

黄土丘陵区不同植被群落土壤团聚体 有机碳及其组分的分布*

马瑞萍^{1,2} 刘 雷² 安韶山^{1,2**} 党廷辉^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 杨凌 712100)

摘 要 有机碳是形成土壤团聚体的重要物质,植被群落通过有机残体的输入增加土壤有机碳含量,从而通过影响团聚体的形成而影响土壤结构。为探究不同植被群落对土壤结构改良的意义,对黄土丘陵区森林带和草原带的不同植被群落土壤团聚体中有机碳组分进行了研究。结果表明:(1)研究区域森林带土壤有机碳含量大于草原带,森林带植被群落土壤总有机碳含量大小顺序为:辽东栎群落>人工刺槐群落>狼牙刺群落,草原带植被群落土壤总有机碳含量大小顺序为:人工沙棘群落>达乌里胡枝子+芡蒿群落>铁杆蒿>达乌里胡枝子群落;(2)土壤活性有机碳和腐殖质碳占土壤总有机碳的比例在两种植被带之间基本相同,相同植被群落土壤活性有机碳占土壤总有机碳的比例高于腐殖质碳占总有机碳的比例;(3)森林带土壤>0.25 mm 团聚体含量显著高于草原带土壤>0.25 mm 团聚体含量,各种形态的有机碳随着土壤团聚体粒级的增大有机碳含量呈先增加后减少或者随着团聚体粒级的增大而增大的趋势,2~0.25 mm 和<0.25 mm 团聚体中有机碳含量最高;(4)草原带每种植被群落土壤活性有机碳含量空间差异性较大,辽东栎群落各种形态土壤有机碳含量的空间差异性都较大,<0.25 mm 团聚体腐殖质碳含量大于其他粒径;(5)草原带人工沙棘群落土壤各种形态有机碳在土壤剖面上的含量差异很小,其他各植被群落 0~10 cm 土层土壤有机碳含量均大于 10~20 cm 土层。

关键词 黄土高原 植被群落 森林地带 草原地带 土壤团聚体 有机碳

中图分类号: S152.4; 153.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2013)03-0324-09

Soil organic carbon and its fractions in aggregates under different plant communities in the hill-gully region of the Loess Plateau

MA Rui-Ping^{1,2}, LIU Lei², AN Shao-Shan^{1,2}, DANG Ting-Hui^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract Vegetation communities have been noted to affect soil organic carbon content via the addition of outer soil organic matter that in turn contribute to the formation of soil aggregates. The fractions of organic carbon in soil aggregates under different vegetation communities (forest and steppe zones) in the hill-gully region on the Loess Plateau were studied in this paper to explore the effect of different vegetation communities on soil structure. The study showed that: (1) Total soil organic carbon content in the forest zone of the study area was higher than that in the steppe zone. The order of total organic carbon for the plant communities in the forest zone was: *Quercus liaotungensis* community > *Robinia pseudoacacia* community > *Sophora viciifolia* community. Also the order of total organic carbon for the plant communities in the steppe zone was: *Hippophae rhamnoides* community > *Lespedeza davurica* + *Artemisia giraldii* community > *Artemisia sacrorum* + *L. davurica* community. (2) The proportions of active to total organic carbon and that of humus to total organic carbon were similar under each vegetation zone. However, the proportion of active to total organic carbon was greater than that of humus to total organic carbon under each vegetation community. (3) The >0.25 mm aggregates under the forest zone was significantly higher than that under the steppe zone. The pattern of the various forms of organic

* 国家自然科学基金重点项目(41030532)、国家自然科学基金面上项目(41171226)和西北农林科技大学“优秀人才科研专项”计划(QN2011049)资助

** 通讯作者: 安韶山(1972—), 男, 博导, 副研究员, 主要研究方向为土壤生态学、水土保持效益评价。E-mail: shan@ms.iswc.ac.cn
马瑞萍(1986—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为植被恢复与土壤固碳机制。E-mail: marp0825@126.com

收稿日期: 2012-08-27 接受日期: 2012-11-22

matter in the soil particles suggested initial increase in organic carbon, followed by decrease or flat curve with increasing aggregate size. A large proportion of soil organic carbon existed in 2~0.25 mm and <0.25 mm aggregates. (4) Active organic carbon content was significantly spatially different under the steppe zone. Each form of organic carbon in the *Q. liaotungensis* community was also significantly spatially different. The <0.25 mm aggregate humus was greater than other aggregates in the *Q. liaotungensis* community. (5) Unlike the other vegetation communities, there was no significant difference in terms of soil organic carbon between the 0~10 cm and 10~20 cm soil layers in the *H. rhamnoides* community.

Key words The Loess Plateau, Plant community, Forest zone, Steppe zone, Soil aggregate, Organic carbon

(Received Aug. 27, 2012; accepted Nov. 22, 2012)

黄土高原由于受其地理位置、地形地貌、气候因素、土壤结构及人类活动等多种因素的影响,成为我国水土流失最为严重、生态环境最为脆弱的地区之一^[1]。植被恢复是黄土高原侵蚀地区生态环境建设的重要措施,植被的生长演替会改变土壤有机碳含量^[2]。不同植被,由于其自身有机物质组成有所差异,导致进入土壤的植物凋落物的性质和数量不同而影响土壤碳组分的转化和循环^[2]。土壤有机碳是土壤团聚体形成的主要胶结剂,有机碳含量和质量在一定程度上影响土壤团聚体的形成和稳定^[3]。土壤团聚体的形成过程是土壤固碳的途径之一^[4],研究碳在不同大小团聚体中的分布是了解土壤总有机碳动态变化的重要手段^[5]。通过植被恢复增加土壤碳从而促进土壤大小团聚体的形成,进而改善土壤环境,提高土壤生态功能是解决黄土高原生态问题的有效途径。

到目前为止对于土壤活性有机碳还没有一个严谨、确切的定义,但通常认为它是土壤中移动较快、不稳定、易氧化、易分解、易矿化的那部分土壤有机碳;腐殖质碳则是动植物残体在微生物作用下通过复杂转化而形成的一类较稳定的土壤有机碳组分。对活性有机碳和腐殖质碳进行研究可以较全面地了解土壤中易变化和较稳定的碳组分。目前,对于黄土高原侵蚀地区植被恢复后土壤生态功能提高的研究较多^[6-9],对土壤团聚体的水稳性与有机碳含量之间的相关性也已做了相当多的研究^[10-12]。研究表明,不同土壤条件下,大小不同的团聚体中有机碳含量有较大差异^[13],碳主要富集在 2.00~0.25 mm 的大团聚体中^[14-15]。目前,不同团聚体中碳研究的报道主要涉及单一形态碳在不同粒级团聚体中的分布^[16-17]。本文以黄土丘陵区不同植被带下不同的植被群落为研究对象,旨在研究不同植被群落对团聚体中碳组分的影响,以了解有机碳在土壤团聚体中的存在形态,探究不同植被群落对土壤结构改良和环境改善的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域与样地概况

研究区域选在延河流域,位于 36°23'~37°17'N,

108°45'~110°28'E,流域全长 286.9 km,总面积 7 687 km²,平均坡度为 4.3‰,河网密度约为 4.7 km·km⁻²。本流域属大陆性气候,年降雨量 500 mm 左右,年平均气温 9℃,立地环境多变,从东南向西北,降雨、温度具有明显的梯度变化特征,植被分布也呈现渐次变化^[18]。在该区域内选择两个植被带:(1)森林带,地处陕西省安塞县楼坪乡,位于延河流域一级支流西川流域(36°31'13"~36°35'26"N, 109°7'34"~109°10'34"E),海拔 1 166~1 490 m,流域总面积 20.61 km²。土壤类型以黄绵土为主,间有复钙红黏土、典型黑垆土和冲积土。(2)草原带,地处陕西省安塞县镰刀湾乡高家沟村,位于延河上游干流(37°12'31"~37°16'36"N, 108°58'5"~109°2'52"E),海拔 1 245~1 634 m,流域总面积 27.31 km²。土壤类型以黄绵土为主,间有少量典型黑垆土。根据当地实际植被状况,在森林带和草原带分别选择 3 种优势植被群落作为研究对象,其中,森林带包括辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、狼牙刺(*Sophora viciifolia*)、人工刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等 3 种植被群落;草原带包括铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、人工沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)+芨芨蒿(*Artemisia giraldii*)等 3 种植被群落。详见表 1。

1.2 土样采集与分析项目

野外采样于 2011 年 7 月进行,分别采集 0~10 cm 和 10~20 cm 土层的原状土壤样品,在每个植被类型下,乔木林设置 20 m×20 m、灌木林设置 10 m×10 m、草地设置 5 m×5 m 的样区各 3 个,调查植被群落特征(表 2),采集土壤样品,每个样区里采样 2 次,2 个采样点相距约 100 m。待样品风干后,用沙维诺夫干筛法^[19]将其依次过 5 mm、2 mm 和 0.25 mm 筛,收集>5 mm、5~2 mm、2~0.25 mm、<0.25 mm 各个粒级的团聚体土样,按照比例取 50 g 团聚体土样,根据约得法^[19]进行湿筛;其余土样研磨分别过 1 mm 和 0.15 mm 的筛用于有机碳组分分析。

总有机碳测定用重铬酸钾-硫酸外加热法^[20];活性有机碳用浓度为 333 mmol·L⁻¹的 KMnO₄ 氧化,在 565 nm 下分光光度计比色测定^[21-22];腐殖质碳总量用焦磷酸钠提取,重铬酸钾法^[23]测定。

表 1 研究样地概况
Table 1 General situation of sampling plots

植被带	植被群落	经纬度	海拔	坡向	坡度	恢复类型
Vegetation zone	Vegetation community	Longitude and latitude	Elevation (m)	Aspect	Slope (°)	Restoration type
森林带 Forest zone	Qu.l	109°10'E, 36°33'N	1 259	北偏东 26° North by east 26°	28	自然恢复 Natural restoration
	So.v	109°09'E, 36°34'N	1 346	南偏西 20° South by west 20°	27	自然恢复 Natural restoration
	Ro.p	109°09'E, 36°34'N	1 372	南偏西 15° South by west 15°	8	人工恢复 Artificial afforestation
草原带 Steppe zone	Ar.s+Le.d	108°59'E, 37°13'N	1 337	北 North	13	自然恢复 Natural restoration
	Hi.r	108°59'E, 37°13'N	1 370	南 South	5	人工恢复 Artificial afforestation
	Le.d+Ar-g	108°59'E, 37°13'N	1 270	南 South	43	自然恢复 Natural restoration

Qu.l: 辽东栎群落 *Q. liaotungensis* community; So.v: 狼牙刺群落 *S. viciifolia* community; Ro.p: 人工刺槐群落 Artificial *R. pseudoacacia* community; Ar.s+Le.d: 铁杆蒿+达乌里胡枝子群落 *A. sacrorum* and *L. davurica* community; Hi.r: 人工沙棘群落 Artificial *H. rhamnoides* community; Le.d+Ar-g: 乌里胡枝子+芡蒿群落 *L. davurica* and *A. giraldii* community. 表 2、3、图 1、2 同 The same as tables 2 and 3, and figure 1 and 2.

表 2 不同植被群落结构概况
Table 2 General information for structure composition of different vegetation communities

植被群落 Vegetation community	种数 No. of species	总体盖度 Overall coverage (%)	高度 Height (cm)			枯落物 Litter (g·m ⁻²)	
			乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herbal layer	鲜重 Fresh weight	干重 Dry weight
Qu.l	23	80	1 500.00	200.00	30.00	1 208.26	601.50
So.v	23	30	—	110.00	35.00	80.16	71.48
Ro.p	16	35	300.00	100.00	70.00	207.63	181.16
Ar.s+Le.d	20	44	—	—	38.48	54.67	50.99
Hi.r	28	76	—	—	29.52	54.09	47.60
Le.d+Ar-g	23	33	—	—	30.34	114.85	85.71

表中“—”表示该植被群落无相应特征值。In the table, “—” indicates there is no value for corresponding index.

1.3 数据处理与分析

测定结果经 EXCEL 初步处理以后, 用 SPSS 18.0 软件分析。

2 结果与分析

2.1 不同植被群落土壤水稳性团聚体的粒级分布

土壤团聚体是由微小矿物颗粒复合而成的稳定结构, 分为大团聚体(粒径>0.25 mm)和微团聚体(粒径<0.25 mm), 土壤水稳性团聚体含量是评价土壤结构性的重要指标^[24], >0.25 mm 水稳性团聚体含量越高说明土壤抗蚀性越好。由表 3 可以看出, 除人工刺槐群落外, 其他植被群落下 0~10 cm 土层>0.25 mm 水稳性团聚体含量均大于 10~20 cm 土层。森林带 0~10 cm 土层人工刺槐群落>0.25mm 水稳性团聚体含量明显低于辽东栎群落和狼牙刺群落, 而 10~20 cm 土层 3 种植被群落之间则无明显差异。草原带人工沙棘群落>0.25 mm 水稳性团聚体含量明显高于铁杆蒿+达乌里胡枝子群落和达乌里胡枝子+芡蒿群落。森林带 0~10 cm 土层 3 种植被群落>0.25 mm 水稳性团聚体平均含量为 50.52%, 10~20 cm 土层为 55.57%; 草原带 0~10 cm 土层 3 种植被群落>0.25

mm 水稳性团聚体平均含量为 25.74%, 10~20 cm 土层为 15.37%。由此可见, 森林带>0.25 mm 水稳性团聚体含量高于草原带。

2.2 森林带土壤有机碳粒径分布特征

研究结果表明(图 1), 0~10 cm 土层土壤总有机碳、活性有机碳以及腐殖质碳含量普遍高于 10~20 cm 土层, 符合整体土壤剖面有机碳变化趋势。辽东栎群落 0~10 cm 土层总有机碳含量为 10~20 cm 土层的 2.40 倍, 活性有机碳含量为 4.32 倍, 腐殖质碳含量为 3.83 倍; 狼牙刺群落 0~10 cm 土层总有机碳含量为 10~20 cm 土层的 1.52 倍, 活性有机碳含量为 2.05 倍, 腐殖质碳含量为 2.02 倍; 人工刺槐群落 0~10 cm 土层总有机碳含量为 10~20 cm 土层的 1.62 倍, 活性有机碳含量为 2.27 倍, 腐殖质碳含量为 1.76 倍。由此可见, 10~20 cm 土层有机碳含量显著低于 0~10 cm 土层。0~10 cm 土层总有机碳含量平均值为辽东栎群落(28.08 g·kg⁻¹)>人工刺槐群落(9.53 g·kg⁻¹)>狼牙刺群落(4.07 g·kg⁻¹); 活性有机碳含量平均值为辽东栎群落(11.18 g·kg⁻¹)>人工刺槐群落(3.29 g·kg⁻¹)>狼牙刺群落(1.23 g·kg⁻¹); 腐殖质碳含量平均值为辽东栎群落(7.02 g·kg⁻¹)>人工刺槐群落(1.53 g·kg⁻¹)>

表 3 不同植被类型不同层次不同粒级土壤水稳性团聚体相对含量

Table 3 Relative content of different sizes of water-stable aggregates in different soil layers under different vegetation communities

植被群落 Vegetation community	团聚体相对含量 Composition of aggregates (%)							
	0~10 cm				10~20 cm			
	>5 mm	5.0~2.0 mm	2.0~0.25 mm	<0.25 mm	>5 mm	5.0~2.0 mm	2.0~0.25 mm	<0.25 mm
Qu.l	20.19±18.95a	10.47±3.02a	29.43±7.94a	39.92±14.03b	16.45±3.22a	12.43±0.52a	25.62±0.76a	45.50±1.94b
So.v	35.47±15.93a	10.02±6.95a	11.60±4.81b	42.91±4.16b	23.98±28.13a	11.97±6.13a	22.04±13.94a	42.02±8.05b
Ro.p	16.34±6.13a	6.22±0.34a	11.85±1.32b	65.60±5.16ab	39.13±10.01a	5.18±0.44a	9.91±1.17a	45.77±8.39b
Ar.s+Le.d	8.84±3.54a	4.73±0.82a	7.31±1.65b	79.12±4.36a	0.68±0.96a	1.44±1.38a	4.15±2.60a	93.74±4.94a
Hi.r	21.69±6.74a	5.53±0.39a	11.13±0.45b	61.66±7.57ab	10.92±3.71a	5.67±1.49a	10.88±3.71a	72.53±8.91a
Le.d+Ar-g	11.15±8.49a	2.78±1.06a	4.07±3.13b	82.00±6.42a	7.09±6.73a	2.77±2.24a	2.51±1.43a	87.63±10.40a

同列不同字母表示差异达到 Q 检验 5%显著水平 Different lowercase letters in the same column mean significant difference at 0.05 level according to Student-Newman-Keuls test.

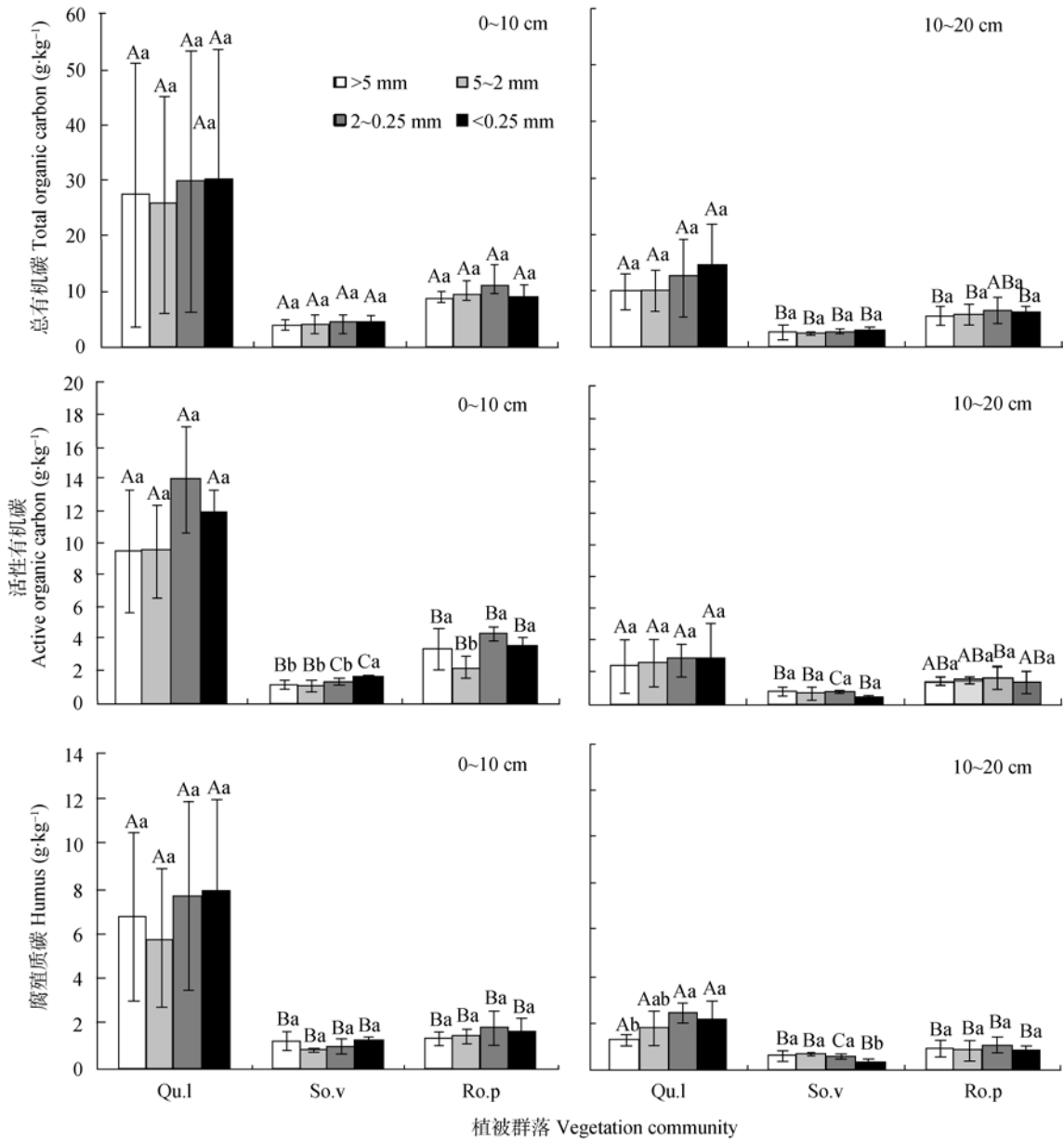


图 1 森林带不同植被群落不同层次土壤有机碳组分

Fig. 1 Component of organic carbon in soil layers under different vegetation communities at forest zone

图中不同大写字母表示不同植被群落同一粒级团聚体有机碳含量在 0.05 水平差异显著, 不同小写字母表示同一植被群落不同粒级团聚体有机碳含量在 0.05 水平差异显著, 误差线为标准差(n=6)。图 2 同。In the figure, different capital letters mean significant difference of organic carbon content among different vegetation communities in the same size aggregates at 0.05 level. Different lowercase letters mean significant difference of organic carbon content among different sizes aggregates in the same vegetation community at 0.05 level (according to Student-Newman-Keuls test). Error is standard deviation (n=6). Same as figure 2.

狼牙刺群落($1.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 10~20 cm 土层 3 种形态有机碳平均含量皆为辽东栎群落>人工刺槐群落>狼牙刺群落。显著性分析表明, 0~10 cm 土层 3 种植被群落总有机碳含量差异不显著($P > 0.05$, $n=6$), 辽东栎群落的 10~20 cm 土层总有机碳含量和其他 2 种形态有机碳含量分别与狼牙刺群落和人工刺槐群落之间均存在显著性差异($P < 0.05$, $n=6$); 而狼牙刺群落与人工刺槐群落之间差异不显著($P > 0.05$, $n=6$)。

团聚体中的有机碳含量分布整体表现为: 2~0.25 mm 最大, <0.25 mm 次之, 5~2 mm 和>5 mm 含量最低, 但具体情况根据植被群落、土层以及有机碳形态的不同而有所差异。辽东栎群落总有机碳含量及 0~10 cm 土层腐殖质碳含量在各粒级均表现为: <0.25 mm 大于 2~0.25 mm 大于>5 mm 大于 5~2 mm, 而其 10~20 cm 土层活性有机碳含量则表现为: <0.25 mm 大于 2~0.25 mm 大于 5~2 mm 大于>5 mm; 狼牙刺群落 10~20 cm 土层总有机碳含量和 0~10 cm 土层活性有机碳含量以及 0~10 cm 土层腐殖质碳总量均表现为: <0.25 mm 大于 2~0.25 mm 大于>5 mm 大于 5~2 mm。显著性分析表明, 狼牙刺群落 0~10 cm 土层土壤团聚体活性有机碳、狼牙刺群落和辽东栎群落 10~20 cm 土层腐殖质碳含量在团聚体间具有显著性差异($P < 0.05$, $n=6$), 其他情况下 3 种形态有机碳含量在各个粒级团聚体之间差异均不显著($P > 0.05$, $n=6$)。

2.3 草原带土壤有机碳粒径分布特征

由图 2 可知, 草原带 0~10 cm 土层有机碳含量亦高于 10~20 cm 土层有机碳含量。铁杆蒿+达乌里胡枝子群落 0~10 cm 土层总有机碳含量为 10~20 cm 土层的 1.57 倍, 活性有机碳含量为 3.06 倍, 腐殖质碳含量为 1.49 倍; 人工沙棘群落 0~10 cm 土层总有机碳含量为 10~20 cm 土层的 1.14 倍, 活性有机碳含量为 1.13 倍, 腐殖质碳含量为 1.07 倍; 达乌里胡枝子+芡蒿群落 0~10 cm 土层总有机碳含量为 10~20 cm 土层的 1.59 倍, 活性有机碳含量为 1.20 倍, 腐殖质碳含量为 1.86 倍。但整体来看, 草原带表层和亚表层土壤有机碳含量差异小于森林带土壤。0~10 cm 土层总有机碳含量整体平均值为人工沙棘群落($7.05 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>达乌里胡枝子+芡蒿群落($4.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>铁杆蒿+达乌里胡枝子群落($3.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); 活性有机碳含量平均值为人工沙棘群落($2.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>达乌里胡枝子+芡蒿群落($1.67 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>铁杆蒿+达乌里胡枝子群落($1.48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$); 腐殖质碳含量平均值为人工沙棘群落($2.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>铁杆蒿+达乌里胡枝子群落($0.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)>达乌里胡枝子+芡蒿群落($0.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。10~20 cm 土层总有机碳和活性有机碳含量平均值均为人

工沙棘群落>达乌里胡枝子+芡蒿群落>铁杆蒿+达乌里胡枝子群落; 腐殖质碳含量平均值则表现为人工沙棘群落>铁杆蒿+达乌里胡枝子群落>达乌里胡枝子+芡蒿群落。显著性分析表明, 相同土层, 人工沙棘群落分别与铁杆蒿+达乌里胡枝子群落、达乌里胡枝子+芡蒿群落总有机碳含量和腐殖质碳含量均存在显著性差异($P < 0.05$, $n=6$); 铁杆蒿+达乌里胡枝子群落与达乌里胡枝子+芡蒿群落两种碳含量差异均不显著($P > 0.05$, $n=6$); 0~10 cm 活性有机碳含量在 3 种植被群落之间差异不显著($P > 0.05$, $n=6$); 而 10~20 cm 活性有机碳含量在 3 种植被群落之间存在显著性差异($P < 0.05$, $n=6$)。

同一植被群落相同土层团聚体中有机碳随着团聚体粒径的减小呈现先逐渐增加再减少的趋势, 2~0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量最高。显著性分析表明, 铁杆蒿+达乌里胡枝子群落 0~10 cm 土层土壤团聚体总有机碳含量在 2~0.25 mm 和<0.25 mm 团聚体间具有显著性差异($P < 0.05$, $n=6$), 该群落其他情况下, 有机碳在团聚体中的含量差异不显著($P > 0.05$, $n=6$)。人工沙棘群落 0~10 cm 土层土壤团聚体活性有机碳在团聚体间差异不显著($P > 0.05$, $n=6$), 该群落其他情况下有机碳在团聚体中的含量具有显著性差异($P < 0.05$, $n=6$)。达乌里胡枝子+芡蒿群落 0~10 cm 土层腐殖质碳含量 2~0.25 mm 团聚体与其他粒级团聚体之间差异显著($P < 0.05$, $n=6$), 其他均无显著性差异。

2.4 森林带与草原带土壤有机碳组分之间的差异

总体来看, 森林带土壤各种形态有机碳含量显著高于草原带, 两种植被带同一形态有机碳占总有机碳的比例基本相同, 同一植被带下活性有机碳占总有机碳的比例高于腐殖质碳占总有机碳的比例。由表 3 可见, 森林带土壤>0.25 mm 团聚体占团聚体总量的比例显著高于草原带, 这是因为森林带植被生物量较大, 枯落物量较多, 进入土壤的有机物质多从而增加了土壤中的有机碳含量, 为土壤大团聚体的形成奠定了基础。植被恢复方式对土壤中有机碳的含量也有一定影响, 这在草原带体现的较为突出, 人工沙棘群落各种形态有机碳含量明显高于其他两种植被群落。由图 1、2 可以看出, 辽东栎群落由于野外重复之间各种有机碳含量差异大, 造成统计分析则表现为各种形态有机碳含量的标准偏差较大, 说明该群落土壤有机碳含量的空间差异性较大; 草原带每种植被群落活性有机碳含量空间差异性也较大, 可能是因为草原带总有机碳含量比较低, 且活性有机碳容易受环境的影响而转化。

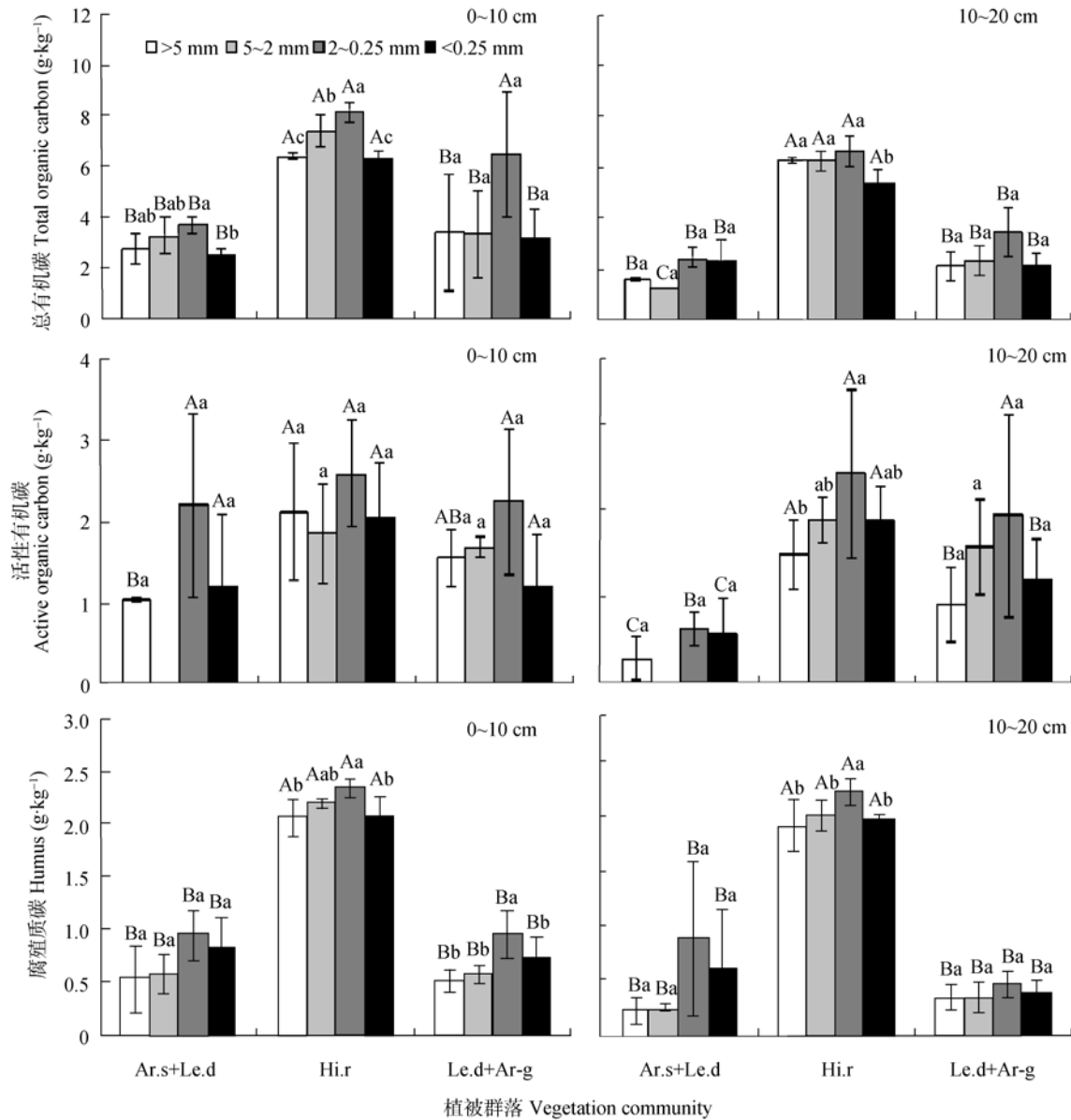


图2 草原带不同植被群落不同层次土壤有机碳组分

Fig. 2 Component of organic carbon in soil layers under different vegetation communities at steppe zone

3 讨论

有机碳是土壤团聚体形成的胶结物质, 土壤团聚体是有机碳存在的场所^[25], 研究不同形态的有机碳在各个粒级团聚体中的分布是了解土壤有机碳动态变化的主要途径之一^[5], 对研究有机碳在团聚体稳定性方面的作用也具有重要意义^[13]。

土壤有机碳含量主要受植被类型的影响, 本研究涉及的两个植被带, 森林带土壤总有机碳含量 ($10.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 明显高于草原带 ($4.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。森林带辽东栎群落有机碳含量显著高于其他植被群落, 但其有机碳含量空间变异性较大, 可能是由于乔木根系较大分布较深, 在 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层根系分布相对较少, 而该地区灌木和草本相间分布, 其根系相对小而密集且大多分布在表层土壤, 从而导致该群落有

机碳分布不均匀。人工刺槐群落有机碳含量也高于自然生长的狼牙刺群落, 可能是由于植被自然演替是一个十分漫长的过程, 人工栽植刺槐使得短期内该群落下土壤有机碳积累迅速。而狼牙刺群落则由于其恢复年限较短, 植被群落结构只处于植被演替的低级阶段, 输入土壤的有机物质少, 从而土壤有机碳含量较低。草原带人工沙棘群落有机碳含量明显高于铁杆蒿+达乌里胡枝子群落和达乌里胡枝子+芡蒿群落, 由此更加说明人工调控可以加快植被恢复进程, 从而增加土壤有机碳, 改善土壤结构和土壤环境。

本研究所涉及的 6 种植被群落下, 土壤活性有机碳含量占总有机碳的比例在各个粒级团聚体之间表现为: $>5 \text{ mm}$ 团聚体占 $28\% \sim 44\%$, 平均为 32% ;

5~2 mm 团聚体占 24%~34%, 平均为 28%; 2~0.25 mm 团聚体占 28%~46%, 平均为 37%; <0.25 mm 团聚体占 28%~45%, 平均为 38%; 其中草原带 3 种植被群落活性有机碳占总有机碳的百分比含量均高于森林带, 以达乌里胡枝子+芨芨群落最高。腐殖质碳含量占总有机碳的比率在各个粒级团聚体之间表现为: >5 mm 团聚体占 15%~31%, 平均为 21%; 5~2 mm 团聚体占 16%~31%, 平均为 20%; 2~0.25 mm 团聚体占 14%~31%, 平均为 22%; <0.25 mm 团聚体占 20%~34%, 平均为 24%, 森林带 3 种植被群落腐殖质碳占总有机碳含量均高于草原带。由此可见, 两种有机碳分别占总有机碳的比例在各粒级团聚体间差异均不显著, 所占比例大小顺序均为: <0.25 mm 团聚体大于 2~0.25 mm 团聚体大于 >5 mm 团聚体大于 5~2 mm 团聚体。Conteh 等^[26]研究认为, 农田活性有机碳含量占总有机碳含量的 9%~19.7%, 天然植被则达到 20.18%~26.1%; 有研究^[27]认为土壤腐殖质碳占总有机碳总量的 50%~65%。本研究中每种植被群落下各个粒级土壤团聚体活性有机碳占总有机碳的比例与 Conteh 等^[26]的研究结果相符。腐殖质碳占总有机碳的比例低于活性有机碳占总有机碳的比例, 可能是因为该区域植被恢复大多为自然恢复而且时间尚短, 进入土壤中的有机物量有限, 并且大多以易分解矿化的活性有机碳形式存在, 同时分解提供植被生长所需的养分, 有机物质不能有效积累使腐殖质的形成进程减慢, 腐殖质碳含量较低。

本研究结果还表明: 土壤总有机碳、活性有机碳以及腐殖质碳在森林带和草原带各种种植被群落下的含量, 以及活性有机碳和腐殖质碳在总有机碳中所占的比例虽不同, 但是草原带的 3 种植被群落以及森林带的狼牙刺群落和人工沙棘群落各种形态有机碳在团聚体中的分布模式大体相同, 都呈“^”分布, 随着粒级的增大有机碳含量呈先增加后减少的趋势, 3 种形态的有机碳均在 2~0.25 mm 团聚体中含量较高。李楠等^[13]对重庆紫色水稻土中活性有机碳的研究, 华娟等^[17]对云雾山地区土壤中活性有机碳的研究, 以及安韶山等^[28]对该地区总有机碳的研究也都得出相同结论, 相关研究^[29-30]也发现大量的有机碳存储在 2~0.25 mm 的团聚体中。Puget 等^[31]和 Elliott 等^[32]的研究结果表明, 大团聚体中的有机碳比微团聚体中的有机碳年轻, 大团聚体中的有机碳更容易矿化, 而微团聚体中的有机碳则大多是高度腐殖化的惰性组分。本研究结果表明, 森林带 0~10 cm 土层 3 种植被群落腐殖质碳总量以<0.25 mm 团聚体含量最高, 也说明微团聚体中, 碳主要是以高

度腐化的腐殖质形态存在, 由于其不易矿化而大量积累。辽东栎群落<0.25 mm 团聚体总有机碳含量大于其他粒径, 这不符合很多学者的研究结果^[33-34], 可能是由于微团聚体中有机碳主要是以稳定的腐殖质碳占优势, 由于其不断积累而总有机碳含量升高; 大团聚体中有机碳则主要以易分解、矿化的活性有机碳占优势, 由于活性有机碳的分解、矿化而总有机碳含量不断降低, 从而导致<0.25 mm 团聚体总有机碳含量最高。

4 结论

研究区域森林带土壤有机碳含量明显高于草原带, 各植被群落之间总有机碳含量顺序为: 辽东栎群落(19.87 g·kg⁻¹)>人工刺槐群落(7.70 g·kg⁻¹)>人工沙棘群落(6.62 g·kg⁻¹)>狼牙刺群落(3.37 g·kg⁻¹)>达乌里胡枝子+芨芨群落(3.33 g·kg⁻¹)>铁杆蒿+达乌里胡枝子群落(2.51 g·kg⁻¹), 人工刺槐群落和人工沙棘群落土壤有机碳含量较高, 则人工调控可加快土壤有机碳积累。每种植被群落下, 各个粒级团聚体中活性有机碳占总有机碳的比例集中在 24%~46%, 平均相差 10%; 腐殖质碳占总有机碳的比例集中在 14%~34%, 平均相差 13%。两种形态有机碳占总有机碳的比例在各粒级团聚体间差异均不显著, 相同植被类型所有粒级团聚体中, 活性有机碳占总有机碳的比例高于腐殖质碳占总有机碳的比例, 平均高出 12%。各种形态有机碳含量随着粒级的增大呈先增加后减少或随粒级的增大而增加的趋势, 以 2~0.25 mm 和<0.25 mm 粒级的团聚体中含量较高, 辽东栎群落土壤<0.25mm 团聚体中腐殖质含量大于其他粒径, 说明微团聚体中碳主要是以高度腐化的腐殖质形态存在, 由于其不易矿化而大量积累。

参考文献

- [1] 张笑培, 杨改河, 王和洲, 等. 植被恢复土壤抗蚀性响应及其评价研究[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(3): 353-355
Zhang X P, Yang G H, Wang H Z, et al. Soil anti-erodibility and assessment of different vegetation restoration[J]. Research of Agricultural Modernization, 2010, 31(3): 353-355
- [2] 苏静, 赵世伟, 马继东, 等. 宁南黄土丘陵区不同人工植被对土壤碳库的影响[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 50-53
Su J, Zhao S W, Ma J D, et al. Influence of man-made vegetation on carbon pool in southern Ningxia region in loess plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(3): 50-53
- [3] Christensen B T. Carbon in primary and secondary organ mineral complexes[M]//Cater M R, Stewart A B, eds. Structure and organic matter storage in agricultural soils. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc. 1996: 97-165
- [4] Lal R, Kimble J M. Conservation tillage for carbon

- sequestration[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 49(1/3): 243–253
- [5] Christensen B T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates[J]. *Advances in Soil Science*, 1992, 20: 1–90
- [6] 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
Cha X, Tang K L, Zhang K L, et al. The impact of vegetation on soil characteristics and soil erosion[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1992, 6(2): 52–58
- [7] 王国梁, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[J]. *水土保持通报*, 2002, 22(1): 1–5
Wang G L, Liu G B, Xu M X. Effect of vegetation restoration on soil nutrient changes in Zhifanggou watershed of Loess Hilly Region[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(1): 1–5
- [8] 常庆瑞, 安韶山, 刘京. 黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J]. *水土保持学报*, 1999, 5(4): 6–9
Chang Q R, An S S, Liu J. Study on benefits of recovering vegetation to prevent land deterioration on loess plateau[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1999, 5(4): 6–9
- [9] 程曼, 成毅, 安韶山. 宁南山区退耕对土壤微生物生物量和酶活性的影响[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 142–147
Cheng M, Cheng Y, An S S. Effects of cropland conversion on soil microbial biomass and enzymatic activities in the Loess Hilly area of Ningxia[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(5): 142–147
- [10] 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
Chen E F, Guan L Z, Wang J K, et al. Compositional proportion of soil characteristic microaggregates and soil fertility evaluation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(1): 49–53
- [11] Oades J M. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management[J]. *Plant and Soil*, 1984, 76(1/3): 319–337
- [12] Jobbagy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(2): 423–436
- [13] 李楠, 蒋先军, 曹良元. 不同形态的有机碳在土壤团聚体中的分布及耕作的影响[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2009, 31(3): 126–129
Li N, Jiang X J, Cao L Y. Distribution patterns of different forms of organic carbon within soil aggregates and the effects of tillage methods on them[J]. *Journal of Southwest University (Natural Sciences)*, 2009, 31(3): 126–129
- [14] Cambardella C A, Elliot E T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57(4): 1071–1076
- [15] Gupta V V S R, Germuda J J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1988, 20(6): 777–786
- [16] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 702–709
Xie J S, Yang Y S, Chen G S, et al. Effects of vegetation restoration on water stability and organic carbon distribution in aggregates of degraded red soil in subtropics of China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 702–709
- [17] 华娟, 赵世伟, 张扬, 等. 云雾山草原区不同植被恢复阶段土壤团聚体活性有机碳分布特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 4614–4619
Hua J, Zhao S W, Zhang Y, et al. Distribution characteristics of labile organic carbon in soil aggregates in different stages of vegetation restoration of grassland in Yunwu Mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4614–4619
- [18] 曹剑侠, 温仲明, 李锐. 延河流域典型物种分布预测模型比较研究[J]. *水土保持通报*, 2010, 30(3): 134–139
Cao J X, Wen Z M, Li R. Comparison of predictive models for representative species distribution in Yanhe River Basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(3): 134–139
- [19] 刘孝义. 土壤物理及土壤改良研究法[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982
Liu X Y. Research of soil physics and soil improvement[M]. Shanghai: Science and Technology Press in Shanghai, 1982
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2007
Bao S D. Soil agro-chemical analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2007
- [21] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. *Australian Journal of Agriculture Research*, 1995, 46(7): 1459–1466
- [22] 刘合明, 杨志新, 刘树庆. 不同粒径土壤活性有机碳测定方法的探讨[J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 2046–2049
Liu H M, Yang Z X, Liu S Q. Methods for determining labile orange matter in different sized soil particles of different soils[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2008, 17(5): 2046–2049
- [23] 文启孝. 土壤有机质研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1984
Wen Q X. Research methods of soil organic matter[M]. Beijing: Agriculture Press, 1984
- [24] 王晶, 何忠俊, 王立东, 等. 高黎贡山土壤腐殖质特性与团聚体数量特征研究[J]. *土壤学报*, 2010, 47(4): 723–732
Wang J, He Z J, Wang L D, et al. Properties of humus and content of soil aggregates in soils on Gaoligong Mountain[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(4): 723–732
- [25] 刘中良, 宇万太. 土壤团聚体中有机碳研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(2): 447–455
Liu Z L, Yu W T. Review of researches on soil aggregate and soil organic carbon[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(2): 447–455
- [26] Conteh A, Lefroy R D B, Blair G J. Dynamics of organic matter in soils as determined by variations in $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratios and fraction by ease of oxidation[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 1997, 36: 1049–1055
- [27] 邵杰传. 土壤有机质[M]. 土壤, 1980(6): 226–234
Tai J C. Soil organic mater[M]. *Soil*, 1980(6): 226–234
- [28] 安韶山, 张玄, 张扬, 等. 黄土丘陵区植被恢复中不同粒级土壤团聚体有机碳分布特征[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 109–113

An S S, Zhang X, Zhang Y, et al. Distribution of organic carbon in different soil aggregates size during revegetation in Hilly-Gully region of Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(6):109-113

[29] Wright A L, Hons F M. Carbon and nitrogen sequestration and soil aggregation under sorghum cropping sequences[J]. Biology and Fertility of Soils, 2004, 43: 265-272

[30] Cambardella C A, Elliott E T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions[J]. Geoderma, 1993, 56(1/4): 449-457

[31] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregate[J]. European Journal of Soil Science, 2000, 51(4): 595-605

[32] Elliott E T, Cambardella C A. Physical separation of soil organic matter[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1991, 34(1/4): 407-419

[33] Spaccini R, Zena A, Igwe C A, et al. Carbohydrates in water-stable aggregates and particle size fractions of forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems[J]. Biogeochemistry, 2001, 53(1): 1-22

[34] 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



中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心
2013 年硕士招生目录

单位代码: 80156 地址: 石家庄市槐中路 286 号 邮政编码: 050022
联系部门: 人教部门 电话: 0311-85801050, 85814366 联系人: 王老师, 毛老师

学科、专业名称(代码) 研究方向	指导教师	预计招生人数	考试科目	备注
071300 生态学		15		实际招生人数以国家下达指标为准
01 农田碳氮过程与环境效应	胡春胜		①101 思想政治理论②201 英语一 ③603 高等数学(丙)④841 生态学	
02 山地生态工程固碳过程研究	张万军		同上	
03 生态水文	沈彦俊 杨永辉		同上	
04 盐碱地生态工程	刘金铜		同上	
05 植物抗逆生理生态	刘小京		同上	
06 小麦抗旱节水生理遗传育种	张正斌		①101 思想政治理论②201 英语一 ③611 生物化学(甲)④848 植物生理学	
07 小麦遗传育种	李俊明		同上	
08 小麦优异基因的发掘和利用	安调过		同上	
09 植物发育及抗逆生理	刘西岗		同上	
10 植物抗逆分子机理研究	李 霞		同上	
11 植物免疫信号转导	吕东平		同上	
12 作物水分高效利用与节水技术	刘孟雨		同上	
13 作物水分关系	张喜英		同上	
085238 生物工程		4		实际招生人数以国家下达指标为准
01 小麦抗旱节水生理遗传育种	张正斌		①101 思想政治理论②201 英语一 ③338 生物化学④848 植物生理学	
02 小麦遗传育种	李俊明		同上	
03 植物抗逆分子机理研究	李 霞		同上	