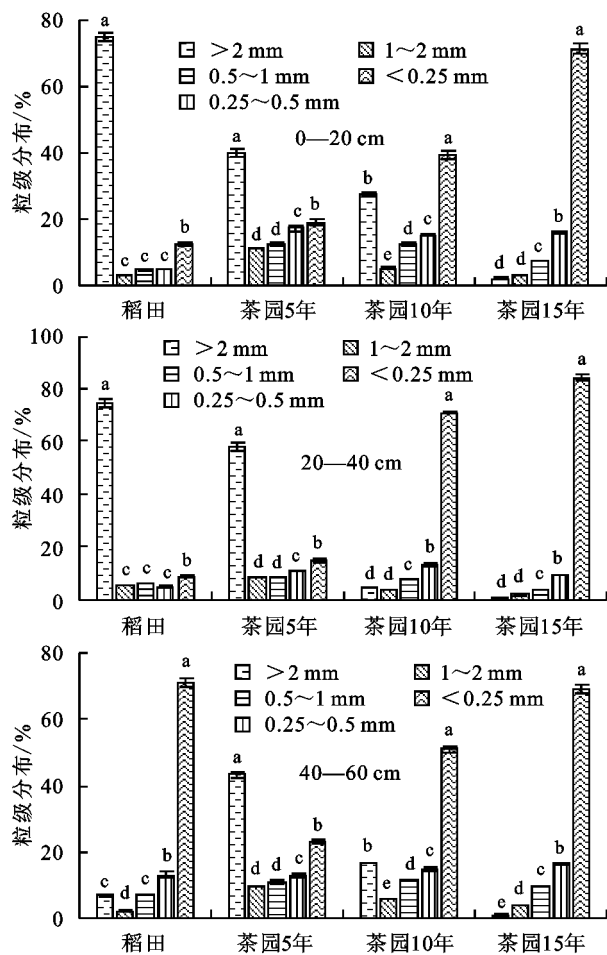


图 1 不同土层土壤团聚体的粒级分布

2.2 稻田植茶后土壤团聚体水稳性比较

平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)常被用来反映土壤团聚体的稳定性,GMD 是对土壤团聚体在主要粒级分布的描述,而 MWD 为各级团聚体的综合指标,两者值越大团聚体稳定性越好^[10]。由图 2 可知,4 种土样团聚体在不同土层中的 GMD 和 MWD 值变化趋势一致,0—20 cm 和 20—40 cm 土层团聚体的 GMD 和 MWD 值均随着稻田植茶年限的增加呈下降的趋势,土壤团聚体水稳性排序为稻田>茶园 5 年>茶园 10 年>茶园 15 年,与 >0.25 mm 粒径含量分布一致;而在 40—60 cm 土层中,土壤水稳性呈现先上升后下降的趋势,稻田种植茶叶后的第 5 年土壤水稳性达到最大值,水稳性排序为茶园 5 年>茶园 10 年>稻田>茶园 15 年。稻田植茶后,表层土壤团聚体的水稳性呈不断下降趋势,主要是受植物根系、耕作方式和人工施肥等差异引起的。水稻属须根系,不定根发达,根系主要集中于 0—20 cm 土层中,在 20—40 cm 中也有少量存在,稻田收割后根

系被翻转并埋回土中,促进土壤有机质的增加,有利于团聚体稳定性的提高^[12],因此稻田土壤团聚体水稳性较高。而稻田改种茶叶后,表层有机物的回填明显减少,同时受雨水冲刷的破坏程度加大,不利于土壤团聚结构的形成和稳定。此外,老冲积黄壤茶园采用的是沟灌这一灌溉方式,而袁德玲等^[13]的研究表明,传统的沟灌不利于团聚体稳定性的提高和保持,长期进行同一种种植模式的土壤团聚体稳定性会随着种植年限的增加而下降^[14-15],因此随着植茶年限的增加,团聚体的水稳性不断下降。

在0—20 cm土层中,MWD和GMD值在4种土壤下差异显著,而在40—60 cm土层中,水稻土和茶

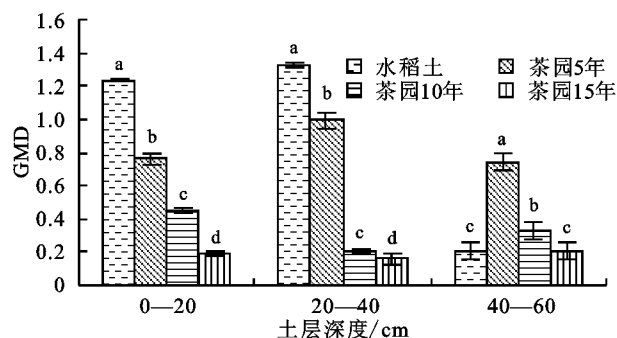


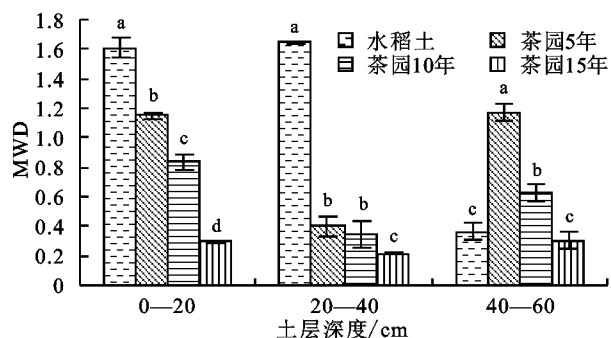
图2 供试土样土壤团聚体 GMD 和 MWD 变化规律

在土壤中, >0.25 mm 粒径的水稳性团聚体含量和 MWD 是评价土壤结构稳定与否的有效指标,有不少研究指出^[17-19], >0.25 mm 粒径的水稳性团聚体含量和 MWD 呈极显著正相关关系,MWD 值越大, >0.25 mm 粒径团聚体的含量越高,土壤结构越稳定。根据图 1 可知,稻田和茶园 5 年的土壤在不同土层中的 >0.25 mm 粒径团聚体含量大小关系为 20—40 cm $>$ 0—20 cm $>$ 40—60 cm,茶园 10 年土壤中的 >0.25 mm 粒径团聚体含量大小关系为 0—20 cm $>$ 40—60 cm $>$ 20—40 cm,茶园 15 年土壤中的 >0.25 mm 粒径团聚体含量大小关系为 40—60 cm $>$ 0—20 cm $>$ 20—40 cm,与 4 类土样的 MWD 和 GMD 大小关系一致。稻田、茶园 5 年、茶园 10 年和茶园 15 年的 GMD 变异系数分别为 67.21%,16.93%,37.34%和 11.92%,MWD 的变异系数分别为 60.81%,11.00%,40.89%,17.20%。由此可知,稻田植茶后有助于土壤整体稳定性的协调,但并不一定有利于土壤团聚体稳定性的提高,并且随着植茶年限的增加,土壤团聚体稳定性呈下降趋势。

2.3 稻田及植茶后的土壤团聚体基本性质及其对土壤团聚体水稳性的影响

2.3.1 稻田及植茶后的土壤团聚体的基本性质 由表 2 可知,稻田植茶后,土壤 pH 随着种植年限的增加而逐渐降低,这是因为茶树是喜酸作物,茶树根部分泌出的低分子量有机酸会造成土壤酸化,随着植茶

园 15 年之间的差异不显著,可知稻田植茶后对土壤表层团聚体的水稳性有着较大影响。单从稻田方面来看,其 GMD 及 MWD 随着土层的加深呈现先上升后下降的变化趋势,主要是受人为耕作的影响。耕作的机械扰动使土壤发生破碎、分散和混合,直接间接地造成土壤质量的下降^[16],传统耕作层主要集中在 0—20 cm 土层,耕作强度大,土壤易受影响,降低了土壤表层团聚体稳定性;而 20—40 cm 土层受耕作等外界影响少,破坏小,因此土壤团聚体的水稳性略高于表层土壤团聚体;在 40—60 cm 深度中,土壤微生物活动较少,有机质含量低,导致土壤团聚体 GMD 和 MWD 值迅速下降。



年限的增加,茶园土壤酸化会不断加重^[20];稻田 0—20,20—40 cm 土层、茶园 5 年 20—40 cm 土层以及茶园 10 年各土层的团聚体有机质含量随着粒径的减小呈现先升高后降低的趋势,其余土样在各土层中有机质含量均随着粒径的减小而降低;稻田的游离氧化铁含量高于茶园,随着植茶年限的增加,游离氧化铁含量呈下降趋势,稻田游离氧化铁含量表层低于底层,主要是因为游离氧化铁的淋溶迁移所引起;茶园各土层团聚体 CEC 含量随植茶年限的增加呈递减趋势,总体而言,CEC 含量与有机质含量的变化趋势基本一致,诸多研究也表明,土壤有机质与 CEC 含量显著相关^[21]。供试土壤速效钾和有效磷含量在剖面中均呈现随深度的增加而下降,相较于稻田,茶园土壤速效钾和有效磷含量偏低,主要是受施肥的影响^[12],稻田种植时施用了大量的磷肥、钾肥,而种植茶叶后,两种肥料的施用量大幅度减少,导致土壤中钾、磷含量的减少,且随着植茶年限的增加土壤酸性加强,往往也会导致土壤速效钾含量降低,进而对土壤团聚体的水稳性产生一定的影响。

土壤自然含水量、容重、孔隙度与土壤疏松性、通气性相关,影响着土壤团聚体稳定性。由表 2 可知,稻田及稻田植茶后不同年限茶园平均自然含水率为 17%,12%,15%和 19%;土壤容重作为土壤重要的物理性状,影响土壤的孔隙度,也显著影响团聚体稳定性。

表 2 不同粒径团聚体的基本性质

供试 土样	土层 深度/cm	粒径/ mm	pH	有机质含量/ (g·kg ⁻¹)	游离氧化铁/ (g·kg ⁻¹)	阳离子交换量/ (g·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	含水率/ %	容重/ (mg·kg ⁻¹)	孔隙度/ %
稻田	0—20	>2	6.80±0.41	29.72±2.63	11.54±0.22	13.86±1.01	141.95±4.41	15.43±0.34	18	0.86	66.42
		1~2	6.68±0.24	32.38±0.26	16.38±0.02	14.29±0.37	127.93±2.20	17.29±0.60			
		0.5~1	6.72±0.23	36.98±1.58	19.15±0.42	15.23±1.21	124.20±1.32	19.61±0.72			
		0.25~0.5	6.89±0.23	35.90±2.19	17.49±0.42	14.93±0.92	121.39±1.76	15.66±0.13			
		<0.25	6.72±0.13	31.47±2.08	12.31±0.71	14.10±0.10	103.01±2.20	15.18±0.48			
	20—40	>2	6.62±0.33	27.45±1.07	20.20±0.72	12.76±0.83	89.93±2.20	9.53±0.68	12	0.92	67.55
		1~2	6.48±0.13	29.21±0.08	23.53±1.27	13.04±0.31	89.30±3.96	9.15±1.14			
		0.5~1	6.66±0.24	40.32±1.42	27.71±0.62	15.69±0.66	92.11±4.40	9.92±0.53			
		0.25~0.5	6.70±0.20	41.44±2.31	28.74±0.56	15.63±0.40	85.88±4.40	11.08±0.28			
		<0.25	6.62±0.05	38.19±1.20	28.90±0.31	15.00±0.62	87.43±2.20	9.77±0.36			
	40—60	>2	6.17±0.31	25.42±2.41	27.94±0.72	12.63±0.20	80.58±1.32	5.32±0.04	20	1.14	55.09
		1~2	6.12±0.17	18.49±0.067	28.89±0.20	11.81±0.42	68.74±2.21	5.21±0.09			
		0.5~1	6.31±0.15	12.82±1.57	30.53±0.54	11.19±0.18	79.33±3.96	4.97±0.14			
		0.25~0.5	6.35±0.21	12.44±1.16	29.82±0.51	11.05±0.26	78.09±3.20	4.51±0.17			
		<0.25	6.30±0.03	10.45±0.58	29.72±1.32	10.79±0.03	66.39±2.13	3.58±0.00			
茶园 5 年	0—20	>2	5.28±0.06	42.63±1.26	18.69±0.47	16.92±0.20	102.48±2.86	14.48±0.24	14	0.96	63.77
		1~2	5.48±0.12	37.88±2.02	17.92±0.19	16.24±0.88	100.99±0.00	13.95±0.15			
		0.5~1	5.62±0.36	35.25±0.74	17.88±0.35	15.97±0.74	98.42±1.56	13.84±0.02			
		0.25~0.5	5.52±0.25	34.03±1.01	17.82±0.11	15.38±0.22	96.76±0.05	12.80±0.68			
		<0.25	5.46±0.11	32.25±1.15	17.62±0.20	15.64±0.32	96.55±2.07	12.53±0.47			
	20—40	>2	5.57±0.13	29.26±1.32	12.74±1.52	13.38±0.11	64.07±1.76	8.71±1.07	13	0.93	64.91
		1~2	5.52±0.20	29.76±0.29	12.40±1.66	13.52±0.25	70.45±1.62	10.66±1.76			
		0.5~1	5.71±0.08	30.46±0.03	12.15±0.32	13.21±0.40	80.76±2.26	10.20±0.50			
		0.25~0.5	5.75±0.22	19.21±0.23	9.71±0.38	11.20±0.46	70.76±1.41	10.11±0.38			
		<0.25	5.70±0.23	19.03±1.22	9.23±0.20	11.11±0.08	70.30±1.93	10.32±0.21			
	40—60	>2	5.94±0.10	24.63±0.46	12.70±1.07	12.53±0.05	62.29±0.04	8.69±0.06	10	1.02	63.02
		1~2	5.61±0.04	24.49±0.21	12.39±1.49	13.50±0.70	72.79±0.23	10.48±0.13			
		0.5~1	5.82±0.40	23.67±0.72	12.10±2.27	12.42±0.47	76.30±0.38	10.71±0.22			
		0.25~0.5	5.94±0.16	14.75±1.53	10.69±2.67	10.53±0.20	72.79±1.37	9.91±0.31			
		<0.25	5.84±0.15	14.50±1.42	10.05±0.21	10.49±0.11	68.16±0.85	9.73±1.17			
茶园 10 年	0—20	>2	4.77±0.04	24.56±2.15	11.48±0.30	13.16±0.40	65.15±0.06	12.59±0.83	12	1.05	61.51
		1~2	4.67±0.13	24.59±2.60	11.39±0.06	12.85±0.17	64.76±0.47	13.71±1.39			
		0.5~1	4.80±0.02	22.95±0.56	10.95±2.73	12.56±0.12	64.07±2.64	13.57±0.48			
		0.25~0.5	4.73±0.01	19.49±0.17	10.74±2.19	11.86±0.71	64.07±3.61	13.45±0.62			
		<0.25	4.78±0.06	17.77±1.83	10.52±0.96	11.64±0.13	62.84±2.50	13.41±0.07			
	20—40	>2	5.92±0.01	23.51±0.37	11.06±3.32	12.10±0.61	51.61±0.07	9.47±0.24	17	1.17	55.85
		1~2	5.43±0.33	23.56±1.20	11.25±2.39	11.80±0.28	57.84±0.04	10.24±0.68			
		0.5~1	5.75±0.42	21.05±2.14	9.75±0.34	11.53±0.34	64.07±0.09	10.15±1.00			
		0.25~0.5	5.91±0.06	18.85±0.37	8.85±0.58	11.28±0.50	62.82±1.64	9.43±0.85			
		<0.25	5.15±0.16	15.58±1.83	8.35±0.98	10.72±0.15	57.21±0.06	9.57±0.91			
	40—60	>2	5.85±0.26	18.07±0.59	10.71±2.31	12.37±0.27	53.16±0.44	7.07±0.33	14	1.08	59.25
		1~2	5.16±0.11	18.91±0.15	11.02±0.99	12.12±0.34	59.39±1.77	7.07±0.28			
		0.5~1	5.34±0.14	16.16±0.48	9.85±1.10	11.57±0.28	60.07±0.08	7.29±0.08			
		0.25~0.5	5.27±0.28	13.83±0.88	9.76±0.41	11.19±0.62	60.00±0.04	8.57±0.33			
		<0.25	5.35±0.05	12.81±1.01	9.50±0.09	10.54±0.04	55.61±2.33	8.83±0.25			
茶园 15 年	0—20	>2	3.84±0.08	21.97±1.73	10.88±0.62	12.65±0.36	51.61±0.03	12.64±0.70	11	1.2	54.72
		1~2	4.03±0.04	21.52±1.18	10.10±0.56	12.57±0.05	56.28±0.08	13.80±0.42			
		0.5~1	4.08±0.18	19.92±1.05	9.03±0.54	11.91±0.06	62.20±0.88	13.50±0.63			
		0.25~0.5	4.11±0.17	18.39±1.02	8.19±1.16	11.60±0.10	64.07±2.20	14.22±0.48			
		<0.25	4.20±0.04	12.83±0.59	7.14±0.60	10.78±0.51	52.54±2.14	12.08±0.37			
	20—40	>2	4.13±0.05	16.41±0.45	9.93±1.65	12.25±0.02	37.90±2.07	9.85±0.20	19	1.26	51.32
		1~2	4.22±0.07	14.90±0.31	9.60±1.26	11.68±0.04	64.07±2.26	8.46±0.44			
		0.5~1	4.31±0.08	13.62±0.53	8.79±1.97	11.28±0.02	64.07±0.44	8.55±0.26			
		0.25~0.5	4.28±0.07	11.40±1.20	8.89±0.24	11.26±0.35	60.95±0.79	7.07±0.09			
		<0.25	4.39±0.05	7.54±0.31	7.90±0.29	10.48±0.24	51.61±0.06	6.60±0.14			
	40—60	>2	4.52±0.23	11.12±1.24	7.75±1.17	13.49±0.44	37.27±0.22	9.78±0.05	27	1.18	55.47
		1~2	4.59±0.20	10.46±1.68	7.04±0.59	13.40±0.19	57.84±0.09	7.67±0.06			
		0.5~1	4.66±0.17	8.39±1.83	6.40±1.05	12.96±0.30	62.51±1.38	7.37±0.27			
		0.25~0.5	4.66±0.15	7.97±0.07	6.12±0.89	12.81±0.24	56.90±1.67	6.13±0.30			
		<0.25	4.71±0.14	5.84±0.65	5.83±0.26	12.59±0.12	49.74±0.88	5.67±0.16			

在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层,稻田、茶园 5 年、茶园 10 年和茶园 15 年土壤容重逐渐增加,40—60 cm 土层稻田土壤容重最高,茶园 5 年土壤容重最低,茶园土壤容重随着植茶年限的增加呈递增趋势。土壤总孔隙度反映土壤松紧度和结构状况的好坏,在 0—20 cm 和 20—40 cm 土层,随着稻田植茶年限的增加土壤总孔隙度逐渐降低,40—60 cm 土层稻田土壤总孔隙度最低,茶园 5 年土壤总孔隙度最高。土壤孔隙度受到容重影响,姜林等^[22]研究表明土壤容重越低,通气性越好,孔隙度越大。

2.3.2 土壤基本性质对土壤团聚体水稳性的影响 对稻田及稻田植茶后的土壤团聚体水稳性及其影响因素进行相关分析(表 3)可知,无论是老冲积黄壤稻田还是稻田植茶后不同年限茶园土壤团聚体水稳性的评价指标 GMD 和 MWD 受物理性质的影响更大,>0.25 mm 团聚体含量、容重和总孔隙度对其影响最大,均达到极显著水平。此外,稻田土壤团聚体水稳性主要受有机质影响^[23],有机质与 GMD 和 MWD

的相关系数分别为 0.873 和 0.870,这与宇万太等^[24]对团聚体水稳性影响因素研究的结果一致。而稻田植茶后,对土壤团聚体水稳性产生最大影响的因素由有机质转变为 CEC 含量,在稻田改为植茶后,土壤的有机质含量表现为先增加后减少,而其土壤团聚体水稳性却始终呈现下降趋势,由此可知,土壤团聚体的水稳性还受其他因素影响,且这一影响因素较有机质的作用更为显著。阳离子交换量的多少受无机和有机胶体共同作用,茶园 CEC 含量受无机胶体作用更大,茶园水稳性受到无机胶体作用的影响更为突出^[12]。

稻田土壤团聚体水稳性受到有效磷和速效钾的影响明显,而植茶后的土壤团聚体受其影响较小,这可能是受人工施肥的影响,名山区老冲积黄壤稻田和茶园均为缺磷土壤,在稻田种植过程中大量施用的磷肥使得土壤中的磷得以补充,而茶园土壤中对磷肥施用较少,导致土壤中磷含量降低,随着植茶年限的增加,土壤缺磷的状况日益突出,因此土壤在茶园 10 年中,土壤团聚体的水稳性与有效磷呈现出了一定的相关性。

表 3 稻田及茶园土壤团聚体水稳性影响因素相关分析

不同土壤类型		>0.25 mm 含量	有机质	游离氧化铁	CEC	有效 P	速效 K	pH	容重	总孔隙度	含水量
稻田	GMD	1.000**	0.873**	-0.586*	0.843**	0.789*	0.625*	-0.241*	-0.961**	0.961**	-0.745**
	MWD	0.999**	0.870**	-0.621*	0.846**	0.818**	0.661**	-0.274**	-0.974**	0.974**	-0.709**
茶园 5 年	GMD	0.925**	-0.112	-0.455	-0.526*	-0.388	-0.397	-0.057	-0.798**	0.798**	0.341
	MWD	0.867**	-0.220	-0.561*	-0.613*	-0.496	-0.508	0.051	-0.711**	0.711**	0.213
茶园 10 年	GMD	0.991**	0.147	0.513	0.558*	0.347	0.531*	-0.378	-0.962**	0.962**	-0.993**
	MWD	0.999**	0.090	0.500	0.537*	0.271	0.492	-0.319	-0.982**	0.982**	-0.979**
茶园 15 年	GMD	1.000**	-0.015	-0.502	0.645**	0.266	-0.065	0.374	-0.995**	0.995**	0.138
	MWD	0.994**	0.070	-0.437	0.596*	0.356	-0.043	0.284	-0.979**	0.979**	0.035

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

3 结 论

(1)老冲积黄壤稻田及茶园 5 年、10 年的土壤水稳性团聚体含量随着粒径的减小呈现先降低后上升的趋势,茶园 15 年土壤水稳性团聚体含量则随着粒径的减小逐渐增加。随着植茶年限的增加,0—40 cm 土层中大粒径水稳性团聚体含量逐渐降低,而<0.25 mm 团聚体含量不断增加,退耕植茶不利于土壤大团聚体的形成,而有利于土壤小团聚体的形成。

(2)随植茶年限的增加,上层土壤(0—40 cm)中的团聚体水稳性逐渐下降,稻田土壤团聚体的水稳性高于茶园。而在下层土壤(40—60 cm)中,土壤团聚体的水稳性呈现先上升后下降的趋势,4 类土壤团聚体在不同土层中的水稳性均与>0.25 mm 粒径的含量呈正相关关系。

(3)水稳性团聚体的平均重量直径和平均几何直径在 4 种土壤之间差异显著,稻田土壤团聚体的水稳性与试验所测因素均表现出显著甚至极显著的相关性,而茶园土壤团聚体的水稳性则与>0.25 mm 粒径含量、CEC 含量、土壤容重及总孔隙度呈极显著相关。

参考文献:

[1] 黄巧云. 土壤学[M]. 中国农业出版社,2006:104-105.

[2] 严波,贾志宽,韩清芳,等. 不同耕作方式对宁南旱地土壤团聚体的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(3): 58-63.

[3] 刘晓利,何园球. 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[J]. 土壤,2009,41(1):84-89.

[4] Moebius-Clune B N, VAN Es H M, Idowu O J, et al. Long-term soil quality degradation along a cultivation Chrono sequence in western Kenya[J]. Agriculture Eco-systems and Environment,2011,141(1):86-99.

[5] 李越,李航. 土壤团聚体稳定性的研究概述[J]. 安徽农业科学,2014,42(11):3245-3247.

[6] 陈山,杨峰,林杉,等. 土地利用方式对红壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(5):211-216.

[7] Zhao G Z, Liu Y Q, Tian Y, et al. Preparation and properties of macromolecular slow-release fertilizer containing nitrogen, phosphorus and potassium[J]. Journal of Polymer Research,2010,17(1):119-125.