

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0446

苏芳莉,赵光辉,王铁良,李海福,李一鸣.不同土地利用方式下表层土壤大团聚体特征.草业科学,2017,34(5):924-931.

Su F L, Zhao G H, Wang T L, Li H F, Li Y M. Characteristics of surface soil macro aggregates under different land use patterns. Pratacultural Science, 2017, 34(5): 924-931.

不同土地利用方式下表层土壤大团聚体特征

苏芳莉^{1,2}, 赵光辉¹, 王铁良^{1,2}, 李海福^{1,2}, 李一鸣¹

(1.沈阳农业大学水利学院, 辽宁 沈阳 110161;

2.辽宁双台河口湿地生态国家定位观测研究站, 辽宁 盘锦 124112)

摘要:土壤大团聚体含量能表征土壤结构稳定性,反映土壤结构变化趋势。本研究在辽河干流中下游流域主要沙化区分析湿地、林地、农田和草地4种土地利用方式对0—20 cm土层土壤大团聚体(>0.25 mm)含量和稳定性的影响,及各粒径大团聚体的空间异质性,并进行空间插值模拟其分布。结果显示,农田土壤团聚体破坏率最大,达到46.98%,林地最小,为26.36%;依据土壤水稳性大团聚体含量、团聚体颗粒平均重量直径和几何平均直径,评价土壤结构稳定性强弱为湿地>林地>农田>草地;4种土地利用导致土壤大团聚体稳定性差异显著($P<0.05$),湿地和草地之间的差异性最显著;湿地土壤结构相对最好,其次是林地和农田,草地相对最差。本研究结果可为辽河干流流域土地沙化程度评价及分区治理提供参考依据。

关键词:辽河干流中下游流域;土地利用方式;土壤大团聚体;水稳性;空间分布

中图分类号:S152.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0629(2017)05-0924-08*

Characteristics of surface soil macro aggregates under different land use patterns

Su Fang-li^{1,2}, Zhao Guang-hui¹, Wang Tie-liang^{1,2}, Li Hai-fu^{1,2}, Li Yi-ming¹

(1. Shenyang Agricultural University Institute of Water Conservancy, Shenyang 110161, China;

2. Liaoning Shuangtai Estuary Wetland Ecosystem Research Station, Panjin 124112, China)

Abstract: The content of soil aggregates can be used to characterize the stability of soil structure and reflect the change trend of soil quality. In this study, the effects of 4 kinds of land use, namely, wetland, woodland, farmland, and grassland, on soil aggregate content and stability were analysed in the 0—20 cm soil layer, and the spatial heterogeneity of large particle size aggregates was analysed to simulate the distribution by spatial interpolation. The results showed that the destruction rate of farmland soil aggregates was the maximum at 46.98%, but that of woodland was the minimum at 26.36%. On the basis of the content of soil water stable aggregate, and mean weight diameter and geometric mean diameter of aggregate particles, the strength of soil structure stability was found to be wetland > woodland > farmland > grassland; all 4 kinds of land use resulted in significant differences in soil aggregate stability ($P<0.05$), and the difference between the wetland and grassland was the most significant. Wetland soil structure was the best, followed by woodland and farmland; grassland showed the least stable soil structure. The results of this study can provide a reference basis for the evaluation of desertification degree and zoning management in the Liaohe River basin.

Key words: middle and lower reaches of Liaohe River; land use; soil large aggregate; water stability; space distribution

Corresponding author: Su Fang-li E-mail: sufangli8@163.com

* 收稿日期:2016-08-25 接受日期:2016-11-03

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31470710);国家自然科学基金面上项目(31570706)

通信作者:苏芳莉(1977-),女,辽宁营口人,教授,博士,研究方向为水生态。E-mail: sufangli8@163.com

土壤团聚体是自然界各类物质经团聚和破碎交替作用形成的,是构成土壤结构的基础物质和土壤肥力的载体,具有机械稳定性和水稳定性^[1],团聚体的稳定性是反映土壤抗蚀性的一种重要指标^[2]。土壤团聚体分为大团聚体(粒径 ≥ 0.25 mm)和微团聚体(粒径 < 0.25 mm),不同粒径团聚体在养分的转化和供应过程中作用不同^[3]。大团聚体作为土壤团粒结构体,决定土壤结构稳定性,其含量越高,土壤结构的稳定性越强^[4-5],尤其是水稳定性大团聚体数量越多,土壤质量越好^[6]。植被盖度、土地利用方式及人类生产活动会影响大团聚体与微团聚体之间的转化和再分布^[7-8]。土地利用是人类最直接管理土壤的活动,不同土地利用方式改变土壤物理化学性质,进一步影响土壤团聚体的形成和稳定^[9]。不同土地利用方式下植被覆盖与土壤理化特性发生改变,土壤团聚体结构差异性较大^[10]。土壤大团聚体含量能准确表征庞泉沟自然保护区典型森林土壤结构稳定性^[11]。但是,土壤大团聚体最易受土地利用和管理方式影响,其数量及稳定性更能准确反映土壤结构特征^[12]。

辽河干流中下游流域是辽宁省主要经济发展区域,土地利用以农田、林地、草地和湿地为主,受科尔沁沙地风蚀和河流水蚀影响,泥沙逐渐堆积,干流流域水

土流失日益严重,沙化问题严重影响辽宁省生态经济环境发展。已有的研究多集中于西南低山丘陵、南方红壤及黄土高原山区^[8-9,11],关于辽河干流流域土地利用方式对土壤大团聚体特征影响的研究鲜有报道,本研究选取辽河干流中下游流域主要沙化地区为研究区,依据团聚体平均重量直径(mean weight diameter, MWD)、几何平均直径(geometric mean diameter, GMD)和水稳性团聚体含量等指标,结合地统计方法分析研究区内土地利用对表层土壤大团聚体分布特征及稳定性影响,以期为辽河干流流域土地沙化程度评价和分区治理提供参考依据,进而为森林水文和沙化领域交叉研究提供理论支持,为辽河流域生态文明建设决策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

辽河流域总面积 21.9 万 km²,河长 1 390 km,多年平均流量约 400 m³ · s⁻¹,平均径流量 126 亿 m³,输沙量 2 098 万 t,干流自然落差 1 200 m。辽河干流流域包括沈阳、铁岭、抚顺、阜新、锦州、鞍山和盘锦的部分区域。结合遥感影像解译和实际调查,本研究选取鞍山和盘锦以沙质土壤为主的新台乡、西佛镇、达牛镇

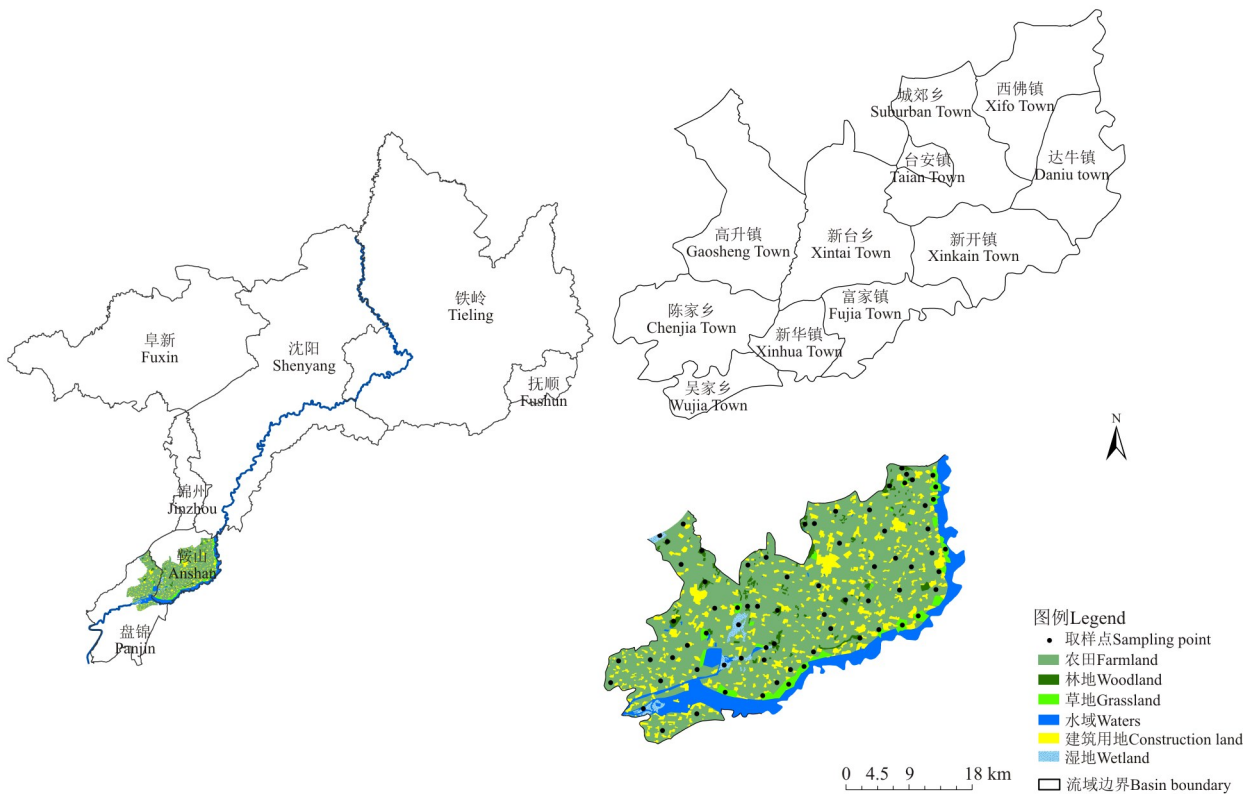


图 1 研究区地理位置及样点布设图

Fig. 1 Map showing the study area and sampling locations

及盘山县的陈家镇和吴家镇等 11 个乡镇为研究区(图 1)。总面积约为 1 076.92 km², 植被覆盖面积约为 818.76 km², 其中农田面积约为 740.56 km²、林地 25.07 km²、草地为 38.29 km²、湿地 14.84 km²。农田作物以玉米(*Zea mays*)为主, 林地主要为杨树(*Populus*)和松树(*Pinus*), 草地以黄花蒿(*Artemisia annua*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)等沙地植物为主, 湿地植物主要为芦苇(*Phragmites communis*)。

1.2 土壤样品的采集与处理

本研究于 2015 年 9 月开始, 结合遥感技术与实际调查, 在研究区约 2 km 间距布置一个样点, 由于农田地貌特征基本一致, 样点布设选取具有代表性的区域, 样点距离约为 5 km。在研究区共布设 72 个样点(图 1), 其中农田 37 个, 林地 13 个, 草地 16 个, 湿地 6 个, 主要布设在沙质土壤地区, 每个样点选取 3 个典型样地, 分别取 0—20 cm 深度原状土壤, 均匀混合, 将土样密封带回实验室, 待测。原状土样达到土壤塑限后沿土壤结构的自然剖面将土块掰成直径约 1 cm 的小团块, 自然风干后剔除枯枝落叶和石块, 分别过孔径 5.0、2.0 mm 的筛, 将土样分为 >5 mm、2~5 mm 和 <2 mm 共 3 个级别, 然后按照 3 个土样粒径级别在原状土中所占比例取混合土样约 500 g, 用于测定土壤各径级机械稳定性和水稳性团聚体的质量百分比。

土壤团聚体含量采用干筛法和湿筛法^[13]测定。干筛法: 取 100 g 风干土样通过置于 5.0、2.0、1.0、0.5、0.25 mm 套筛的最上面筛面, 以每分钟 30 次频率手工上下震荡 5 min, 筛分后分别收集各粒级土壤、称质量, 计算各径级机械稳定性团聚体的质量百分含量。湿筛法: 将干筛后各级土壤团聚体按质量比例分成 100 g 土壤, 在团粒分析仪上分别通过 5.0、2.0、1.0、0.5、0.25 mm 套筛, 加去离子水淹没最上层筛面 3 cm, 浸泡 5 min, 以每分钟 40 次频率上下震荡 30 min, 然后将留在每个筛子上的土壤冲洗到铝盒中, 105 °C 烘干称质量, 计算各径级水稳性团聚体质量百分含量。

1.3 分析方法与数据处理

1.3.1 土壤大团聚体指标计算方法 利用各粒级团聚体数据计算 >0.25 mm 团聚体 $R_{0.25}$ 、MWD、GMD 和 PAD。

$$R_{0.25} = \frac{M_{r>0.25}}{M_T} \quad (1)$$

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

$$GMD = \sum X P \left(\frac{\sum_{i=1}^n W_i \ln X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right) \quad (3)$$

式中: $R_{0.25}$ 为直径 >0.25 mm 团聚体的含量, M_T 为团聚体的总重量, $M_{r>0.25}$ 为粒径 >0.25 mm 团聚体的重量; MWD 为团粒平均重量直径(mm); GMD 为团粒几何平均直径(mm); X_i 为任一级别范围内团聚体的平均直径(mm); W_i 为对应于 X_i 的团聚体百分含量。

$$PAD = (DR_{0.25} - WR_{0.25}) / DR_{0.25} \times 100\% \quad (4)$$

式中: PAD 为团聚体破坏率(%), $DR_{0.25}$ 为 >0.25 mm 机械稳定性团聚体含量(%), $WR_{0.25}$ 为 >0.25 mm 水稳性团聚体含量(%).

1.3.2 地统计学方法 利用地统计学中的变异函数理论研究土壤团聚体的空间变异特性, 既可以描述土壤组成的结构性变化, 也能描述其随机性变化^[14]。变异函数曲线的结构主要由块金值(C_0)、基台值($C_0 + C$)和变程(A)组成。研究表明, 变程 A 是表征空间异质性的一个重要参数, 自相关距离减小, 表明土壤颗粒空间分布的均一性减弱; 反之增大^[15]。空间异质性包括随机部分和自相关部分, 异质性的强弱由块金系数($C_0 / C_0 + C$)的大小进行划分, 若块金系数 < 25%, 说明变量有强烈的空间自相关性; 介于 25%~50%, 说明变量有明显空间自相关性; 介于 50%~75%, 变量有中等自相关; 块金系数 > 75%, 变量对空间依赖性较弱, 变异主要由随机变异引起。

1.3.3 数据处理 空间插值法能实现由点到面的拓展, 较好模拟土壤团聚体的空间分布特征。本研究利用 Excel 2007 软件对干筛和湿筛得到的各粒级团聚体含量进行数据预处理, 使用 SPSS 17.0 进行方差及相关性分析, 利用 GS+10.0 进行统计分析, 结合 Arcgis10.0 进行插值模拟。

2 结果

2.1 不同土地利用方式下土壤大团聚体机械稳定性组成

土壤大团聚体机械稳定性随土地利用方式而异, 自然状态下土壤各粒级团聚体含量也存在差异(表 1)。土地利用方式对表层土壤 <0.25 mm 粒径范围土壤大团聚体含量分布影响差异显著 ($P < 0.05$), >2 mm 大团聚体含量由高到低的顺序为湿地 > 农田 > 林地 > 草地, 其中湿地显著大于林地和草地。

在团聚体粒径 >5 mm 范围内, 湿地显著高于其它 3 种土地利用 ($P < 0.05$), 其中湿地与草地之间差别最大; 相对 >5 mm, 2~5 mm 内草地团聚体含量出

表 1 土地利用方式对土壤不同粒径大团聚体含量(%)的影响(干筛)

Table 1 Effect of land use patterns on soil aggregate content (%) with different particle size (dry sieve)

土地利用 Land use	大团聚体粒径 Macro aggregate size					
	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
林地 Woodland	20.87±6.76b	15.66±2.67b	5.30±0.36a	9.17±0.92a	9.67±8.96a	60.77±3.07b
草地 Grassland	11.73±3.30b	12.46±6.61b	5.40±3.07a	10.39±4.46a	6.34±1.68a	47.16±17.70c
农田 Farmland	20.90±4.61b	18.56±3.30ab	7.24±1.92a	13.31±3.91a	7.83±3.06a	69.41±4.75ab
湿地 Wetland	40.52±7.42a	24.10±3.18a	7.48±1.76a	11.18±3.72a	5.29±2.65a	88.95±1.32a

注:同列不同小写字母表示不同土地利用方式间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences among different land use patterns at the 0.05 level; similarly for the following tables.

现较小程度增加,其它土地利用团聚体含量均有所减少,其中湿地和草地土壤团聚体含量分布差别最大;1~2 mm 团聚体含量相对于 2~5 mm 粒径含量持续减少;0.5~1 mm 团聚体含量相对于 1~2 mm 有所增加;0.25~0.5 mm 团聚体含量相对于 0.5~1 mm 粒径含量总体呈现减小趋势,3 个粒径范围内团聚体含量在各土地利用方式下分布差异不显著($P>0.05$)。综合分析,4 种土地利用方式表层土壤>5 mm 粒级土壤

大团聚体含量相对最多,其次是 2~5 mm,1~2 mm 粒级团聚体含量相对最少。

2.2 不同土地利用方式下土壤水稳性大团聚体组成

水稳性大团聚体含量表征土壤抗蚀能力,对反映土壤团聚体结构稳定性具有重要作用,本研究区不同土地利用方式土壤水稳性大团聚体各级别含量分布差异明显(表 2)。

>0.25 mm 粒径范围内 4 种土地利用方式间土壤

表 2 不同土地利用方式土壤水稳性大团聚体含量(%) (湿筛)

Table 2 Percentage (%) of soil water stability in different land use patterns (wet sieve)

土地利用 Land use	大团聚体粒径 Macro aggregate size					
	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
林地 Woodland	7.43±2.44b	8.95±2.96a	6.35±1.99a	10.78±2.05a	11.23±6.43a	44.75±2.07ab
草地 Grassland	6.53±3.87b	6.38±3.99a	3.75±2.26a	6.79±1.61a	5.67±0.79a	29.12±12.18b
农田 Farmland	6.42±4.33b	6.04±1.75a	5.74±2.71a	10.37±4.14a	8.22±2.49a	36.80±4.89b
湿地 Wetland	20.15±5.81a	12.00±5.13a	5.53±2.49a	9.98±4.97a	9.71±1.87a	57.39±11.04a

水稳性大团聚体含量分布差异显著($P<0.05$)。林地、草地、农田和湿地土壤水稳性大团聚体质量百分比分别为 44.75%、29.12%、36.80% 和 57.39%,湿地土壤水稳性大团聚体含量最高,草地相对最少。说明湿地土壤结构相对最稳定,草地土壤结构相对最差。

4 种土地利用方式下,表层土壤>5 mm 水稳性团聚体含量分布差异显著($P<0.05$),其中湿地和农田之间差异最大,湿地团聚体含量所占比例最高,达 20.15%,农田最小,为 6.42%;其它 4 个级别范围内各图利用类型的土壤大团聚体含量分布差异均不显著($P>0.05$)。相对干筛,>2 mm 团聚体含量有所减少,1~2 mm 级别团聚体含量变化不明显,0.5~1 和 0.25~0.5 mm 土壤团聚体含量呈现增加趋势。综合分析,湿筛条件会造成>2 mm 团聚体含量减少,利于 0.25~1 mm 级别团聚体积累。

2.3 不同土地利用方式土壤大团聚体稳定性比较

土壤团聚体平均几何直径(GMD)和平均重量直径(MWD)值越大,说明团聚体的平均粒径团聚程度越高,稳定性就越强,反之越差。

根据土壤团聚体稳定性指标,4 种土地利用方式下表层土壤团聚体破坏率介于 26.36%~46.98%(表 3)。其中农田土壤团聚体破坏率最大(46.98%),林地最小(26.36%)。草地、林地和湿地均显著低于农田($P<0.05$),其中农田和林地之间的差异最大。依据 PAD 评价说明,农田耕作对土壤结构造成的破坏程度相对最大,林地造成的破坏最小。

GMD 和 MWD 值在不同土地利用方式下的变化均呈相似的规律,草地、林地和农田土壤团聚体 GMD 和 MWD 值均显著低于湿地($P<0.05$)。GMD 干筛、湿筛、MWD 干筛和湿筛变化规律均为湿地>林

表3 土壤大团聚体稳定性指标
Table 3 Stability index of soil large aggregate

土地利用 Land use	团聚体破坏率 PAD/%	平均几何直径 GMD/mm		平均重量直径 MWD/mm	
		干筛 Dry sieve	湿筛 Wet sieve	干筛 Dry sieve	湿筛 Wet sieve
林地 Woodland	26.36±3.22c	0.71±0.24b	0.35±0.11ab	2.93±0.87ab	2.33±1.22b
草地 Grassland	38.25±5.15b	0.59±0.14c	0.27±0.16b	2.61±1.24b	2.25±1.36b
农田 Farmland	46.98±4.96a	0.68±0.17b	0.33±0.18ab	2.87±0.94ab	2.28±0.69b
湿地 Wetland	35.48±3.67b	1.02±0.31a	0.67±0.34a	3.49±0.79a	2.87±1.58a

地>农田>草地,但干筛 GMD 湿地显著高于其它土地利用方式($P<0.05$),湿筛湿地显著高于草地($P<0.05$)。综合分析说明,湿地土壤团聚体稳定性相对最强,其次分别为林地和农田,草地相对最差。

2.4 土壤水稳性大团聚体组成的变异函数特征分析

利用变异函数理论评价不同土地利用方式土壤水稳性大团聚体的空间异质性,在函数中根据决定系数越大越好的原则,再综合考虑块金值、基台值和变程大小,得出研究区不同土地利用方式土壤水稳性大团聚体含量统计特征(表4)。

研究区不同土地利用方式下表层土壤的水稳性大团聚体含量 K-S 检验值介于 0.54~0.82,说明水稳性大团聚体含量符合正态分布(表4)。不同土地利用方式间土壤水稳性大团聚体含量分布存在一定的空间异质性,农田土壤水稳性大团聚体含量空间变异的最佳

模型为高斯模型,块金系数为 0.10;林地最佳模型为指数模型,块金系数为 0.16;草地和湿地水稳性大团聚体含量变异函数的最佳模型均为球形,块金系数分别为 0.19 和 0.28。说明农田土壤水稳性大团聚体含量的空间自相关性相对其它土地利用方式最强,可能是表层土壤受人为干扰程度较大,团聚体结构破坏程度较大,受随机因素影响相对最小,其次是林地和草地,湿地受随机因素影响,可能是样点布设和人为误差导致。湿地土壤水稳性大团聚体最佳变异函数的变程 A 相对其它土地利用方式较大,说明湿地土壤水稳性大团聚体的空间均一性相对较好,其它土地利用方式下土壤水稳性大团聚体的空间均一性差异不明显。分析说明研究区不同土地利用方式土壤水稳性大团聚体含量空间异质性存在一定差异。

表4 土壤水稳性大团聚体粒径组成质量百分比统计特征

Table 4 Statistical characteristics of the quality percentage of water stable soil large aggregate size composition

土地利用 Land use	最大值 Max./ %	最小值 Min./ %	平均值 Mean/ %	标准差 Standard difference	K-S 检验值 K-S check value	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金系数 C_0/C_0+C	变程 A/m	决定 系数 R^2	最佳模型 Optimum model
林地 Woodland	49.13	35.36	42.27	4.82	0.68	4.17	25.39	0.16	300	0.01	指数 exponential
草地 Grassland	34.11	27.17	28.44	3.68	0.54	2.61	13.45	0.19	290	0.03	球形 spherical
农田 Farmland	41.83	28.97	35.38	3.85	0.63	1.36	14.02	0.10	350	0.51	高斯 Gaussian
湿地 Wetland	65.81	53.51	59.88	4.86	0.82	3.50	12.29	0.28	600	0.01	球形 spherical

2.5 表层土壤水稳性大团聚体分布特征

利用克里金空间插值法对研究区不同土地利用方式 0-20 cm 土层水稳性大团聚体分布特征进行插值模拟。研究区不同区域土壤水稳性大团聚体含量分布存在差异(图2),说明土地利用对土壤结构造成的影

响不同。图中颜色越深的区域,表示土壤水稳性大团聚体含量越多,土壤结构越好。土壤水稳性大团聚体含量分布特征为,草地介于 18.89%~32.59%,主要分布在辽河沿线的达牛镇、富家镇和新华镇 3 个乡镇;农田集中于 32.59%~39.33%,主要分布在城郊乡、西佛

镇、新开镇、陈家乡、吴家乡和高升镇 6 个乡镇;林地介于 39.33%~48.87%,主要集中在分布在新台乡、高升镇和西佛镇 3 个乡镇;湿地集中在 53.51%~65.81%,主要分布在新台乡。分析表明,达牛镇、富家镇及新华镇的土壤结构相对较差,高升镇、陈家乡、新台乡的土壤结构相对较好。

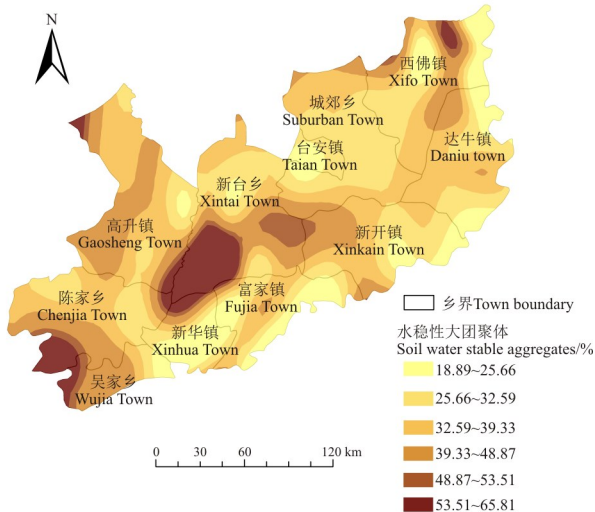


图 2 研究区表层土壤水稳性大团聚体含量分布图

Fig. 2 Distribution of water stable soil large aggregates in the surface soil of the study area

3 讨论与结论

3.1 讨论

研究表明,耕作管理、土地利用方式等均能影响土壤大团聚体的含量、组成及稳定性^[15]。南方喀斯特^[16]和豫西黄土丘陵^[17]地区,农田 PAD 大于林地和草地;研究表明,农田耕作更容易造成印度西北部农场的土壤大团聚体结构破坏^[18];本研究区,不同土地利用方式下土壤 PAD 大小顺序为农田>草地>湿地>林地,说明,耕作措施对土壤团聚体结构造成的破坏率相对其它措施较大^[19]。可能是农田频繁的耕作破坏了土壤颗粒结构,增加了土壤的通气性,使土壤颗粒的保护作用变差,导致土壤结构疏松,增加了土壤结构的破坏程度,而林地土壤表层形成了枯枝落叶层和植物根系积累,使土壤中微生物生命活动所需能量增加,产生了形成土壤团聚体的胶结物质,减弱了土壤团聚体的破坏,降低了对土壤结构的破坏程度。

水稳性大团聚体含量能准确反映土壤结构稳定性,其含量越多说明土壤抗蚀性越好,土壤结构越稳定^[20]。研究区湿地水稳性大团聚体含量为 57.39%,

林地、农田和草地分别为 44.75%、36.80%和 29.12%,在石漠化地区也得到类似研究结果^[21],但黄土高原羊圈沟坝库的土壤水稳定团聚体含量大小顺序为天然草地>林地>农田^[22],福建紫色土壤水稳定团聚体含量为灌草植被>耕地^[23]。出现上述区别的原因可能是本研究区草地均为退耕还草,土壤质地相对较粗,土壤结构较差,加上放牧与风力侵蚀影响,土壤大团聚体含量相对较少;天然草地扰动程度较小,地表形成相对稳定的植被覆盖层,土壤结构相对较好;而湿地芦苇长期被水淹没,扰动程度更小,土壤结构相对最稳定。

GMD 和 MWD 能准确反映土壤团聚体结构稳定性,数值越大说明土壤结构越稳定^[24]。本研究得出不同土地利用方式间土壤结构稳定性差异显著,干筛和湿筛的 GMD 和 MWD 均表现为湿地>林地>农田>草地,且干筛 GMV 湿地、农田和林地土壤水稳性大团聚体含量显著高于草地,对福建省建瓯市山地红壤的研究也得到类似结果^[25],而黄河三角洲地区土壤水稳性大团聚体含量表现为麦田>芦苇湿地^[26],上述差别可能与气温和降水等气候因素,及土壤成土过程有关,但有研究表明,大团聚体是由微团聚体在根系和菌丝的缠绕作用下形成,类似灌草的植被更利于大团聚体的形成^[27]。本研究区芦苇及林草植被植物根系相对发达,微团聚体胶结成大团聚体的能力较强,土壤大团聚体数量较多,土壤结构相对最稳定,说明湿地、林地和农田相对草地,具有更强的土壤团聚体稳定性。

3.2 结论

1)干筛法所得表层土壤大团聚体含量在不同土地利用方式间的分布规律为湿地>农田>林地>草地,分别为 88.95%、69.41%、60.77%和 47.16%;而农田土壤 PAD 和林地 PAD 的差别最大,分别为 46.98%和 26.36%,可能是人为耕作导致土层相对较松散,地表枯枝落叶增加了林地土壤的结构稳定性。

2)依据 4 种土地利用方式表层土壤水稳性大团聚体含量分布,并结合 GMD 和 MWD 评价,表明土壤结构稳定性强弱为湿地>林地>农田>草地。

3)空间插值预测表明,表层土壤水稳性大团聚体含量分布规律为湿地>林地>农田>草地。本研究得出土壤水稳性大团聚体可作为一种评价辽河干流流域土地沙化的评价指标,也可为后期沙化地区植被修复提供参考。

参考文献 References:

- [1] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 2005, 124(1-2): 3-22.
- [2] 陈帅, 孙涛. 松嫩草地不同退化阶段的土壤团聚体稳定性. *草业科学*, 2017, 34(2): 217-223.
Chen S, Sun T. Research of soil aggregate stability in different degradation stages of Songnen grassland. *Pratacultural Science*, 2017, 34(2): 217-223. (in Chinese)
- [3] 刘文利, 吴景贵, 傅民杰, 梁运江, 赵欣宇. 种植年限对果园土壤团聚体分布与稳定性的影响. *水土保持学报*, 2014, 28(1): 129-135.
Liu W L, Wu J G, Fu M J, Liang Y J, Zhao X Y. Effect of different cultivation years on composition and stability of soil aggregate fractions in orchard. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2014, 28(1): 129-135. (in Chinese)
- [4] 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. *地理研究*, 2002, 21(6): 700-706.
Ding W F, Ding D S. The fractal features of soil granule structure before and after vegetation destruction on Loess Plateau. *Geographical Research*, 2002, 21(6): 700-706. (in Chinese)
- [5] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响. *生态学报*, 2003, 23(10): 2176-2183.
Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2176-2183. (in Chinese)
- [6] Barthès B, Roose E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion, validation at several levels. *Catena*, 2002, 47(2): 133-149.
- [7] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science*, 2000, 51(4): 595-605.
- [8] 杨长明, 欧阳竹, 杨林章, 董玉红. 农业土地利用方式对华北平原土壤有机碳组分和团聚体稳定性的影响. *生态学报*, 2006, 26(12): 4148-4155.
Yang C M, Ouyang Z, Yang L Z, Dong Y H. Organic carbon fractions and aggregate stability in an aquatic soil as influenced by agricultural land uses in the Northern China Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4148-4155. (in Chinese)
- [9] 李朝霞, 蔡崇法, 史志华, 王天巍, 张琪, 孙站成. 鄂南第四纪粘土红壤团聚体的稳定性及其稳定机制初探. *水土保持学报*, 2004, 18(4): 69-72.
Li Z X, Cai C F, Shi Z H, Wang T W, Zhang Q, Sun Z C. Aggregate stability and stable mechanism of aggregate derived from quaternary red clay in south of Hubei Province. *Journal of Soil Water Conservation*, 2004, 18(4): 69-72. (in Chinese)
- [10] Fu X L, Shao M A, Wei X R, Horton R. Soil organic carbon and total nitrogen as affected by vegetation types in Northern Loess Plateau of China. *Geoderma*, 2010, 155(1): 31-35.
- [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. *生态学报*, 2014, 34(7): 1654-1662.
Bai X M, Han Y Z, Guo H Q. Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(7): 1654-1662. (in Chinese)
- [12] Wuddivira M N, Stone R J, Ekwue E I. Structural stability of humid tropical soils as influenced by manure incorporation and incubation duration. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 73(4): 1-18.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法. 北京: 科学出版社, 1978.
- [14] 樊立娟, 胡广录, 廖亚鑫, 王德金, 张东国, 王嘉勇. 河西走廊斑块植被区表层土壤粒径及其分形维数的空间变异特征. *干旱区研究*, 2015, 32(6): 1068-1075.
Fan L J, Hu G L, Liao Y X, Wang D J, Zhang D G, Wang J Y. Spatial variability of soil particle size and its fractal dimension of patchy vegetation in Hexi Corridor. *Arid Zone Research*, 2015, 32(6): 1068-1075. (in Chinese)
- [15] 刘金伟, 李志忠, 武胜利, 李万娟, 王少朴, 曹向东, 凌智永. 新疆艾比湖周边白刺沙堆形态特征空间异质性研究. *中国沙漠*, 2009, 29(4): 628-635.
Liu J W, Li Z Z, Wu S L, Li W J, Wang S P, Cao X D, Ling Z Y. The spatial heterogeneity of morphologic feature of *Nitraria nebkhas* around Ebinur Lake, Xinjiang. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(4): 628-635. (in Chinese)
- [16] 陈山, 杨峰, 林杉, 柳淑蓉, 汤水荣, 蔡崇法, 胡荣桂. 土地利用方式对红壤团聚体稳定性的影响. *水土保持学报*, 2012, 26(5): 211-216.
Chen S, Yang F, Lin S, Liu S R, Tang S R, Cai C F, Hu R G. Impact of land use patterns on stability of soil aggregates in red

- soil region of south China. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2012, 26(5): 211-216. (in Chinese)
- [17] 魏亚伟, 苏以荣, 陈香碧, 何寻阳, 覃文更, 韦国富. 人为干扰对喀斯特土壤团聚体及其有机碳稳定性的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 971-978.
Wei Y W, Su Y R, Chen X B, He X Y, Qin W G, Wei G F. Effects of human disturbance on soil aggregates content and their organic C stability in Karst regions. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(4): 971-978. (in Chinese)
- [18] 刘晶, 田耀武, 张巧明. 豫西黄土丘陵区不同土地利用方式土壤团聚体有机碳含量及其矿化特征. *水土保持学报*, 2016, 30(3): 255-261.
Liu J, Tian Y W, Zhang Q M. Characteristics of soil organic carbon content and mineralization in soil aggregates under different land use patterns on the Loess Hilly Area of Western Henan. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2016, 30(3): 255-261. (in Chinese)
- [19] Sodhi G P S, Beri V, Benbi D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system. *Soil & Tillage Research*, 2009, 103(2): 412-418.
- [20] 陈强, 孙涛, 宋春雨. 免耕对土壤物理性状及作物产量影响. *草业科学*, 2014, 31(4): 650-658.
Chen Q, Sun T, Song C Y. Influence of no-tillage on soil physical properties and crop production. *Pratacultural Science*, 2014, 31(4): 650-658. (in Chinese)
- [21] 李鉴霖, 江长胜, 郝庆菊. 土地利用方式对缙云山土壤团聚体稳定性及其有机碳的影响. *环境科学*, 2014(12): 4695-4704.
Li J L, Jiang C S, Hao Q J. Impact of land use type on stability and organic carbon of soil aggregates in Jinyun Mountain. *Environmental Science*, 2014, 35(12): 4695-4704. (in Chinese)
- [22] 罗友进, 魏朝富, 李渝, 任镇江, 廖和平. 土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响. *生态学报*, 2011, 31(1): 257-266.
Luo Y J, Wei C F, Li Y, Ren Z J, Liao H P. Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 257-266. (in Chinese)
- [23] 张建国, 刘淑珍, 宋述军, 李勇. 不同土地利用方式对黄土坡地土壤水稳性团聚体和总孔隙度的影响. *山地学报*, 2002, 20(6): 119-124.
Zhang J G, Liu S Z, Song S J, Li Y. Effect of different land use on soil water-stable aggregate and soil total porosity of slope land in Loess Plateau. *Journal of Mountain Research*, 2002, 20(6): 119-124. (in Chinese)
- [24] 钟珍梅, 詹杰, 李振武, 应朝阳. 紫色土侵蚀区柑橘园套种印度豇豆对土壤水稳性团聚体的影响. *草业科学*, 2015, 32(12): 1940-1944.
Zhong Z M, Zhan J, Li Z W, Ying C Y. Effects of interplanting *Vigna sinensis* on soil water stable aggregate of *Citrus reticulata* orchard in purplish soil erosion region. *Pratacultural Science*, 2015, 32(12): 1940-1944. (in Chinese)
- [25] 蒲玉琳, 林超文, 谢德体, 魏朝富, 倪九派. 植物篱-农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征. *应用生态学报*, 2013, 24(1): 122-128.
Pu Y L, Lin C W, Xie D T, Wei C F, Ni J P. Composition and stability of soil aggregates in hedgerow-crop slope land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(1): 122-128. (in Chinese)
- [26] 毛艳玲, 杨玉盛, 邢世和, 陈光水, 崔纪超. 土地利用方式对土壤水稳性团聚体有机碳的影响. *水土保持学报*, 2008, 22(4): 132-137.
Mao Y L, Yang Y S, Xing S H, Chen G S, Cui J C. Effects of land use on soil organic carbon in water-stable aggregates. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2008, 22(4): 132-137. (in Chinese)
- [27] 刘艳丽, 李成亮, 高明秀, 张民, 赵庚星. 不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响. *生态学报*, 2015, 35(15): 5183-5190.
Liu Y L, Li C L, Gao M X, Zhang M, Zhao G X. Effect of different land-use patterns on physical characteristics of the soil in the Yellow River delta region. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(15): 5183-5190. (in Chinese)

(责任编辑 武艳培)