

秸秆覆盖条件下紫云英间作油菜的土壤团聚体及有机碳特征

周 泉^{1,2} 王龙昌^{1*} 邢 毅¹ 马淑敏¹ 张小短¹ 陈 娇¹ 石 超¹

(¹西南大学农学与生物科技学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室/南方山地农业教育部工程研究中心, 重庆北碚 400716; ²江西农业大学作物生理生态与遗传育种教育部/江西省重点实验室, 南昌 330045)

摘 要 我国西南旱地紫色土区水土流失严重、土层浅薄、土壤有机质下降、保水保土能力差,已成为农业可持续发展的主要限制因素。通过引入冬季绿肥紫云英,研究秸秆覆盖条件下紫云英间作油菜的土壤团聚体及有机碳特征,为该地区改善农田土壤团聚体结构和提高有机碳含量提供可借鉴的途径。结果表明:间作紫云英增加了油菜根际土壤微团聚体含量,促使其团聚体平均质量直径降低。油菜根际土壤大团聚体含量的变化主要是由 10~5 mm 和 5~2 mm 团聚体含量的变化引起,而微团聚体含量的变化主要是由 0.25~0.053 mm 团聚体含量的变化引起。间作紫云英和秸秆覆盖显著提高了后茬作物玉米季土壤有机碳含量,主要是因为影响了 10~20 cm 和 20~30 cm 土层总有机碳的含量。间作紫云英和秸秆覆盖虽然对油菜季总有机碳含量的增加不明显,但对 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层总有机碳含量的影响却随着油菜生育期的进行逐渐增加,在蕾薹期、开花期和收获期表现出较大差异。可见,间作紫云英改变了油菜根际土壤团聚体特征,秸秆覆盖条件下紫云英间作油菜可提高农田土壤有机碳含量。

关键词 紫色土; 绿肥; 根系互作; 土壤团聚体; 土壤有机碳

Effects of Chinese milk vetch intercropped with rape under straw mulching on soil aggregate and organic carbon character. ZHOU Quan^{1,2}, WANG Long-chang^{1*}, XING Yi¹, MA Shu-min¹, ZHANG Xiao-duan¹, CHEN Jiao¹, SHI Chao¹ (¹College of Agronomy and Biotechnology, South-west University/Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education/Engineering Research Center of South Upland Agriculture, Ministry of Education, Beibei 400716, Chongqing, China; ²Ministry of Education and Jiangxi Province Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China).

Abstract: There are severe soil erosion, shallow soil, reduction of soil organic matter, and poor soil and water conservation in purple soil areas in Southwest China, which become the main limiting factors for the sustainable development of agriculture. A series of buckets and field experiments in the field were employed to explore the soil aggregate and soil organic carbon in response to Chinese milk vetch intercropped with rape under straw mulching, aiming to improve soil aggregate structure and increase organic carbon content. Results showed that intercropped Chinese milk vetch increased soil micro-aggregate content in rape rhizosphere, and reduced soil aggregate mean mass diameter. The change of soil macro-aggregate in rape rhizosphere was mainly caused by the change of content of soil aggregate on 10–5 mm and 5–2 mm, while the soil micro-aggregate was mainly caused by soil aggregate on 0.25–0.053 mm. Intercropped Chinese milk vetch and straw mulching significantly increased soil organic carbon content after corn growing season, with increasing the content of soil organic carbon on 10–20 cm and 20–30 cm. Though intercropped Chinese milk vetch and straw

本文由国家自然科学基金项目(31271673, 31700364, 31871583)和公益性行业(农业)科研专项(201503127)资助 This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31271673, 31700364, 31871583) and the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201503127).

2018-09-28 Received, 2019-01-29 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanglc2003@163.com

mulching had less effect on soil total organic carbon in rape season, more and more significant effect on 0–10 cm, 10–20 cm, and 20–30 cm with rape growing, especially in stem elongation stage, flowering stage, and harvest stage. Our results showed that the characteristic of soil aggregate in rape rhizosphere could be changed by intercropped Chinese milk vetch, and that the content of soil organic carbon could be increased by Chinese milk vetch intercropped with rape under straw mulching.

Key words: purple soil; green manure; root interaction; soil aggregate; soil organic carbon.

土壤团聚体的形成与动态变化及团聚体稳定性等是土壤结构研究的重要内容^[1].作为土壤结构的基本单元,土壤团聚体与土壤的物理、化学和生物学特性直接相关,其含量与粒级分布不仅影响作物生长发育,而且对土壤抗蚀性和可持续利用等有重要影响^[2–3].土壤有机碳(SOC)不仅是土壤养分转化的重要参与者,而且是土壤环境质量演变的核心^[4],其数量与质量直接影响土壤各种物理、化学和生物学过程,同时根际土壤有机碳也是碳动态研究的热点问题.

我国西南旱地紫色土区水土流失严重、土层浅薄、土壤有机质下降、保水保土能力差,已成为农业可持续发展的主要限制因素.近年来,对西南紫色土区农田保护性耕作的效应和模式研究证明,以秸秆覆盖、垄作为主的保护性耕作在保土保水、改善土壤肥力、增加固碳潜力、提高作物产量方面有显著效益^[5–8].农田进行绿肥作物覆盖,不仅可以提高土壤养分,为下茬作物提供氮源,其根茬和枯枝落叶残体归还土壤,还可逐渐增加土壤有机碳含量^[9–10].因此,本研究在旱地紫色土区农田引入冬季绿肥紫云英,以探索农田土壤可持续发展途径为主要目标,重点研究秸秆覆盖条件下紫云英间作油菜的土壤团聚体及有机碳特征,以期为该地区改善农田土壤团聚体结构和提高有机碳含量提供可借鉴的途径.

1 研究地区与研究方法

1.1 试验地概况

本试验于2014年10月至2016年9月在重庆市北碚区西南大学教学试验农场(29°48′23″N, 106°25′35″E)进行.当地多年平均降雨量1156.8 mm,其中春、夏、秋、冬降雨量分别为全年的25.3%、46.8%、22.5%和5.4%,年蒸发量1181.1 mm,年日照时数在888.5~1539.6 h,日照百分率仅为25%~35%,冬季日照更少,仅占全年的10%左右.试验所用土壤为西南旱地紫色土,地力相对均匀.试验前土壤pH值6.30,有机碳8.61 g·kg⁻¹,碱解氮80.38 mg·kg⁻¹,速

效磷41.08 mg·kg⁻¹,速效钾106.20 mg·kg⁻¹.

1.2 试验设计

试验一:桶栽试验,放置在大田环境下,绿肥作物为紫云英(晚熟品种),主作物为油菜(品系为94005),于2014年11月4日播种,2015年4月19日收获,随机区组排列,3×2双因素试验设计,3次重复.设3种隔根方式:1)完全隔根(F):用塑料膜完全隔根,无根系互作,相当于单作;2)部分隔根(P):用120目尼龙网隔根,根系部分互作,养分互通,相当于部分间作;3)不隔根(N):根系完全互作,相当于完全间作.设2种覆盖方式:1)无秸秆覆盖(T):作物生长期均不进行秸秆覆盖;2)秸秆覆盖(S):于作物播种期将相当于3750 kg·hm⁻²的水稻秸秆均匀覆盖(每桶0.15 kg).共6个处理:分别为:FT(完全隔根+无秸秆覆盖)、FS(完全隔根+秸秆覆盖)、PT(部分隔根+无秸秆覆盖)、PS(部分隔根+秸秆覆盖)、NT(不隔根+无秸秆覆盖)、NS(不隔根+秸秆覆盖)(表1).

试验在160 L(高70 cm,上口径57 cm,下口径40 cm)的钢化桶内进行,每桶装土50 kg,施氮肥(N)0.10 g·kg⁻¹,磷肥(P₂O₅)0.10 g·kg⁻¹,钾肥(K₂O)0.10 g·kg⁻¹,肥料为三洋牌16-16-16三元素复合肥,所有肥料与土混匀后于播种前一次性施入,分3行平行摆布,行间距1 m×1 m.紫云英和油菜采取条播(间距20 cm),每桶各播种一行,其中紫云英播种量为45 kg·hm⁻²(每桶0.15 g),出苗后每桶各留2株油菜(株距20 cm).

试验二:大田试验,于2015年9月开始,2016年9月结束,随机区组排列,2×3双因素试验设计.设2种覆盖方式:1)无秸秆覆盖(T):作物生长期均不进行秸秆覆盖;2)秸秆覆盖(S):于作物播种期将3750 kg·hm⁻²玉米秸秆均匀覆盖(11.25 kg·30 m⁻²);设3种植植方式:1)油菜单作(R):油菜单作,采用宽窄行穴播方式,株距20 cm,宽行距80 cm,窄行距20 cm;2)紫云英单作(A):紫云英单作,采用撒播方式,播种量为45 kg·hm⁻²;3)紫云英间作油

菜(AR):紫云英油菜间作,紫云英撒播在宽行内,播种量为 $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,油菜穴播.共 6 个处理:TR(油菜单作+无秸秆覆盖)、TA(紫云英单作+无秸秆覆盖)、TAR(紫云英油菜间作+无秸秆覆盖)、SR(油菜单作+秸秆覆盖)、SA(紫云英单作+秸秆覆盖)、SAR(紫云英油菜间作+秸秆覆盖)(表 1).

大田小区试验为 3 次重复,小区面积 $3.5\text{ m}\times 7.8\text{ m}$,施肥、播种(移栽)等其他田间管理均按丰产栽培要求设计.施氮肥(N) $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,磷肥(P_2O_5) $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,钾肥(K_2O) $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,复合肥为三洋牌 16-16-16 三元素复合肥,所有肥料均于播种前一次性施入.紫云英于开花期收割还田,翻耕于宽行内,油菜收获后于宽行内种植玉米,玉米穴播.

1.3 测定指标与方法

试验一主要测定油菜根际土壤团聚体及有机碳,试验二主要测定农田土壤总有机碳.

油菜根际土壤样品采集:于油菜收获时取根际土壤样品,将植株根系用铁铲从土壤中挖出(保证根系完整),慢慢抖掉与根系结合比较松散的土壤,然后用经火焰灭菌的镊子刮取附着在作物根系上的薄层(<10 mm)土壤作为根际土壤,并将取得的土样弄碎混匀,按 4 分法取样,用无菌塑料袋包好,带回实验室后,自然晾干用于根际土壤总有机碳的测定.

农田土壤样品采集:于试验前、油菜苗期、蕾薹期、开花期、成熟期、收获后和玉米收获后分别取大田试验 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层土样进行农田土壤总有机碳的测定.

土壤团聚体测定:土壤团聚体粒级分布利用干筛法测定^[11].取 100 g 挑除草根等杂质的风干土样(<25 mm),置于套筛(10、5.0、2.0、1.0、0.25、0.053 mm)顶层,将套筛固定在摇床上以 210

$\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度震荡 5 min,收集各筛上样品称量.将不同粒径土壤团聚体研磨过筛,测定各粒径团聚体有机碳含量.利用各粒级团聚体数据,计算干团聚体平均质量直径(MWD)和平均几何直径(GMD).

平均质量直径(MWD)和平均几何直径(GMD)的计算公式如下:

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i$$
$$GMD = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n W_i \lg x_i}{\sum_{i=1}^n W_i}\right)$$

式中: W_i 为某级土壤团聚体干质量占总干质量的百分含量,即团聚体质量分数; n 为筛子的数目; X_i 为某级团聚体的平均直径.

土壤有机碳测定:将自然晾干后的根际土壤过 0.25 mm 土筛,用于测定总有机碳;另取 20 g 过 2 mm土筛的风干土样,按水土比 2:1 添加蒸馏水,在室温下 $200\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 震荡 30 min,再离心 20 min ($4000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$),然后用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液用于测定水溶性有机碳.土壤总有机碳和水溶性有机碳采用岛津 TOC 分析仪(TOC-L SSM-5000A and ASI-L,日本 SHIMADZU 公司)测定.经测定,试验土壤 pH 值低于 6.5,偏酸性,无机碳含量忽略不计,总碳即为土壤总有机碳含量.

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析.采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan 法进行方差分析和多重比较($\alpha=0.05$),用 Pearson 法进行相关分析.利用 Excel 2003 软件作图.图表中数据为平均值±标准差.

表 1 试验一和试验二处理描述
Table 1 Treatment descriptions of the 1st and 2nd experiments

试验一 The 1st experiment		试验二 The 2nd experiment	
代码 Code	处理 Treatment	代码 Code	处理 Treatment
FT	完全隔根+无秸秆覆盖 Full root separation + no straw mulching	TR	油菜单作+无秸秆覆盖 Rape monoculture + no straw mulching
FS	完全隔根+秸秆覆盖 Full root separation + straw mulching	TA	紫云英单作+无秸秆覆盖 Chinese milk vetch monoculture + no straw mulching
PT	部分隔根+无秸秆覆盖 Partial root separation + no straw mulching	TAR	紫云英油菜间作+无秸秆覆盖 Rape intercropped with Chinese milk vetch + no straw mulching
PS	部分隔根+秸秆覆盖 Partial root separation + straw mulching	SR	油菜单作+秸秆覆盖 Rape monoculture + straw mulching
NT	不隔根+无秸秆覆盖 No root separation + no straw mulching	SA	油菜单作+秸秆覆盖 Chinese milk vetch monoculture + straw mulching
NS	不隔根+秸秆覆盖 No root separation + straw mulching	SAR	紫云英油菜间作+秸秆覆盖 Rape intercropped with Chinese milk vetch + straw mulching

表 2 不同处理下油菜根际土壤团聚体结构特征
Table 2 Structural feature of rape rhizosphere soil aggregates under different treatments

处理 Treatment	大团聚体 质量分数 Mass fraction of large- aggregate (>0.25 mm) (%)	微团聚体 质量分数 Mass fraction of micro- aggregate (<0.25 mm) (%)	平均质量 直径 Mean mass diameter (MWD) (mm)	平均几何 直径 Mean geometric diameter (GMD) (mm)
FT	91.5±1.7a	4.7±1.6ab	4.8±0.3a	1.8±0.1a
FS	92.2±3.1a	3.8±0.4b	4.8±0.2a	1.8±0.0a
PT	90.1±1.3ab	5.3±1.4ab	4.4±0.4b	1.7±0.1a
PS	83.0±3.4c	3.9±0.5b	4.3±0.2b	1.8±0.1a
NT	89.1±2.4ab	6.0±1.5a	4.5±0.1ab	1.7±0.1a
NS	87.3±0.9b	4.1±0.5ab	4.5±0.2ab	1.8±0.0a

处理符号含义详见表 1 The meaning of each treatment symbol was detailed in table 1. 同列不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$) Different letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level.

2 结果与分析

2.1 油菜根际土壤团聚体结构特征

由表 2 可知,间作紫云英和秸秆覆盖对油菜根际土壤大团聚体、微团聚体和平均质量直径均有显著影响.其中,间作紫云英显著降低了油菜根际土壤大团聚体的质量分数,而且在秸秆覆盖下表现更为明显,同时间作紫云英显著提高了油菜根际土壤微团聚体质量分数;另外,间作紫云英还降低了油菜根际土壤平均质量直径.这说明间作紫云英有助于增加油菜根际土壤微团聚体含量,促使其团聚体平均质量直径降低.

通过对油菜根际土壤不同粒径干团聚体质量分数的分析发现(图 1),间作紫云英和秸秆覆盖显著影响了 10~5 mm、5~2 mm、0.25~0.053 mm 的干团

聚体含量,这说明油菜根际土壤大团聚体含量的变化主要是由于 10~5 mm 和 5~2 mm 团聚体含量的变化引起的,而微团聚体含量的变化主要是由于 0.25~0.053 mm 团聚体含量的变化引起的.

2.2 油菜根际土壤团聚体有机碳含量

对于油菜根际土壤团聚体有机碳含量,大团聚体呈现出随粒径减小而增大的趋势,微团聚体呈现出随粒径减小而降低的趋势,有机碳含量最高的为 1~0.25 mm 团聚体,平均含量达到 $10.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机碳含量最低的为 <0.053 mm 团聚体,平均含量仅为 $8.80\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

间作紫云英和秸秆覆盖主要对 10~5 mm、5~2 mm、1~0.25 mm、0.25~0.053 mm 和 <0.053 mm 团聚体影响显著.其中,间作紫云英显著降低了 10~5 mm、5~2 mm、1~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 团聚体有机碳含量,且在无秸秆覆盖时表现更为明显;而对于 <0.053 mm 团聚体,则主要表现为无紫云英间作时秸秆覆盖增加了其有机碳含量(图 2).

2.3 农田土壤总有机碳特征

由图 3 可知,不同处理对土壤总有机碳的影响不同,其中处理 TA、SR、SA、SAR 对土壤总有机碳的影响显著.总体来看,在油菜季紫云英和秸秆覆盖处理对土壤总有机碳含量均无显著影响,而在后茬作物玉米季紫云英和秸秆覆盖处理对土壤总有机碳的影响显著,其中紫云英单作、秸秆覆盖下紫云英单作以及秸秆覆盖下紫云英与油菜间作均显著提高了土壤总有机碳含量.说明紫云英和秸秆覆盖对总有机碳的效应主要体现在后茬作物上,这主要是因为后茬作物种植前紫云英和秸秆均进行了翻压还田,提高了土壤有机碳含量.

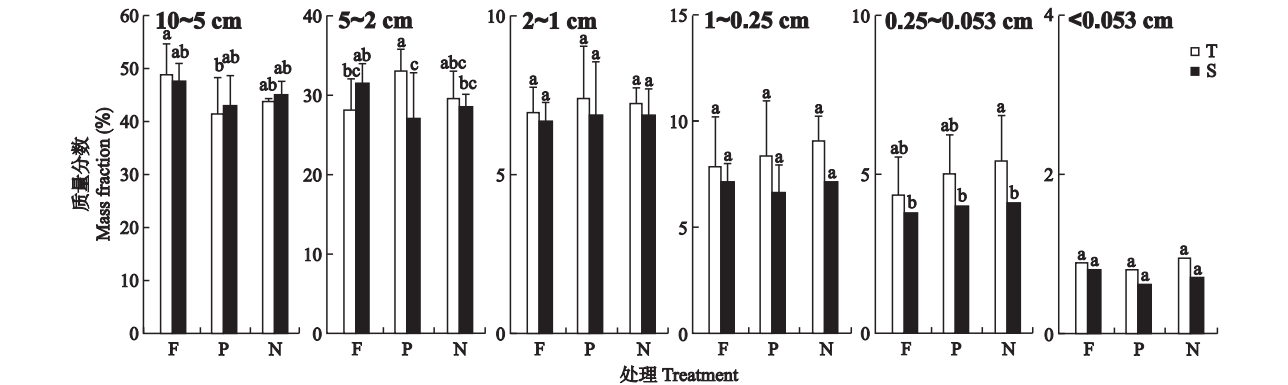


图 1 不同处理下油菜根际不同粒径土壤团聚体质量分数

Fig.1 Mass fraction of soil aggregates with different diameters in rape rhizosphere under different treatments.

处理符号含义详见表 1 The meaning of each treatment symbol was detailed in table 1. 不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$) Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

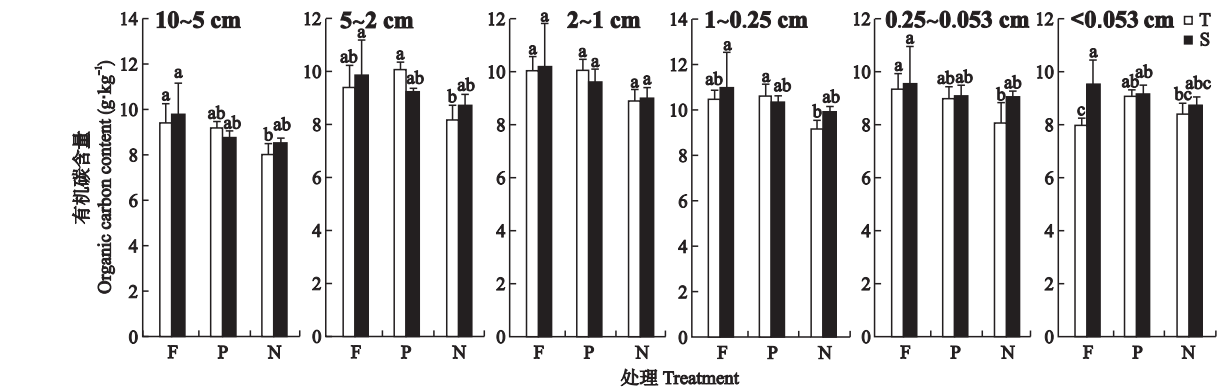


图2 不同处理下油菜根际不同粒径土壤团聚体有机碳含量

Fig.2 Organic carbon content of soil aggregates with different diameters in rape rhizosphere under different treatments.

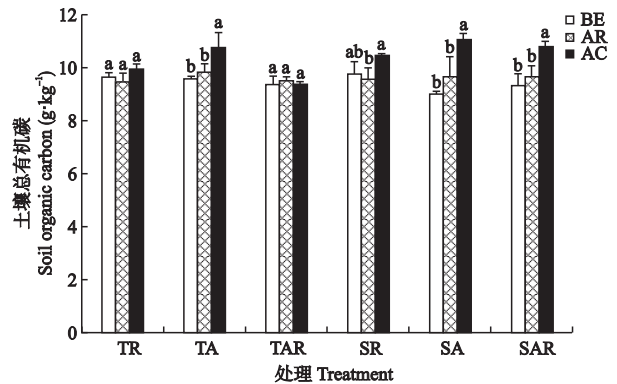


图3 间作紫云英和秸秆覆盖对土壤总有机碳的影响

Fig.3 Effects of intercropping Chinese milk vetch and straw mulching on soil organic carbon.

BE: 试验前 Before experiment; AR: 油菜收获后 After rape harvest; AC: 玉米收获后 After corn harvest. 下同 The same below.

2.4 农田不同土层总有机碳特征

由图4可知,不同处理对试验前、油菜收获期和玉米收获期的不同土层总有机碳的影响不同.总体来看,随着土层不断加深土壤总有机碳含量呈现逐渐降低的趋势.对于不同处理,紫云英和秸秆覆盖对

0~10 cm 土层土壤总有机碳的影响较小,对 10~20 cm和 20~30 cm 土层土壤总有机碳的影响较大,其中紫云英单作处理对 10~20 cm 和 20~30 cm 土层土壤总有机碳的影响显著,秸秆覆盖下的紫云英与油菜间作处理对 10~20 cm 土层土壤总有机碳的影响显著.这也说明紫云英和秸秆覆盖对土壤总有机碳的影响主要是因为其影响了 10~20 cm 和 20~30 cm土层土壤总有机碳的含量.

通过进一步分析不同处理对油菜生育期内不同土层土壤总有机碳的影响发现(表3),对于 0~10 cm土层,不同处理之间的土壤总有机碳在试验前和收获期差异显著,在蕾薹期和开花期差异极显著;对于 10~20 cm 土层,不同处理之间的土壤总有机碳在蕾薹期差异显著,在开花期和收获期差异极显著;对于 20~30 cm 土层,不同处理之间的土壤总有机碳在收获期差异显著,在开花期差异极显著.另外,从 P 值和 F 值的变化来看(表4),从试验前到油菜收获期为止,不同处理之间土壤总有机碳的差异性有逐渐增加的趋势.说明紫云英和秸秆覆盖对

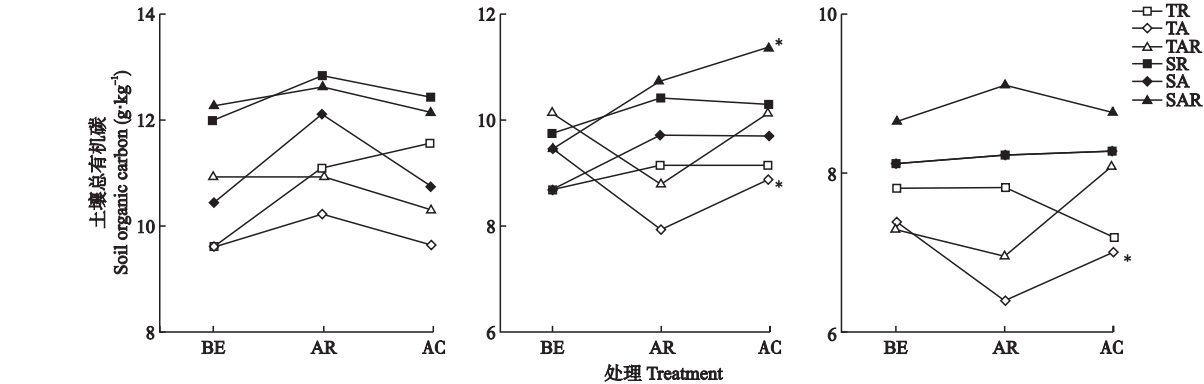


图4 间作紫云英和秸秆覆盖对不同生长季不同土层土壤总有机碳的影响

Fig.4 Effects of intercropping Chinese milk vetch and straw mulching on soil organic carbon in different soil layers and growth periods.

* $P<0.05$; ** $P<0.01$. 下同 The same below.

表 3 间作紫云英和秸秆覆盖对油菜生育期内不同土层土壤总有机碳的影响
Table 3 Effects of intercropping Chinese milk vetch and straw mulching on soil organic carbon in different soil layers in rape growth period

土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	试验前 Before experiment (g · kg ⁻¹)	苗期 Seedling stage (g · kg ⁻¹)	薹莖期 Stem elongation stage (g · kg ⁻¹)	开花期 Flowering stage (g · kg ⁻¹)	收获期 Harvest stage (g · kg ⁻¹)
0~10	TA	9.64±0.09	9.70±0.76	10.12±0.99	9.14±0.76	10.27±0.53
	TR	9.63±0.87	10.06±0.23	10.69±0.12	10.47±0.63	11.14±0.86
	TAR	10.95±1.04	11.00±1.72	11.33±0.99	10.75±0.62	10.95±1.07
	SA	10.46±1.51	10.83±1.21	11.52±0.83	12.73±0.90	12.13±1.13
	SR	12.02±1.43	11.75±0.90	12.71±0.69	12.30±0.34	12.80±0.10
	SAR	12.28±0.82	12.01±0.40	13.36±0.51	12.48±0.09	12.66±0.22
10~20	TA	9.48±0.49	8.10±0.87	8.71±0.58	8.20±0.38	7.98±0.40
	TR	8.71±0.83	8.93±0.72	9.39±1.12	8.64±0.03	9.18±0.72
	TAR	10.15±0.93	9.01±1.28	9.49±0.34	9.97±0.62	8.85±1.03
	SA	8.79±1.57	9.27±0.78	10.89±0.38	9.98±0.53	9.78±0.67
	SR	9.80±0.31	10.18±0.42	10.57±0.31	10.55±0.26	10.47±0.09
	SAR	9.46±0.60	9.51±0.34	10.23±0.27	11.12±1.16	10.76±0.28
20~30	TA	7.38±0.28	6.64±0.46	7.60±0.05	6.82±0.12	6.39±0.03
	TR	7.77±0.75	7.92±0.39	8.02±0.54	7.47±0.60	7.79±0.33
	TAR	7.27±0.65	7.91±0.81	7.46±0.49	7.72±0.45	6.95±0.63
	SA	8.11±1.56	7.65±1.12	8.25±1.37	8.08±1.02	8.26±1.94
	SR	8.16±0.38	8.04±0.75	8.71±0.29	8.07±0.27	8.20±0.62
	SAR	8.67±0.69	8.26±0.40	9.05±0.59	9.49±0.43	9.15±0.36

表 4 间作紫云英和秸秆覆盖对油菜生育期内不同土层土壤总有机碳的方差分析
Table 4 Variance analysis on effects of intercropping Chinese milk vetch and straw mulching on soil organic carbon in different soil layers in rape growth period

土层 Soil layer (cm)	参数 Parameter	试验前 Before experiment	苗期 Seedling stage	薹莖期 Stem elongation stage	开花期 Flowering stage	收获期 Harvest stage
0~10	<i>P</i>	0.046 *	0.104	0.006 * *	0.000 * *	0.018 *
	<i>F</i>	3.425	2.484	6.636	13.250	4.686
10~20	<i>P</i>	0.439	0.185	0.011 *	0.002 * *	0.003 * *
	<i>F</i>	1.054	1.878	5.462	8.490	7.622
20~30	<i>P</i>	0.407	0.153	0.142	0.001 * *	0.017 *
	<i>F</i>	1.124	2.070	2.145	9.972	4.772

0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层土壤总有机碳的影响随着油菜生育期的进行逐渐增加,在薹莖期、开花期和收获期表现出较大差异.

3 讨 论

3.1 油菜根际土壤团聚体及其有机碳特征

平均质量直径值是评价土壤团聚体分布情况和稳定性的指标^[12-13],大团聚体是土壤中较好的结构体,是土壤良好结构特征的表现^[14],平均质量直径值越大,土壤团聚体的分布状况和稳定性越好^[15].目前,对间作系统的研究发现,间作可提高农田土壤团聚体稳定性及其团聚体有机碳含量^[16-17],却很少有涉及作物根际的土壤团聚体及有机碳研究.本试验对紫云英油菜间作系统的研究发现,间作紫云英

增加了油菜根际土壤微团聚体含量,促使其团聚体平均质量直径降低,降低了多数粒径的土壤团聚体有机碳含量,这说明间作对农田和作物根际的土壤团聚体及有机碳的影响是不同的.首先,本研究发现间作降低了多数粒径的土壤团聚体有机碳含量,这与前期研究结果中间作紫云英对油菜根际总有机碳含量变化的影响结论一致^[18];其次,本研究采用干筛法测定土壤团聚体,由于干筛法反映的是原状土壤中非水稳性和水稳性团聚体的总体状况,而湿筛法反映的是水稳性团聚体的分布特征,所以干筛法和湿筛法的分析结果不尽相同,有待在今后研究中进一步探讨;第三,间作由于增加了新鲜有机物质的输入,植物根系、土壤动物、微生物及它们的代谢产物在农田和作物根际之间都存在一定差异,导致土

壤中有机胶结物质和载体介质的量不同,从而造成团聚体特征的差异。

3.2 农田土壤总有机碳特征

研究表明,绿肥和秸秆覆盖可以提高土壤有机碳含量^[19-20]。付鑫等^[21]研究发现,秸秆覆盖处理可增加土壤有机碳含量,提高土壤肥力,且覆盖量越大效果越明显;王海霞等^[22]发现,不同秸秆覆盖量可显著提高土壤有机碳及其土壤结构稳定性;李小刚等^[23]在室内条件下发现,随着秸秆添加量的增加,土壤中总有机碳含量极显著增加;孙元宏等^[24]发现,随秸秆施用量增加,耕层土壤和母质的重组有机碳含量均呈同步增加趋势。本研究对后茬作物玉米季土壤有机碳的研究再次证明了上述结论。但需要指出的是,这种差异除了由于油菜季后绿肥和秸秆覆盖还田造成的,还与不同处理对油菜季土壤有机碳的影响有很大关系。本试验结果表明,虽然在油菜季不同处理间有机碳的增加或减少规律不明显,但有机碳含量的差异性却随着油菜生育期的进行而不断增加,甚至在蕾薹期、开花期和收获期表现出较大差异,这是后茬作物有机碳含量变化的基础。

4 结 论

在我国西南旱地紫色土区,引入冬季绿肥紫云英与油菜间作,并结合秸秆覆盖,通过桶栽和大田试验研究发现,间作紫云英增加了油菜根际土壤微团聚体含量,促使其团聚体平均质量直径降低,同时显著降低了 10~5 mm、5~2 mm、1~0.25 mm 和 0.25~0.053 mm 团聚体有机碳含量。油菜根际土壤大团聚体含量的变化主要是由于 10~5 mm 和 5~2 mm 团聚体含量的变化引起的,而微团聚体含量的变化主要是由于 0.25~0.053 mm 团聚体含量的变化引起的。紫云英和秸秆覆盖对农田土壤总有机碳的效应主要体现在后茬作物上,显著提高了玉米季土壤有机碳含量,主要是因为影响了 10~20 cm 和 20~30 cm 土层总有机碳的含量。紫云英和秸秆覆盖虽然对油菜季总有机碳含量的增加不明显,但对 0~10 cm、10~20 cm 和 20~30 cm 土层总有机碳的影响却随着油菜生育期的进行逐渐增加,在蕾薹期、开花期和收获期表现出较大差异。

参考文献

[1] Bronick CJ, Lal R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 2005, **124**: 3-22

[2] Zhou H (周 虎), Lü Y-Z (吕贻忠), Li B-G (李保国). Advancement in the study on quantification of soil

structure. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2009, **46**(3): 501-506 (in Chinese)

[3] Madari B, Machado PLOA, Torres E, *et al.* No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 2005, **80**: 185-200

[4] Mondini C, Sequi P. Implication of soil C sequestration on sustainable agriculture and environment. *Waste Management*, 2008, **28**: 678-684

[5] Tang X-H (唐晓红), Shao J-A (邵景安), Gao M (高明), *et al.* Effects of conservation tillage on aggregate composition and organic carbon storage in purple paddy soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(5): 1027-1032 (in Chinese)

[6] Zhang Y-L (张云兰), Wang L-C (王龙昌), Zou C-M (邹聪明), *et al.* Effects of conservation tillage on soil moisture and crop yield of wheat-maize-sweet potato triple cropping system in dryland of hot and summer drought areas. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2011, **42**(1): 16-21 (in Chinese)

[7] Wang L-C (王龙昌), Zou C-M (邹聪明), Zhang Y-L (张云兰), *et al.* Influences of conservation tillage practices on farmland soil ecological factors and productive benefits in dryland region with triple cropping system in southwest China. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2013, **39**(10): 1880-1890 (in Chinese)

[8] Zhang S (张 赛), Wang L-C (王龙昌), Huang Z-C (黄召存), *et al.* Effects of conservation tillage on active soil organic carbon composition. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2015, **29**(2): 226-231 (in Chinese)

[9] Yao Z-Y (姚致远), Wang Z (王 峥), Li J (李婧), *et al.* Effects of rotations and different green manure utilizations on crop yield and soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2015, **26**(8): 2329-2336 (in Chinese)

[10] Yang B-J (杨滨娟), Huang G-Q (黄国勤), Lan Y (兰 延), *et al.* Effects of nitrogen application and winter green manure on soil active organic carbon and the soil carbon pool management index. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(10): 2907-2913 (in Chinese)

[11] Limon-Ortega A, Govaerts B, Deckers J, *et al.* Soil aggregate and microbial biomass in a permanent bed wheat-maize planting system after 12 years. *Field Crops Research*, 2006, **97**: 302-309

[12] Daraghmeh OA, Jensen JR, Petersen CT. Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. *Geoderma*, 2009, **150**: 64-71

[13] Munkholm LJ. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. *Geoderma*, 2011, **167**: 236-246

[14] Six J, Elliott ET, Paustian K. Soil structure and soil organic matter. II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, **64**: 1042-1049

[15] Liu W (刘 威), Zhang G-Y (张国英), Zhang J (张

静), *et al.* Effects of two conservation tillage measures on soil aggregate stability. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2015, **29**(3): 117–122 (in Chinese)

[16] Wang Y-J (王英俊), Li T-C (李同川), Zhang D-Y (张道勇), *et al.* Effects of intercropping white clover on soil aggregates and soil organic carbon of aggregates in apple-white clover intercropping system. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2013, **21**(3): 485–493 (in Chinese)

[17] Wang Z-G (王志刚). Crop Productivity and Soil Fertility as Affected by Continuous Intercropping in an Orthic Anthrosol. Master Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2014 (in Chinese)

[18] Zhou Q (周 泉), Wang L-C (王龙昌), Xiong Y (熊 瑛), *et al.* Effects of green manure intercropping and straw mulching on winter rape rhizosphere soil organic carbon and soil respiration. *Environmental Science* (环境科学), 2016, **37**(3): 1114–1120 (in Chinese)

[19] Christopher P, Axel D. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2015, **200**: 33–41

[20] Bu Y-S (卜玉山), Miao G-Y (苗果园), Zhou N-J (周乃健), *et al.* Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2006, **39**(5): 1069–1075 (in Chinese)

[21] Fu X (付 鑫), Wang J (王 俊), Liu Q-Q (刘全全), *et al.* Soil aggregate and organic carbon contents with different surface mulching under dryland farming system. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer* (植物营养与肥料学报), 2015, **21**(6): 1423–1430 (in Chinese)

[22] Wang H-X (王海霞), Sun H-X (孙红霞), Han Q-F (韩清芳), *et al.* Effects of straw mulching on the soil aggregates in dryland wheat field under no-tillage. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(4): 1025–1030 (in Chinese)

[23] Li X-G (李小刚), Cui Z-J (崔志军), Wang L-Y (王玲英). Effect of straw on soil organic carbon constitution and structural stability. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2002, **39**(3): 421–428 (in Chinese)

[24] Sun Y-H (孙元宏), Gao X-Y (高雪莹), Zhao X-M (赵兴敏), *et al.* Effects of corn stalk incorporation on organic carbon of heavy fraction and composition of soil aggregates in albic soil. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2017, **54**(4): 1009–1017 (in Chinese)

作者简介 周 泉,男,1987 年生,助理研究员. 主要从事生态农业与可持续发展研究. E-mail: zhouquanyilang@163.com

责任编辑 张凤丽
