

坡面植被类型对土壤团聚体的影响

王小云 (山西省水土保持科学研究所, 山西太原 030045)

摘要 [目的]了解不同植被状况下土壤团聚体粒径分布、团聚体特征和差异以及团聚体破碎状况。[方法]采用研究区确定、取样、室内干筛-湿筛、统计分析和归纳总结方法研究坡面植被类型对土壤团聚体的影响。[结果]植被类型对>1.00~2.00 mm 粒级没有影响,对其余 5 个粒级均有影响。50 g 土壤中各粒级均值为 3.03~20.65 g,各粒级质量分数大小顺序依次为≤0.25、>2.00~5.00、>5.00、>0.50~1.00、>0.25~0.50、>1.00~2.00 mm。每 50 g 土壤中,水稳性团聚体各粒级质量分数均值为 1.94~36.09 g,其中>2.00~5.00 mm 粒级最少,约占总量的 30%,≤0.25 mm 粒级最大,超过总量的 70%。团聚体破碎率为 20.34%~70.17%,均值为 49.55%,5 种植被类型中大小顺序依次为柠条、欧李、侧柏、苜蓿、油松。[结论]受植物种类影响,土壤中团聚体各粒径分布存在差异,而且植被类型对大部分团聚体粒径分布存在影响。

关键词 植被类型;粒径;团聚体;水稳性团聚体;破碎率

中图分类号 S 152 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)12-0067-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.12.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Ground Vegetation Types on Soil Aggregate

WANG Xiao-yun (Shanxi Institute of Soil and Water Conservation, Taiyuan, Shanxi 030045)

Abstract [Objective] To understand the particle size distribution characteristics, distribution differences and broken state of the aggregates under different vegetation conditions. [Method] Effect of vegetation types on soil aggregate was studied by determination of the study area, sampling, dry screening-wet screening experiment, statistical analysis, summary and conclusion. [Result] Vegetation types had no significant effects on the >1.00–2.00 mm particle size, and had significant effects on the other 5 particle sizes. The average of particle size was from 3.03 to 20.65 g, and the order of mass fraction of each particle size was ≤0.25, >2.00–5.00, >5.00, >0.50–1.00, >0.25–0.50, >1.00–2.00 mm. In every 50 g soil, the average mass fraction of water-stable aggregates of each particle was from 1.94 to 36.09 g. The mass fraction of 2.00–5.00 mm was the smallest, accounting for about 30% of the total, ≤0.25 mm was the largest, exceeding the 70% of the amount. The breaking rate of soil aggregate was 20.34%–70.17%, and the mean was 49.55%, and the order was *Caragana korshinskii* > *Prunus humilis* > *Platycladus orientalis* > *Alfalfa* > *Pinus tabulaeformis*. [Conclusion] Affected by vegetation types, there are differences among different particle size distribution of aggregates. The vegetation type has a significant effect on most of the particle size distribution.

Key words Vegetation type; Particle size; Aggregate; Water-stable aggregates; Breaking rate

土地是人类赖以生存的基本条件,是人类生存发展的基础。同时人类活动对土地以及土壤性质等均存在着显著的影响。土壤性质是人与自然不断相互作用的综合过程,不同的土地利用方式对土壤基本性质有不同程度的影响,进而影响其他理化性质^[1]。国内外许多学者对不同土地利用方式与土壤性质做了大量研究,结果表明土地利用方式与土壤理化性质密切相关^[2-3]。笔者通过比较分析在侧柏、披碱草混交地,欧李、柠条、苜蓿、油松 5 种不同土地利用方式下土壤颗粒的分布状况和特点,找到在不同土地利用方式下土壤粒级的差异性,有利于今后能更好地改良土壤,保土保肥,促进农林业发展。

1 研究区概况

1.1 研究区概况 项目在山西吕梁离石王家沟村山西省水土保持科学研究所试验场(37°21′~37°42′N, 110°55′~111°35′N)进行。试验场位于王家沟村官道梁,地处山西省西部,

吕梁山脉中段西侧,是典型的黄土丘陵沟壑地形地貌,是全国最严重的土壤侵蚀地区之一。研究区属温带大陆性气候区,四季分明,年平均气温为 8.9℃左右,年平均降雨量为 460.4 mm。

试验区位于试验场西北角,是一个坡度为 12°左右的坡面。1992—1995 年为了进行坡面水土保持植物措施方面的研究,在坡面上按照矩形条状种植了侧柏、欧李、柠条、苜蓿和油松 5 种植物,并一直保留到现在。侧柏、欧李、柠条和油松采用小鱼鳞坑方式种植,苜蓿采用条播方式种植。5 种植物地块均为长方形一字排列种植,每种植物面积约 120 m²,地块间留有宽为 60 cm 的通行道路,使得 5 个地块相互独立,互不影响。

2016 年 5 月对试验地进行了调查,调查表明通过多年生长,侧柏、欧李、柠条和油松保留完整,生长状况良好;柠条经过多次平茬,长势良好。苜蓿有部分死亡,存活率为 60%左右。侧柏、欧李、柠条和油松地里生长有铁杆蒿、披碱草、芨芨草、狗尾巴草、鬼针草等草本植物。苜蓿地里生长有黄花蒿、披碱草、狗尾巴草、马齿苋等。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤取样 2016 年春天,在试验地侧柏、柠条和苜蓿地划定采样区(2 m×5 m),按照矩形取样法在每块样地选取 5 个土壤样品,剔除石块、树根等杂物,编号后放入塑料自封袋,置于保温箱带回实验室。将同一块地的 5 个样品各称取 500 g 混匀,作为试验用土样。

基金项目 山西省重点研发计划项目“外源砷介导的黄瓜耐镉胁迫机理的研究”(201903D221066);山西省水利科学技术项目“不同坡度坡耕地氮素流失特征及对河流水质影响的研究”(201629)、“黄土丘陵沟壑区坡面土壤侵蚀动态模型研究”(2017SB03)、“保水剂对吕梁山区坡耕地土壤侵蚀过程及作物生长的影响研究”(SZ202011);2017、2018 和 2019 年山西省科技厅实验室建设资助项目(2017013、2018010、2019008)。

作者简介 王小云(1980—),男,山西兴县人,正高级工程师,博士,从事土壤侵蚀和面源污染研究。

收稿日期 2019-11-18

1.2.2 测试分析方法。土壤团聚体采用干筛法进行。将取样的风干土壤均匀混合,取其中一部分通过孔径为 10.00、5.00、2.00、1.00、0.50、0.25 mm 的筛子进行筛分。筛分完成后将<0.25 mm 的土样进行称重,计算干筛中各级团聚体占土样总量的百分比含量,然后按每种粒径的土样进行配比,配比总质量 50 g,供湿筛时使用。

水稳性团聚体采用干筛-湿筛法进行^[4]。将干筛后配比较好的土样放入团聚体分析仪上进行湿筛分析。湿筛分析仪套筛孔径从大到小依次为 5.00、2.00、1.00、0.50、0.25 mm。分析前将各粒级土壤样品置于 1 000 mL 量筒,并用洗瓶沿量筒壁慢慢将土壤湿润,等土壤全部湿润后缓慢加入水并迅速将量筒倒置于与土壤粒级相对应的套筛上,并用洗瓶将量筒清洗干净。依次将全部粒级土壤样品湿润并倾倒入对应的筛子后调整团聚体分析仪上下振幅为 3 cm,频率为 30 次/min,振荡时间为 0.5 min。振荡完毕后将各级筛上的团聚体洗入已知质量的烧杯中,烘干称重得出各粒级水稳性团聚体的质量。

采用 Microsoft Excel 进行图表及数据处理,通过 SPSS 13.0 软件对不同土地利用方式下土壤有机质及养分含量的差异性进行单因素方差分析(ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 土壤团聚体粒级分布 土壤团聚体是土壤的重要组成部分,影响了土壤的许多物理化学性质。对土壤质地、土壤可蚀性等具有重要的指示意义^[5-6]。对研究区 5 种地面植被状况影响下的土壤团聚体各粒级质量分数进行分析,结果见图 1。

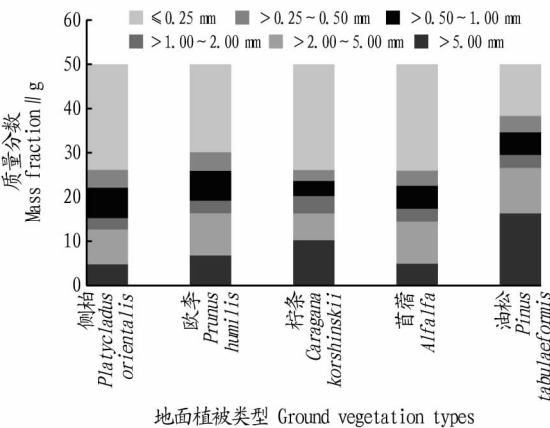


图 1 不同地面植被类型条件下土壤团聚体各粒级质量分数
Fig.1 Mass fraction of each particle of soil aggregates under different ground vegetation types

由图 1 可知,受到不同植被的影响,研究区土壤各粒级间差异较大。>5.00 mm 的土壤颗粒为 4.82~10.26 g,均值为 8.63 g;>2.00~5.00 mm 粒级为 7.88~10.27 g,均值为 8.65 g;>1.00~2.00 mm 粒级为 2.56~3.95 g,均值为 3.03 g;>0.50~1.00 mm 粒级 3.41~6.87 g,均值为 5.47 g;>0.25~0.50 mm 粒级为 2.45~4.22 g,均值为 3.65 g;≤0.25 mm 粒级为 11.65~24.03 g,均值为 20.65 g。从均值来看,各粒级质量分数大小依次为≤0.25、>2.00~5.00、>5.00、>0.50~1.00、>0.25~0.50、>1.00~2.00 mm。

受不同植被影响,土壤团聚体各粒级间质量分数不同,而且分布差异较大,因此对各粒级质量分数进行方差分析。

>5.00 mm 粒级方差分析中 F 为 2 347.71, P 为 0.00,小于 0.01,可见受到不同植被种类的影响土壤团聚体>5.00 mm 粒级间差异极显著;>2.00~5.00 mm 粒级方差分析中 F 为 443.54, P 为 0.00,小于 0.01,因此受到不同植被种类的影响,土壤团聚体在>2.00~5.00 mm 粒级间差异极显著;>1.00~2.00 mm 粒级方差分析中 F 为 2.73, P 为 0.09,大于 0.05,即植被种类对土壤团聚体>1.00~2.00 mm 粒级间不存在显著差异;>0.50~1.00 mm 粒级方差分析中 F 为 316.57, P 为 0.00,小于 0.01,即受到不同植被种类的影响,在>0.50~1.00 mm 粒级土壤团聚体间存在极显著差异;>0.25~0.50 mm 粒级方差分析中 F 为 86.45, P 为 0.00,小于 0.01,这表明受到植被种类的影响,土壤团聚体在此粒级范围内存在极显著差异;≤0.25 mm 粒级方差分析中 F 为 38.47, P 为 0.00,小于 0.01,这表明受到植被种类的影响,<0.25 mm 粒级团聚体之间存在极显著差异。

由以上分析可知,植被种类对土壤团聚体粒级具有重要影响,而且对各粒级间的影响程度不同。在>5.00、>2.00~5.00、>1.00~2.00、>0.50~1.00、>0.25~0.50 和≤0.25 mm 6 个粒级范围内,除>1.00~2.00 mm 粒级外,植被种类对其余 5 个粒级均有影响,而且差异显著。

2.2 土壤水稳性团聚体分布 土壤结构是土壤功能表现的基础,土壤团聚体的稳定性直接影响土壤表层的水-土界面行为,特别是与降雨入渗和土壤侵蚀关系密切,因此土壤水稳性团聚体的数量和特征反映了土壤结构的稳定性和抗侵蚀能力^[7-10]。

土壤团聚体和水稳性团聚体的状况是影响土壤肥力、结构和功能的重要因素^[11-13],用湿筛法测定土壤水稳性团聚体含量的结果见表 1。

表 1 水稳性团聚体粒级分布

地面植被类型 Ground vegetation types	各粒级水稳性团聚体重量 Weight of water-stable aggregates of each particle size//g						合计 Total//g
	>5.00 mm	>2.00~5.00 mm	>1.00~2.00 mm	>0.50~1.00 mm	>0.25~0.50 mm	≤0.25 mm	
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	2.67	1.93	2.18	3.56	4.21	35.45	50.00
欧李 <i>Prunus humilis</i>	2.46	2.71	3.82	4.18	4.59	32.24	50.00
柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	2.64	2.58	4.66	4.18	4.26	31.68	50.00
苜蓿 <i>Alfalfa</i>	1.14	1.87	2.08	2.75	3.26	38.90	50.00
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	1.66	0.61	0.88	4.22	0.43	42.20	50.00

由表 1 可知,侧柏、欧李、柠条、苜蓿和油松 5 种植被下,每 50 g 土壤中,>5.00 mm 粒径质量为 1.14~2.67 g,均值为 2.11 g,共 10.57 g;>2.00~5.00 mm 粒级质量为 0.61~2.71 g,均值为 1.94 g,共 9.70 g;>1.00~2.00 mm 粒级质量为 0.88~4.66 g,均值为 2.72 g,共 13.62 g;>0.50~1.00 mm 粒级质量为 2.75~4.22 g,均值为 3.78 g,共 18.89 g;>0.25~0.50 mm 粒级质量为 0.43~4.59 g,均值为 3.35 g,共 16.75 g;≤0.25 mm 粒

级质量为 31.68~42.20 g,均值为 36.09 g,共 180.47 g。从均值大小来看,≤0.25 mm 最大,其次为>0.50~1.00 mm 粒级,第三为>0.25~0.50 mm,第四为>1.00~2.00 mm,第五为>5.00 mm 粒级,>2.00~5.00 mm 粒级最小。

对 5 种植被状况下土壤水稳性团聚体各粒级质量百分比进行了计算,结果见表 2。

表 2 水稳性团聚体各粒级所占百分比
Table 2 Percentage of each particle size of water-stable aggregate

地面植被类型 Ground vegetation types	各粒级百分比 Percentage of each particle size//%						合计 Total//g
	>5.00 mm	>2.00~5.00 mm	>1.00~2.00 mm	>0.50~1.00 mm	>0.25~0.50 mm	≤0.25 mm	
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	5.34	3.86	4.36	7.12	8.42	70.90	100
欧李 <i>Prunus humilis</i>	4.92	5.42	7.64	8.36	9.18	64.48	100
柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	5.28	5.16	9.32	8.36	8.52	63.36	100
苜蓿 <i>Alfalfa</i>	2.28	3.74	4.16	5.50	6.52	77.80	100
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	4.23	3.88	5.45	7.56	6.70	72.19	100

从表 2 可知,>5.00 mm 粒径质量所占比例为 2.28%~5.34%,均值为 4.41%,其中侧柏地土壤所占比例最大为 5.34%,苜蓿地最小为 2.28%;>2.00~5.00 mm 粒级质量所占比例为 3.74%~5.42%,均值为 4.41%,其中苜蓿地最小为 3.74%,欧李地最大为 5.42%;>1.00~2.00 mm 粒级质量所占比例为 4.16%~9.32%,均值为 6.19%,其中苜蓿地最小为 4.16%,柠条地最大为 9.32%;>0.50~1.00 mm 粒级质量所占比例为 5.50%~8.36%,均值为 7.38%,其中苜蓿地最小为 5.50%,欧李地和柠条地最大均为 8.36%;>0.25~0.50 mm 粒级质量所占比例为 6.52%~9.18%,均值为 7.87%,其中苜蓿地最小为 6.52%,欧李地最大为 9.18%;≤0.25 mm 粒级质量所占比例为 63.36%~77.80%,均值为 69.75%,其中柠条地最小为 63.36%,苜蓿地最大为 77.80%。

由以上分析可知,土壤水稳性团聚体中超过 70%的是 ≤0.25 mm 的微团聚体,而大于 0.25 mm 的水稳性团聚体约占 30%。大于 0.25 mm 的水稳性团聚体中>0.50~1.00 mm 粒级所占比例最大,其次为>0.25~0.50 mm 粒级,第三为>1.00~2.00 mm 粒级,第四为>5.00 mm 粒级,而>2.00~5.00 mm 粒级所占比例最少。

植被对土壤中水稳性团聚体粒级分布具有一定的影响,而且不同粒级间存在差异,但均表现为≤0.25 mm 粒级微团聚体约占总量的 70%,其余粒级则存在差异。如除去 ≤0.25 mm 粒级外,侧柏地、欧李和苜蓿 3 种植被状况下均为>0.25~0.50 mm 粒级所占比例最高,其次为>0.50~1.00 mm 粒级,而柠条则在>1.00~2.00 mm 粒级最大,其次为>0.25~0.50 mm 粒级,第三为>0.50~1.00 mm 粒级。油松地则在>0.50~1.00 mm 粒级所占比例最大,其次为>5.00 mm 粒级,第三为>1.00~2.00 mm 粒级。尽管不同植被状况下,水稳定团聚体各粒级分布不相同,但主要集中在>0.25~0.50、>0.50~1.00 mm 这 2 个粒级。

2.3 土壤团聚体破碎率 土壤结构的破坏主要是土壤团聚体结构的破坏。国内外专家学者对此作了大量研究。结果表明:具有良好的水稳性土壤团聚体结构性能的土壤具有良

好的抗侵蚀性^[8,14-16]。土壤团聚体结构的破坏受多方面因素的影响,如与土壤有机质含量、土壤养分含量、土壤团聚体结构中黏粒矿物的组成、降雨强度、预湿效果等有关^[17-21]。采用干筛-湿筛前后团聚体粒级含量对照法计算项目区 5 种植被状况下土壤团聚体的破碎率。

结构体破碎率 = [>0.25 mm 团粒(干筛-湿筛)/>0.25 mm 团粒(干筛)] × 100%, 计算结果见图 2。

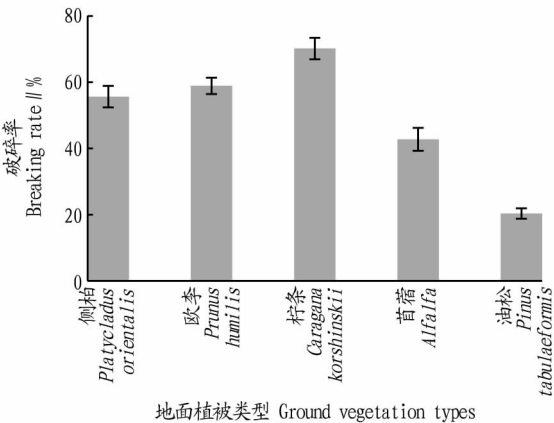


图 2 不同地面植被状况下土壤团聚体破碎率
Fig.2 Breaking rate of soil aggregate under different ground vegetation conditions

由图 2 可知,5 种植被类型下,团聚体破碎率为 20.34%~70.17%,均值为 49.55%。其中,侧柏地土壤团聚体破碎率为 55.63%,欧李地为 58.90%,柠条地为 70.17%,苜蓿地为 42.74%,油松地为 20.34%。土壤团聚体破碎率按照大小顺序依次为柠条、欧李、侧柏、苜蓿、油松。

3 结论

(1) 受到不同植被的影响,各粒级间差异较大。每 50 g 土壤中各粒级均值为 3.03~20.65 g,其中≤0.25 mm 粒级最大,>1.00~2.00 mm 粒级最小。各粒级质量分数大小关系依次为≤0.25、>2.00~5.00、>5.00、>0.50~1.00、>0.25~0.50、(下转第 77 页)

学报(理工版),2006,19(1):35-39.

[5] 钱霞,刘维,赵见高.红条毛肤石鳖舌牙齿内的纳米磁性矿物质[J].科学通报,2002,47(1):10-13.

[6] 陈道海,孙世春.9种石鳖壳板的形态研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2010,40(6):53-60.

[7] 易磊.精编本草纲目[M].上海:上海科学技术出版社,2010.

[8] SOLTIS P S,SOLTIS D E.Genetic variation in endemic and widespread plant species[J].Aliso:A journal of systematic and evolutionary botany,1991,13(1):215-223.

[9] REED D H,FRANKHAM R.Correlation between fitness and genetic diversity[J].Conservation biology,2003,17(1):230-237.

[10] LYDEARD C,MULVEY M,DAVIS G M.Molecular systematics and evolution of reproductive traits of North American freshwater unionacean mussels (Mollusca:Bivalvia) as inferred from 16S rRNA gene sequences[J].Philosophical transactions: Biological sciences,1996,351(1347):1593-1603.

[11] ROPIQUET A,HASSANIN A.Molecular evidence for the polyphyly of the genus Hemitragus (Mammalia,Bovidae)[J].Molecular phylogenetics & evolution,2005,36(1):154-68.

[12] SPRINGER M S,DOUZERY E.Secondary structure and patterns of evolution among mammalian mitochondrial 12S rRNA molecules[J].Journal of molecular evolution,1996,43(4):357-373.

[13] 申绍伟.基于线粒体DNA的长江上游四种薄鳅属鱼类遗传多样性研究[D].重庆:西南大学,2018.

[14] ARANA M V,GALLO L A,VENDRAMIN G G,et al.High genetic variation in marginal fragmented populations at extreme climatic conditions of the Patagonian Cypress *Austrocedrus chilensis* [J].Molecular phylogenetics & evolution,2010,54(3):941-949.

[15] 程汉良,夏德全,吴婷婷,等.6种帘蛤科贝类及4个地理种群文蛤线粒体COI基因片段序列分析[J].海洋学报:中文版,2007,29(5):109-116.

[16] 郑文娟,朱世华,沈锡权,等.基于线粒体COI基因序列探讨泥蚶的遗传分化[J].动物学研究,2009,30(1):17-23

[17] 谌微,张凤英,王景,等.基于COI基因序列的东、黄海区野生与养殖大黄花遗传多样性分析[J].中国水产科学,2016,23(6):1255-1267.

[18] 吴晓雯,张华伟,余海,等.基于DNA条形码对浙南岛屿日本花棘石鳖的遗传特征分析[C]//浙江省第四届动物学博士与教授论坛、动物学与经济强省-浙江省动物学研究及发展战略研讨会论文摘要集.杭州:浙江省科学技术协会,2017.

[19] 张枫轩.一些常见的海洋无脊椎动物的采集方法[J].海洋科学,1984,8(6):63.

[20] 陈梦璇,于立强,靖美东.我国不同地区小鼠Y染色体Zfy1基因遗传差异分析[J].安徽农业科学,2019,47(8):90-92.

[21] 李石磊,张明,王庆志,等.16种环节动物线粒体基因排列、特征比较及系统发育分析[J].水产科学,2015,34(2):104-112.

[22] 王儒晓,李媛媛,刘传林,等.环渤海红条毛肤石鳖种群遗传多样性研究[J].四川动物,2019,38(1):20-27.

[23] TAJIMA F.Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism[J].Genetics,1989,123(3):585-595.

[24] FU Y X.Statistical tests of neutrality of mutations against population growth,hitchhiking and background selection[J].Genetics,1997,147(2):915-925.

(上接第69页)

>1.00~2.00 mm。6个粒级范围内,植被类型对>1.00~2.00 mm 粒级没有影响,对其余5个粒级均有影响。

(2)5种植被下,每50 g土壤中,水稳性团聚体各粒级质量分数平均为1.94~36.09 g,其中>2.00~5.00 mm 粒级最小,≤0.25 mm 粒级最大。水稳性团聚体中超过70%的是<0.25 mm 的微团聚体,而>0.25 mm 的水稳性团聚体约占30%。

(3)5种植被类型下,团聚体破碎率为20.34%~70.17%,均值为49.55%,土壤团聚体破碎率大小顺序为柠条、欧李、侧柏、苜蓿、油松。

参考文献

[1] 王小云.不同水土保持植物种类对土壤物理性质的影响[J].安徽农业科学,2018,46(26):113-115.

[2] 王小云.不同作物间坡面径流和泥沙流失量特征与差异分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(11):100-104.

[3] 石利军,王小云,胡振华.土地利用方式对土壤基本性质及肥力的影响[J].安徽农业科学,2017,45(6):106-108.

[4] 王秀颖,高晓飞,刘和平,等.土壤水稳性大团聚体测定方法综述[J].中国水土保持科学,2011,9(3):106-113.

[5] 徐爽,王益权.不同类型土壤团聚体化学稳定性分析[J].农业机械学报,2014,45(4):173-178.

[6] 卢金伟,李占斌.土壤团聚体研究进展[J].水土保持研究,2002,9(1):81-85.

[7] 任镇江,罗友进,魏朝富.农田土壤团聚体研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(2):1101-1105.

[8] 丁文峰,丁登山.黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征[J].地

理研究,2002,21(6):700-706.

[9] 韩加强,高晓飞,路焰军,等.水土保持对褐土水稳性大团聚体的影响研究[J].水土保持研究,2012,19(6):50-53.

[10] YODER R E.A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses[J].Journal of the American society of agronomy,1936,28(5):337-351.

[11] 白秀梅,韩有志,郭汉清.庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征[J].生态学报,2014,34(7):1654-1662.

[12] 陈恩凤,关连珠,汪景宽,等.土壤特征微团聚体的组成比例与肥力评价[J].土壤学报,2001,38(1):49-53.

[13] 何淑勤,郑子成.不同土地利用方式下土壤团聚体的分布及其有机碳含量的变化[J].水土保持通报,2010,30(1):7-10.

[14] LAL R.Physical management of soils of the tropics:Priorities for the 21st century [J].Soil science,2000,165:191-207.

[15] 苏静,赵世伟.土壤团聚体稳定性评价方法比较[J].水土保持通报,2009,29(5):114-117.

[16] ELLIOTT E T,CAMBARDELLA C A.Physical separation of soil organic matter[J].Agriculture ecosystems and environment,1991,34:407-419.

[17] PUGET P,CHENU C,BALESDENT J.Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates[J].European journal of soil science,2000,51(4):595-605.

[18] BARRIOS E,BURESH R J,KWESIGA F,et al.Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize[J].Soil science society American journal,1997,61(3):826-831.

[19] 邱莉萍,张兴昌,张晋爱.黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布[J].生态学报,2006,26(2):364-372.

[20] 陈恩凤,周礼恺,武冠云.微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义[J].土壤学报,1994,31(1):18-25.

[21] 蒋定生,李新华,范兴科,等.论晋陕蒙接壤地区土壤的抗冲性与水土保持措施体系的配置[J].水土保持学报,1995,9(1):1-7.