

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.01.011.

王磊, 刘晴虞, 史经攀, 等. 平原沙土区河岸带不同植被类型对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持研究, 2024, 31(1): 96-104.

Wang Lei, Liu Qingyi, Shi Jingpan, et al. Effects of Different Vegetation Types on Soil Aggregate Stability in Riparian Zone of Plain Sandy Area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(1): 96-104.

平原沙土区河岸带不同植被类型对 土壤团聚体稳定性的影响

王磊¹, 刘晴虞¹, 史经攀², 李俊杰¹, 韩梦豪¹, 陈斌¹, 陈杭³, 关庆伟¹

(1.南京林业大学 生物与环境学院, 南京 210037; 2.丰县水利局, 江苏 徐州 221799;

3.江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225127)

摘要: [目的]明晰不同植被类型对土壤团聚体稳定性及团聚体有机碳含量的影响,为平原沙土区河岸带土壤团聚体稳定性和抗蚀能力提升提供基础数据。[方法]以江苏省平原沙土区丰县复新河河岸带15年生杨树纯林、柳树纯林、杨柳混交林3种植被类型及对照为对象,用湿筛法对0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm 3个层次土壤颗粒进行物理分级,测定了 >0.25 mm团聚体含量($R_{0.25}$)、平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)、分形维数(D)及有机碳等主要指标,并利用线性回归对各指标相关性进行分析。[结果](1)试验地各土层团聚体以 <0.25 mm微团聚体为主,占总团聚体含量的50.33%~80.00%。3种植被类型 >2 mm和0.25~2 mm粒径团聚体含量高于对照,各土层中杨树纯林 >2 mm大团聚体含量最高。(2)与对照相比,3种植被类型 $R_{0.25}$, MWD和GMD分别提高了41.77%~91.28%, 29.89%~79.08%和37.60%~94.32%,其中杨树纯林效果最好。杨树纯林和柳树纯林 D 显著低于对照($p<0.05$)。(3)试验地土壤团聚体有机碳含量范围为1.51~6.48 g/kg。与对照相比,3种植被类型下土壤团聚体有机碳含量提高了31.67%~71.68%,杨树纯林团聚体有机碳含量显著高于柳树纯林和杨柳混交林($p<0.05$)。杨树纯林在0—20 cm土层各粒径团聚体有机碳含量最高。(4)线性回归分析表明土壤团聚体稳定性与有机碳显著相关,尤其是与大团聚体有机碳含量显著相关。此外,细根生物量、全氮含量、碳氮比和含水率也是影响团聚体稳定性的重要因素。[结论]平原沙土区河岸带杨树纯林更有利于提高土壤团聚体稳定性,增加土壤抗蚀能力。

关键词: 平原沙土区; 河岸带; 植被类型; 团聚体稳定性; 有机碳

中图分类号: S152.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)01-0096-09

Effects of Different Vegetation Types on Soil Aggregate Stability in Riparian Zone of Plain Sandy Area

Wang Lei¹, Liu Qingyi¹, Shi Jingpan², Li Junjie¹,

Han Menghao¹, Chen Bin¹, Chen Hang³, Guan Qingwei¹

(1. College of Biology and Environment, Nanjing Forestry University,

Nanjing 210037, China; 2. Fengxian Water Conservancy Bureau, Xuzhou, Jiangsu 221799, China;

3. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

Abstract: [Objective] This study aims to investigate the effects of vegetation types on the stability and organic carbon distribution in different soil aggregate components, and to provide the data about soil aggregate stability and erosion resistance in the riparian zone of plain sandy area. [Methods] Three riparian vegetation types (pure poplar plantation, pure willow plantation and poplar-willow plantation) with control (CK) were selected. Based on the wet sieving method, four indexes of stability, including >0.25 mm aggregate content ($R_{0.25}$), mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD) and fractal dimension (D), and

收稿日期: 2022-11-21

修回日期: 2023-01-17

资助项目: 江苏省水利科技项目“江苏省平原沙土区生态河道水土保持效果评价及措施优化配置技术研究”(2020054)

第一作者: 王磊(1998—), 男, 江苏宿迁人, 硕士研究生, 从事森林生态学研究。E-mail: 315879908@qq.com

通信作者: 关庆伟(1964—), 男, 辽宁沈阳人, 教授, 从事森林生态系统结构、功能与过程等方面的研究。E-mail: guanqian999@163.com

http://stbcj.paperonice.org

organic carbon content of soil aggregates in 0—20 cm, 20—40 cm, and 40—60 cm soil layers were measured. The relationships between main varied indexes were analyzed using the Pearson method. [Results] (1) The aggregates of each soil layer were mainly <0.25 mm microaggregates, which accounted for 50.33%~80.00% of the total. Three vegetation types had higher aggregate contents with size classes >2 mm and $0.25\sim 2$ mm than CK. The content of >2 mm macroaggregate in pure poplar plantation was the highest in each soil layers. (2) Compared with the control, $R_{0.25}$, MWD and GMD of three vegetation types had their increased by 41.77%~91.28%, 29.89%~79.08% and 37.60%~94.32%, respectively. D of pure poplar plantation and pure willow plantation was significantly lower than that of the control ($p<0.05$). (3) The organic carbon content of aggregates in the experimental site soil layers ranged from 1.51 to 6.48 g/kg. Compared with the control, the organic carbon content of soil aggregates under the three vegetation types increased by 31.67%~71.68%, and the organic carbon content of aggregates in pure poplar plantation was significantly higher than that in pure willow plantation and poplar-willow plantation ($p<0.05$). Moreover, the highest value of organic carbon content of >2 mm aggregate in the 0—20 cm soil layers was found in pure poplar. (4) Linear regression analysis showed that the stability of soil aggregates was significantly correlated with organic carbon, especially with the content of large aggregates. In addition, fine root biomass, total nitrogen content, carbon to nitrogen ratio and water content were also important factors affecting the stability of soil aggregates. [Conclusion] Pure poplar plantation in riparian zone of plain sandy area is more conducive to improving soil aggregate stability and soil erosion resistance.

Keywords: plain sandy area; riparian zone; vegetation types; aggregate stability; organic carbon

土壤团聚体是土壤颗粒在各种有机无机胶结剂作用下形成的基本土壤结构单元,其稳定性与土壤质量、抗蚀能力和固碳潜力密切相关^[1-2]。不同植被类型因自身形态特征、地表凋落物和根系返还不同,导致土壤有机质输入、微生物活性和理化性质存在差异,进而影响土壤团聚体形成和稳定^[3-4]。An 等^[5]研究发现,森林和人工灌丛通过提高有机质水平增加原土壤团聚体稳定性。任荣秀等^[6]研究表明,自然恢复和营造刺槐人工林可以促进表土层有机质累积,提高土壤团聚体结构稳定性。因此,有机碳是影响土壤团聚体稳定性的重要因素,但土壤团聚体不同粒径有机碳含量存在差异,Ayoubi 等^[7]指出土壤大团聚体比例高与有机碳存量高有关。Wang 等^[8]研究表明,植被恢复 15 a 后土壤大团聚体有机碳含量最高,而李娟等^[9]研究认为 <0.25 mm 微团聚体有机碳含量和活性有机碳含量最高。上述研究表明,团聚体不同粒径有机碳分布及其对团聚体形成和稳定的影响尚不明确。此外,崔芯蕊等^[10]研究表明根质量密度是团聚体稳定性最大的影响因子。章明奎等^[11]指出,在土壤有机质水平较低时,铁铝氧化物是团聚体形成和稳定性的主要胶结物质。总体来说,土壤团聚体稳定性的影响与土壤有机碳及环境因素密切相关,但受成土母质和气候条件等环境条件的影响,研究结果不尽相同。

江苏省北部平原沙土区受黄河泛滥和冲击的影响,发育形成了以潮土和风沙土为主的结构疏松、抗

侵蚀能力弱的土壤类型,加之区域内降雨集中、降雨强度大以及长期以来对水土资源的过度利用,加剧了水土流失的进程^[12]。河岸带是陆地生态系统和水生生态系统之间的生态过渡带,具有过滤污染物和防止水土流失的功能^[13-14]。目前,对不同植被类型河岸带研究主要集中于泥沙迁移^[15]、氮磷淋失^[16]和土壤理化指标等^[17]方面,而对土壤团聚体稳定性与土壤有机碳分布及环境因素关系的研究缺乏深入讨论。因此,明确造林初期不同植被类型下河岸带土壤团聚体稳定性及影响因素,对提高河岸带土壤颗粒黏聚力和抗蚀能力,降低沙土区水土流失具有重要意义。

为此,本文以丰县复新河中游河岸带杨树(*Populus euramevicana* cv. 46)纯林、柳树(*Salix* \times *jiangsuensis* “J172”)纯林、杨柳混交林 3 种植被类型及对照为对象,探究土壤水稳性团聚体粒径分布和稳定性指标及团聚体有机碳含量特征,旨在明晰不同植被类型下土壤团聚体稳定性及其影响因子,以期为提高平原沙土区河岸带土壤团聚体稳定性和抗蚀能力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于江苏省丰县复新河中游($116^{\circ}21'15''$ — $116^{\circ}52'03''$ E, $34^{\circ}24'25''$ — $34^{\circ}56'27''$ N),属黄泛冲积平原,海拔 34.5~48.2 m。属暖温带季风气候,四季分明,光照充足,雨量适中,雨热同期,无霜期 200 d 左右。年均降

雨量 630.4 mm,年均气温 15.3℃。试验地土壤以微碱性潮土为主^[18],土壤湿润,土质分布均匀,周边区域以农业为主。主要乔木树种有杨树、柳树、泡桐(*Paulownia tomentosa*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)。

1.2 样地设置和采样方法

试验地为 2006 年河道整治形成地势平坦的河岸缓冲带,宽约 40 m,长约 6 km,沿河道依次营造长 2 km 林龄相同杨树纯林(PPP)、柳树纯林(PWP)和杨柳混交林(PWM)。杨树品种为“46-杨”,柳树品种为“苏柳 172”,林龄为 15 a,初始营造密度为 500 株/hm²。杨树纯林、柳树纯林、杨柳混交林下皆有天然更新的灌木和草本,其中灌木主要有枸杞(*Lycium chinense*)、苕麻(*Boehmeria nivea*)等;草本植物主要有狗尾草(*Setaria viridis*)、沼生水马齿(*Callitriche palustris*)等。试验地基本概况见表 1。

采样时间为 2022 年 3 月。每种植被类型分别设置 3 个面积为 20 m×20 m 的标准样地,每个标准样地间距大于 300 m,根据试验地踏勘情况,设置撂荒地对照(CK),样地布设同上,撂荒地植被以狗尾草等草本植

物为主。在每个标准样地中按“S”型选取 5 个采样点挖掘土壤剖面,去除地表凋落物,分 0—20 cm,20—40 cm 和 40—60 cm 3 个土壤层次分别采集土壤样品,将各土层样品充分混匀,作为该标准样地的样品,用于测定土壤基本理化性质。在每个采样点以同样方法分 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 3 个土壤层次分别采集原状土 500 g,装在塑料盒中带回实验室,自然风干,并在风干过程中按自然结构剥成小土块,并用镊子除去土样中的树根和石块。

风干后采用 Elliot^[19] 的土壤团聚体湿筛法将 200 g 原状土通过一套 2 mm,0.25 mm 和 0.053 mm 的 3 个筛子,得到>2 mm,0.25~2 mm,0.053~0.25 mm 和<0.053 mm 的 4 个粒径团聚体组分,烘干后称重,用于计算各组分的质量分数和团聚体稳定性指标。使用内径为 9 cm、高为 20 cm 的根钻,在 5 个采样点分 3 个土壤层次分别采集 1 份土芯,混合为一份装袋,带回实验室用 0.2 mm 细筛淘洗,筛选出直径<2 mm 的细根。在每个标准样地中随机选取 3 个 1 m×1 m 的小样方,收集各小样方地表凋落物混合为该标准样地的凋落物样。

表 1 试验地基本概况
Table 1 Basic information of the sample plots

植被类型	林分密度/ (株·hm ⁻²)	平均 胸径/cm	平均 树高/m	郁闭度	凋落物 厚度/cm	细根生物量/ (t·hm ⁻²)	细根碳储量/ (t·hm ⁻²)	凋落物生物量/ (t·hm ⁻²)	凋落物碳储量/ (t·hm ⁻²)
杨树纯林	500	28.8±1.6A	16.8±0.6A	0.9	2.2	8.55±0.63A	3.87±0.29A	12.89±0.01A	5.49±0.19A
柳树纯林	500	14.9±2.3B	7.2±0.4C	0.4	1.3	4.57±0.77B	2.05±0.35B	8.85±2.61B	3.86±0.61B
杨柳混交林	500	22.3±4.5AB	13.5±1.5B	0.7	1.5	4.00±0.95B	1.65±0.37B	9.99±0.76B	4.35±0.19AB
对照	—	—	—	—	0.2	1.14±0.05C	0.45±0.02C	2.86±1.38C	1.21±0.35C

注:数据为“平均值±标准误”。不同大写字母表示相同土层不同植被类型之间差异显著($p<0.05$),下同。

1.3 指标测定

土壤、凋落物和细根的全碳和全氮含量运用元素分析仪(Elementar Vario EL, Germany)测定,团聚体各粒径有机碳采用重铬酸钾氧化—外加热法测定。其余土壤理化指标参考鲍士旦^[20]的分析方法。容重和含水率采用环刀法测定,pH 值采用电位法(水土比为 2.5:1)测定,全磷采用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法测定,土壤全钾采用氢氧化钠熔融—火焰光度

法测定,土壤基本理化性质见表 2。

1.4 数据处理和结果与分析

$R_{0.25}$,MWD,GMD 和 D 的计算方法见参考文献^[21-22]。用 Excel 2019 进行 $R_{0.25}$,MWD,GMD 和 D 的计算和数据整理,用 SPSS 21 进行统计分析,用方差分析(ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较土壤团聚体粒径分布、团聚体稳定性和有机碳含量差异,统计图用 Origin 2018 制作。

表 2 试验地土壤理化性质
Table 2 Physical and chemical properties of soil in the sample plots

植被类型	全碳/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碳氮比	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	pH	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	含水率/%
杨树纯林	12.80±0.36B	0.58±0.01A	22.93±0.51B	1.46±0.04A	18.93±0.71B	8.27±0.10AB	1.58±0.04A	18.87±2.09A
柳树纯林	12.97±0.16B	0.49±0.03B	26.93±1.61B	1.52±0.02A	20.80±0.23A	8.39±0.04A	1.59±0.01A	16.77±1.25A
杨柳混交林	13.02±0.24B	0.54±0.02AB	24.92±1.67B	1.51±0.03A	19.69±0.42AB	8.21±0.13AB	1.59±0.07A	20.53±2.08A
对照	14.16±0.08A	0.34±0.01C	43.44±2.53A	1.55±0.04A	19.98±0.27AB	8.09±0.02B	1.56±0.03A	21.49±0.12A

注:土壤理化性质数据为 0—20,20—40,40—60 cm 3 个土壤层次的平均值。

2 结果与分析

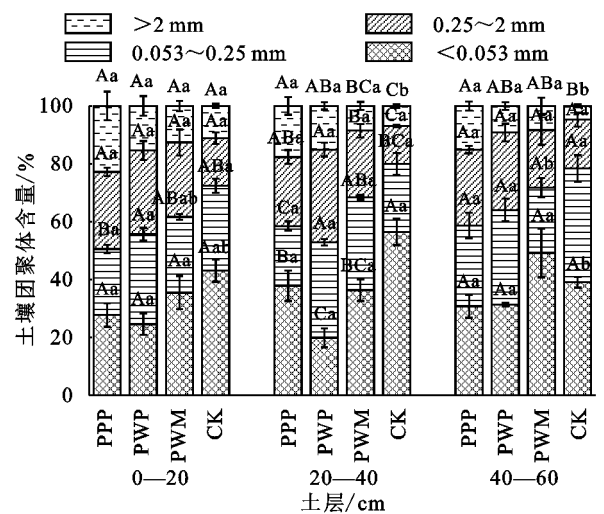
2.1 不同植被类型下土壤团聚体粒径组成

由图 1 可知,试验地 3 种植被类型和对照土壤水稳性团聚体含量在不同粒径间存在差异,呈现随粒径减小而增大趋势。试验地土壤以<0.25 mm 微团聚体为主,>2 mm 和 0.25~2 mm 粒径土壤团聚体含量范围分别为 4.76%~22.85%和 13.10%~31.95%,在不同植被类型间均有显著差异($p<0.05$),表现为 3 种植被类型高于对照;其中>2 mm 团聚体含量在各土层间均表现为杨树纯林>柳树纯林>杨柳混交林>对照。3 种植被类型和对照>2 mm 和 0.25~2 mm 粒径土壤团聚体含量随土层增加而降低,0.053~0.25 mm 和<0.053 mm 团聚体含量整体随土层增加而增加。

2.2 不同植被类型下土壤团聚体稳定性的差异

如图 2 所示,湿筛法获得的土壤水稳性团聚体 $R_{0.25}$, MWD 和 GWD 范围分别为 20.00%~49.67%, 0.35~0.81 mm 和 0.13~0.37 mm,在不同植被类型间具有显著性差异($p<0.05$)。各土层 $R_{0.25}$, MWD 和 GMD 表现出相似的变化趋势。与对照相比,3 种植被类型 $R_{0.25}$, MWD 和 GMD 分别提高了 41.77%~91.28%, 29.89%~79.08%和 37.60%~94.32%,其中杨树纯林提升效果最好。其中 0—20 cm 和 40—60 cm 土层均为杨树纯林提升效果最好,在 20—40 cm

土层表现为柳树纯林提升效果最好,3 种植被间团聚体稳定性无显著差异。随土层降低, $R_{0.25}$, MWD 和 GMD 呈现降低趋势,但在土层间无显著性差异。分形维数 D 范围为 2.59~2.86,与对照相比, D 分别降低了 1.69%~5.77%;其中杨树纯林和柳树纯林与对照存在显著性差异($p<0.05$)。随土层变化, D 无明显规律。



注:不同大写字母表示相同土层不同植被类型之间差异显著($p<0.05$)。不同小写字母表示相同植被类型不同土层之间差异显著($p<0.05$),下同。

图 1 不同植被类型下土壤团聚体含量

Fig. 1 Soil aggregate content in different vegetation types

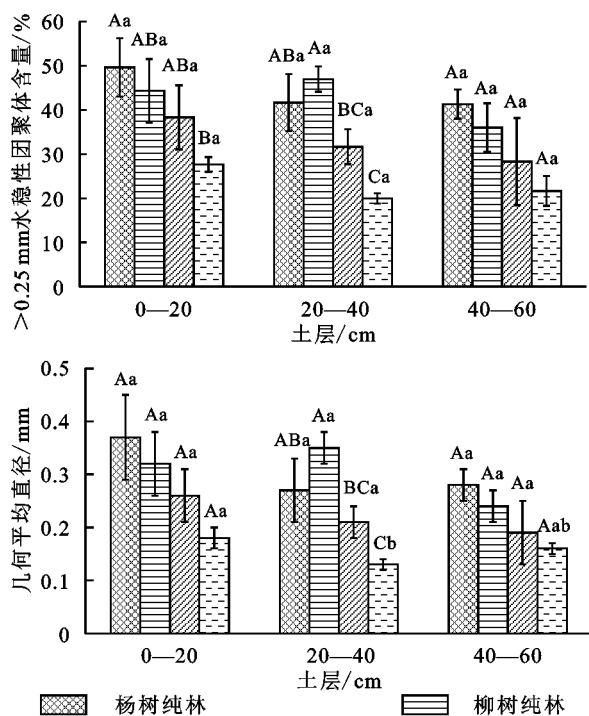


图 2 不同植被类型下土壤团聚体稳定性指标

Fig. 2 Indexes of soil aggregate stability in different vegetation types

2.3 不同植被类型下土壤团聚体有机碳含量特征

如图 3 所示,3 个土层深度土壤团聚体有机碳含量

范围为 1.51~6.48 g/kg。与对照相比,3 种植被类型下土壤团聚体有机碳含量提高了 31.67%~71.68%,杨树

纯林土壤团聚体有机碳含量显著高于柳树纯林和杨柳混交林($p<0.05$)。土壤团聚体有机碳含量随粒径降低而降低,说明大粒径团聚体能保护更多的有机碳。

0—20 cm 土层土壤团聚体有机碳含量范围为 1.97~6.48 g/kg,3 种植被类型各粒径团聚体有机碳含量均高于对照。杨树纯林和柳树纯林>2 mm 粒径团聚

体有机碳显著高于杨柳混交林和对照($p<0.05$)。20—40 cm 和 40—60 cm 土层团聚体有机碳含量变化范围分别为 1.59~5.44 g/kg 和 1.51~3.75 g/kg,其中 3 种植被类型>2 mm 和 0.25~2 mm 粒径团聚体有机碳含量为柳树纯林>杨树纯林>杨柳混交林,且杨树纯林和柳树纯林均显著高于对照($p<0.05$)。

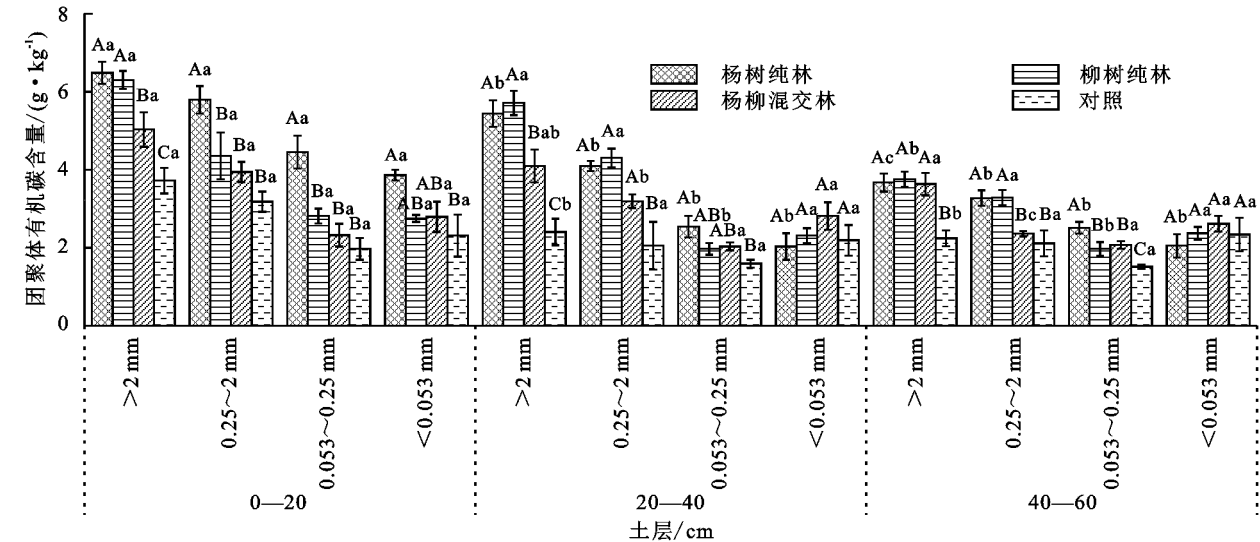


图 3 不同植被类型下土壤团聚体有机碳含量

Fig. 3 Organic carbon content of soil aggregate in different vegetation types

2.4 土壤团聚体稳定性和有机碳含量的相关性

如图 4 所示,土壤团聚体稳定性与总有机碳含量(TOC)显著相关。>2 mm 和 0.25~2 mm 粒径团聚体

有机碳含量与土壤团聚体稳定性的相关性大于 0.25~2 mm 和 0.053~0.25 mm 粒径团聚体有机碳含量,说明有机碳主要作用于大团聚体的形成和稳定。

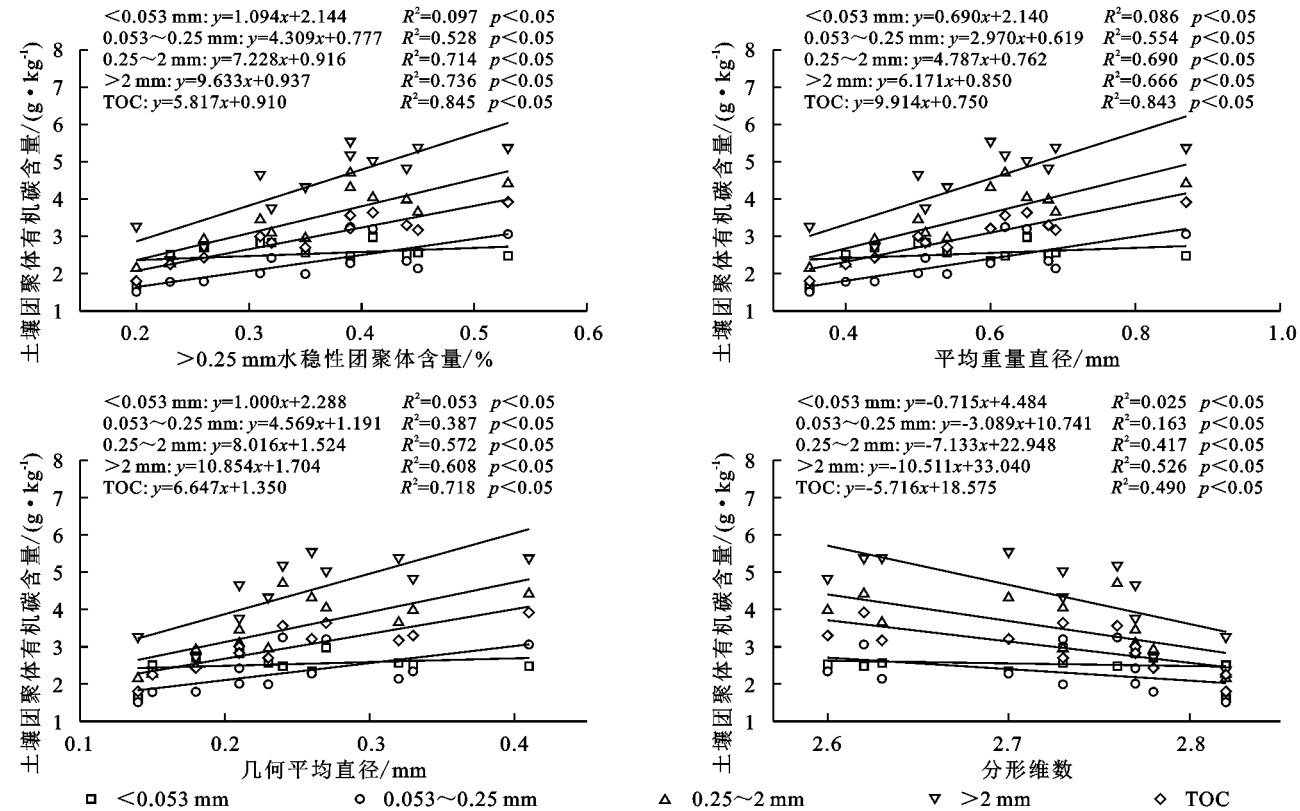


图 4 土壤团聚体稳定性指标与有机碳含量的相关关系

Fig. 4 Linear regression correlation of organic carbon and indexes of soil aggregation

2.5 土壤团聚体稳定性和环境因子的相关性

由图 5 可知,环境因子中细根生物量、全氮含量、碳氮比和土壤含水率是影响土壤团聚体稳定性重要指标。其中细根生物量和土壤全氮含量与 $R_{0.25}$ 、

MWD、GMD 呈正相关关系,与 D 呈负相关关系;土壤碳氮比和含水量与 $R_{0.25}$ 、MWD、GMD 呈负相关关系,与 D 呈正相关关系。

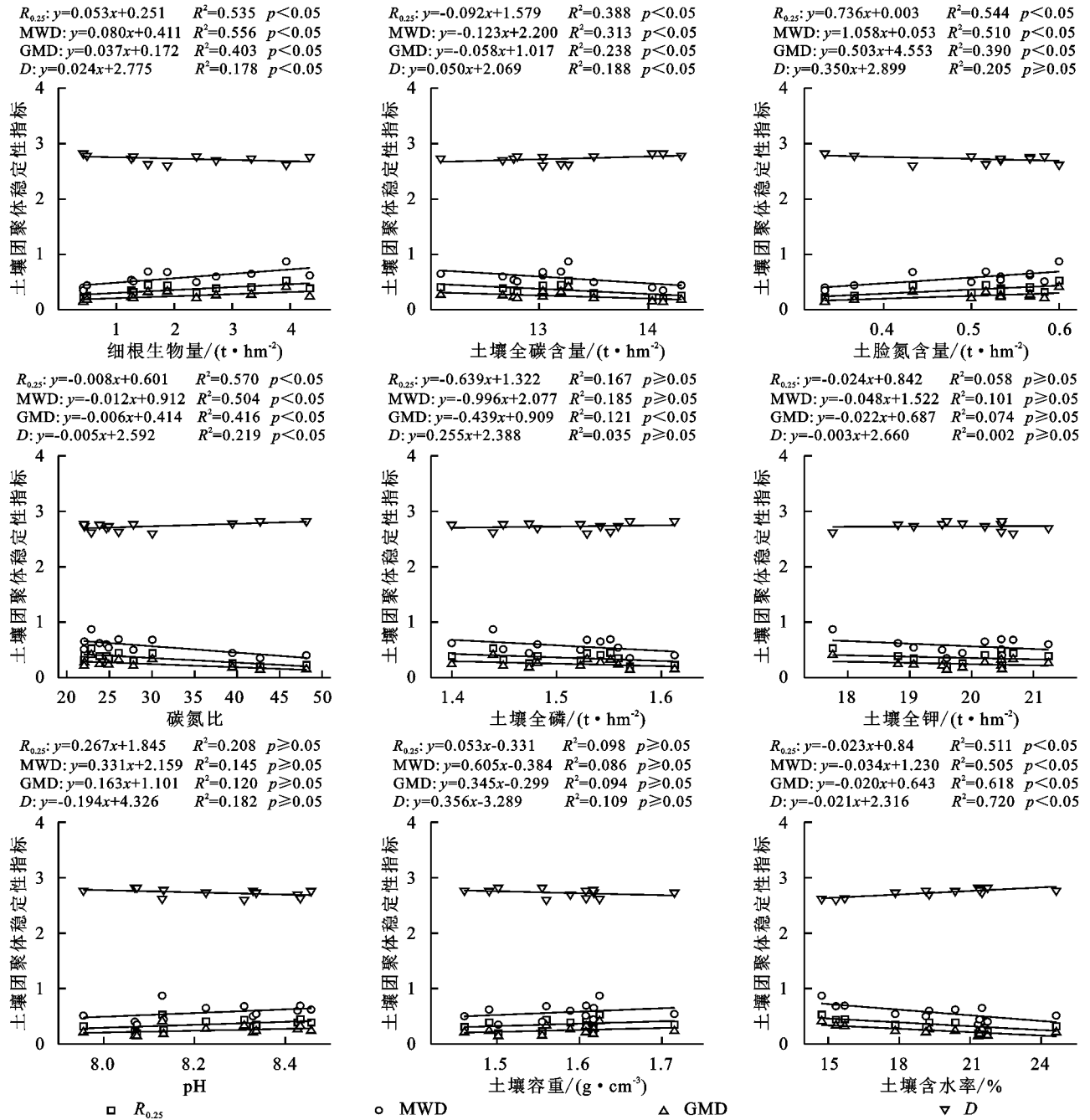


图 5 土壤团聚体稳定性指标与环境因子的相关关系

Fig. 5 Linear regression correlation between indexes of soil aggregate stability and environmental factors

3 讨论

3.1 不同植被类型对土壤团聚体粒径分布的影响

本研究中,各植被类型下土壤团聚体主要以 <0.25 mm的微团聚体形式存在,质量分数变化范围为50.33%~80.00%,说明沙土区土壤稳定性较低,抗侵蚀能力较差,与胡磊等^[23]在黄土丘陵区的研究结

果一致。一般来说,土壤大团聚体含量与有机质呈正相关^[24],本研究地为沙土区,土壤有机质水平较低(图 3),并且试验地为河岸带,土壤含水率较高,易受地表径流侵蚀,不利于大团聚体的形成。本研究发现,植被覆盖可以提高各土层大团聚体含量,促进了黏粉粒和微团聚向大团聚体转变,这与刘雷等^[25]研究结果一致。其原因主要是营造人工林增加了地表

凋落物和细根生物量(表1),提高了土壤有机质水平,增加了土壤颗粒间的黏聚力^[4],从而促进大团聚体的形成。此外,人工林具有较高的郁闭度和凋落物厚度(表1),可以通过林冠截留和凋落物覆盖,降低雨水动能,避免水滴的击溅侵蚀和地表径流冲刷,减少了土壤大团聚体的破坏,同时植被恢复也降低了土壤含水率(表2和图5),削弱了土壤颗粒表面的结合水膜,增加了土壤颗粒—水—空气界面的粘附,从而促进了颗粒间的凝聚^[26]。在3种植被类型中,杨树纯林 $>2\text{ mm}$ 土壤团聚体质量分数最高,其原因是杨树是速生喜湿树种,对困难立地适应能力更强,河岸带较高的土壤含水率也满足了其水分需求,加速其生长,因此根系较其他两种植被类型更为发达,通过根系交错、缠绕和释放分泌物提高了团聚体稳定性^[27]。此外,杨树纯林较高的郁闭度造成林下光照弱,净降雨量少,降低了土壤水分入渗和蒸发过程,削弱了干湿交替引发的土壤团聚体破碎^[28]。

3.2 不同植被类型对土壤团聚体稳定性的影响

土壤团聚体稳定性指标 MWD 和 GWD 值越大, D 值越低,表明土壤团聚度越高,土壤结构越稳定^[22,29]。本研究发现3种植被类型均能提高土壤团聚体稳定性,其中杨树纯林提升效果最好。结合线性回归分析,表明大团聚体有机碳含量是影响不同植被类型中团聚体稳定的主要因素(图4)。团聚体形成需要有机质等胶结物质参与,大团聚体主要是微团聚体通过有机质胶结形成^[1]。当土壤有机质含量较低时,铁铝氧化物的胶结作用起主导作用,而沙土区有机质水平较低。有研究发现^[30],土壤氮素含量的不足会导致土壤有机碳矿化能力加强。杨树纯林中相对较高的土壤氮素含量无法刺激土壤有机碳的矿化,反而促进了土壤团聚体的稳定(图5)。此外,杨树纯林降低了土壤碳氮比,有利于微生物生长发育,而微生物活动产生的多糖和疏水物质是团聚体形成的重要胶结物质^[31],能够将土壤小颗粒黏聚成较大的团聚体,有效提高土壤团聚稳定性(表2和图5)。0—20 cm 土层杨树纯林土壤团聚体稳定性最好,主要是因为杨树纯林根系主要集中于地表,且有更多的枯枝落叶,表土层有机碳含量更高,随着土层加深,地表凋落物影响降低,柳树纯林较深的根系及分泌物可能提供了更高的土壤有机质含量,从而使得20—40 cm 土层柳树纯林团聚体稳定性更高。本研究中,土壤团聚体稳定性随土层加深呈下降趋势,这是因为凋落物和根系主要集中于地表,使得表层土壤有机质含量较

高,有利于团聚体的形成和稳定,随土层加深,有机质水平下降,团聚体稳定性下降。

3.3 不同植被类型对土壤团聚体有机碳的影响

相同立地条件下,植被自身生物学和生态学特性对土壤有机碳的积累和含量影响显著^[32]。研究区3种植被类型中,杨树纯林生长状况最好,郁闭度最高,地上凋落物生物量高于其他植被类型,在提高土壤有机碳输入的同时减少雨水对土壤团聚体的侵蚀破坏,降低了团聚体中有机碳的周转速率^[33],因此杨树纯林团聚体有机碳含量显著高于柳树纯林和混交林。3种植被类型和对照凋落物和根系多分布于表层,分解产出的有机质多集中于表层,随土层增加,各粒径团聚体有机碳含量有所下降。土壤团聚体各粒径有机碳分布反映了团聚体对有机碳的保护作用^[34]。3种植被类型土壤团聚体有机碳含量均表现为 $>2\text{ mm}$ 大团聚体有机碳含量最高,这与王冰等^[3]研究结果一致。因为植被提高土壤有机碳含量促进微团聚体形成大团聚体的同时,使得有机碳向大团聚体集中,且大团聚体的形成有助于微团聚体更好地保护颗粒有机质。

4 结论

综上所述,杨树纯林通过增加凋落物和细根生物量提高土壤有机碳含量,促进了大团聚体形成,并且其高郁闭度和丰富的地表凋落物降低了雨水对土壤的击溅侵蚀、地表径流冲刷作用,减少了大团聚体的破坏。杨树纯林也通过增加土壤氮含量,降低土壤含水率和碳氮比,提高土壤团聚体稳定性。因此,在苏北平原沙土区河岸带植被构建中,杨树纯林更有利于提高河岸带土壤团聚体稳定性,增加土壤抗蚀能力。

参考文献:

- [1] Six J, Bossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between(micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J]. Soil & Tillage Research, 2004,79(1):7-31.
- [2] Zhu G Y, Shangguan Z P, Deng L. Variations in soil aggregate stability due to land use changes from agricultural land on the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2021,200:105181.
- [3] 王冰,张鹏杰,张秋良.不同林型兴安落叶松林土壤团聚体及其有机碳特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2021,45(3):15-24.
- Wang B, Zhang P J, Zhang Q L. Characteristics of the soil aggregate and its organic carbon in different *Larix gmelinii* forest types[J]. Journal of Nanjing Forestry University

- (Natural Sciences Edition), 2021, 45(3): 15-24.
- [4] Kabir E B, Bashari H, Mosaddeghi M R, et al. Soil aggregate stability and organic matter as affected by land-use change in central Iran[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2017, 63(13): 1823-1837.
- [5] An S, Mentler A, Mayer H, et al. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2010, 81(3): 226-233.
- [6] 任荣秀, 杜章留, 孙义亨, 等. 华北低丘山地不同土地利用方式下土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6991-6999.
- Ren R X, Du Z L, Sun Y H, et al. Soil aggregate and its organic carbon distribution characteristics at different land use patterns in hilly areas of north China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(19): 6991-6999.
- [7] Ayoubi S, Karchegani P M, Mosaddeghi M R, et al. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran[J]. Soil and Tillage Research, 2012, 121: 18-26.
- [8] Wang Y, Ran L, Fang N, et al. Aggregate stability and associated organic carbon and nitrogen as affected by soil erosion and vegetation rehabilitation on the loess plateau[J]. Catena, 2018, 167: 257-265.
- [9] 李娟, 廖洪凯, 龙健, 等. 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2147-2156.
- Li J, Liao H K, Long J, et al. Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2147-2156.
- [10] 崔蕊蕊, 张嘉良, 王云琦, 等. 甘肃小陇山林区不同林分对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(4): 275-281.
- Cui X R, Zhang J L, Wang Y Q, et al. Effect of different forests on the soil aggregate stability in Xiaolongshan forest region of Gansu province[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(4): 275-281.
- [11] 章明奎, 何振立. 成土母质对土壤团聚体形成的影响[J]. 热带亚热带土壤科学, 1997, 6(3): 198-202.
- Zhang M K, He Z L. Effect of parent materials on formation of soil aggregates[J]. Tropical and Subtropical Soil Science, 1997, 6(3): 198-202.
- [12] 徐蛟, 王良杰. 江苏省平原沙土区河道生态提升建设探索[J]. 中国水利, 2020(23): 42-43, 4.
- Xu J, Wang L J. Improvement of river ecosystem in sandy soil area of plain in Jiangsu Province[J]. China Water Resources, 2020(23): 42-43, 4.
- [13] Luke S H, Slade E M, Gray C L, et al. Riparian buffers in tropical agriculture: Scientific support, effectiveness and directions for policy[J]. Journal of Applied Ecology, 2019, 56(1): 85-92.
- [14] 邓越, 唐代生, 李裕元, 等. 亚热带典型农林混合流域河岸带景观格局对河流磷输出的影响[J]. 水土保持学报, 2022, 36(3): 64-70.
- Deng Y, Tang D S, Li Y Y, et al. Influences of riparian landscape pattern on river phosphorus output in typical subtropical agroforestry mixed watershed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(3): 64-70.
- [15] 赵清贺, 冀晓玉, 徐珊珊, 等. 河岸植被对坡面径流侵蚀产沙的阻控效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(13): 170-178.
- Zhao Q H, Ji X Y, Xu S S, et al. Inhibiting effect of riparian vegetation on erosion and sediment yield of slope runoff[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(13): 170-178.
- [16] 蔡雅梅, 冯民权. 汾河河岸带土壤氮、磷的时空分布规律及其影响因素研究[J]. 水土保持学报, 2021, 35(4): 222-229, 236.
- Cai Y M, Feng M Q. Study on the spatial and temporal distribution and influencing factors of soil nitrogen and phosphorus in riparian zones of Fenhe River[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(4): 222-229, 236.
- [17] 王宪伟, 谭稳稳, 宋长春, 等. 大兴安岭北部多年冻土区河岸森林湿地土壤性质和微生物呼吸活性特征[J]. 应用生态学报, 2021, 32(12): 4237-4246.
- Wang X W, Tan W W, Song C C, et al. Soil properties and microbial activities of riparian forest wetland in the north of permafrost zone, the Great Hing' an Mountains, Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(12): 4237-4246.
- [18] 全国土壤普查办公室. 中国土种志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993.
- Office of the national soil survey. Land records in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993.
- [19] Elliott, E. T. Aggregate Structure and Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Native and Cultivated Soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1986, 50(3): 627-633.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- Bao S D. Soil Agro-Chemical analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

- [21] 杨洪炳,肖以华,李明,等.典型城市森林旱季土壤团聚体稳定性与微生物胞外酶活性耦合关系[J].生态环境学报,2021,30(10):1976-1989.
- Yang H B, Xiao Y H, Li M, et al. Coupling relationship between soil aggregate stability and microbial extracellular enzyme activities in typical urban forests during the dry season[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021,30(10):1976-1989.
- [22] 杨培岭,罗远培,石元春.用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J].科学通报,1993,38(20):1896-1899.
- Yang P L, Luo Y P, Shi Y C. Fractal characteristics of soil characterized by the weight distribution of particle size [J]. Chinese Science Bulletin, 1993,38(20):1896-1899.
- [23] 胡磊,余冬立,杨震.晋西北黄土丘陵区小流域土壤团聚体稳定性及其分异特征[J].水土保持研究,2022,29(1):72-77.
- Hu L, She D L, Yang Z. Stability of soil aggregates and its differentiation characteristics in small watersheds in loess hilly region of Northwestern Shanxi[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022,29(1):72-77.
- [24] 王小红,杨智杰,刘小飞,等.天然林转换成人工林对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J].水土保持学报,2014,28(6):177-182,189.
- Wang X H, Yang Z J, Liu X F, et al. Effects of natural forest converted to plantations on soil organic carbon distribution and stability of aggregates in middle-subtropics of China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014,28(6):177-182,189.
- [25] 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.
- Liu L, An S S, Huang H W, et al. Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetation on the loess plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013,33(20):6670-6680.
- [26] 王金晓,胡斐南,许晨阳,等.基于流变学法研究容重和含水率对土壤结构力学稳定性的影响[J].农业工程学报,2021,37(19):147-155.
- Wang J X, Hu F N, Xu C Y, et al. Effects of soil bulk density and water content on the mechanical stability of soil structure using rheological method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(19):147-155.
- [27] Li Q, Liu G B, Zhang Z, et al. Relative contribution of root physical enlacing and biochemical exudates to soil erosion resistance in the Loess soil[J]. Catena, 2017,153:61-65.
- [28] 刘艳,马茂华,吴胜军,等.干湿交替下土壤团聚体稳定性研究进展与展望[J].土壤,2018,50(5):853-865.
- Liu Y, Ma M H, Wu S J, et al. Soil aggregates as affected by wetting-drying cycle: A review[J]. Soils, 2018,50(5):853-865.
- [29] 陈静,陈海,朱大运,等.石漠化地区林草复合治理对土壤团聚体稳定性和可蚀性的影响[J].水土保持研究,2020,27(4):1-7.
- Chen J, Chen H, Zhu D Y, et al. Effects of combined governance using forest and grass on stability and erosibility of soil aggregates in rock desertification area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020,27(4):1-7.
- [30] 刘宝,吴文峰,何盛强,等.不同林龄闽楠林土壤呼吸与碳储量研究[J].森林与环境学报,2018,38(4):431-438.
- Liu B, Wu W F, He S Q, et al. Study on the soil respiration and carbon reserve in different age stands of *Phoebe bournei* [J]. Journal of Forest and Environment, 2018,38(4):431-438.
- [31] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. European Journal of Soil Science, 1982,33(2):141-163.
- [32] 李鑫,马瑞萍,安韶山,等.黄土高原不同植被带土壤团聚体有机碳和酶活性的粒径分布特征[J].应用生态学报,2015,26(8):2282-2290.
- Li X, Ma R P, An S S, et al. Characteristics of soil organic carbon and enzyme activities in soil aggregates under different vegetation zones on the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(8): 2282-2290.
- [33] Delelegn Y T, Purahong W, Blazevic A, et al. Changes in land use alter soil quality and aggregate stability in the highlands of northern Ethiopia [J]. Scientific Reports, 2017,7(1):1-12.
- [34] 王冰,周扬,张秋良.兴安落叶松林龄对土壤团聚体分布及其有机碳含量的影响[J].生态学杂志,2021,40(6):1618-1628.
- Wang B, Zhou Y, Zhang Q L. Effects of *Larix gmelinii* stand age on composition and organic carbon content of soil aggregates[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021,40(6):1618-1628.