

填闲作物还田方式对烟田土壤轻重组有机碳的影响

宋艳丹¹, 韩会阁¹, 王孟孟¹, 徐文正¹, 李建华², 刘巧真¹, 阎海涛³, 王典², 吴照辉¹

(1. 河南省农业科学院烟草研究所, 河南许昌 461000; 2. 河南省烟草公司许昌市公司, 河南许昌 461000;

3. 河南省烟草公司平顶山市公司, 河南平顶山 467002)

摘要: 为了提高多年连作烟田的土壤肥力, 改善土壤生态环境, 在烤烟冬闲期种植油菜、冬牧 70、光叶紫花苕等 3 种作物, 同时以冬季空闲不种植任何作物为对照, 采取 2 种方式(掩青和收割)进行处理, 通过测定不同处理不同土层的土壤轻、重组有机碳含量、比例及储量, 探讨填闲作物收割和掩青处理对烟田土壤轻重组有机碳的影响。结果表明, 不同填闲作物和不同还田方式下土壤总有机碳、重组有机碳、轻组有机碳含量均随着土壤深度的增加而降低。与对照相比, 填闲作物掩青处理能够显著增加土壤总有机碳、重组有机碳、轻组有机碳含量, 尤其是冬牧 70 在 20~40 cm 土层增加比较显著, 分别增加了 22.3%、21.98%、27.78%; 填闲作物收割处理会降低土壤轻组有机碳比例和土壤轻组有机碳储量, 而掩青处理则会增加土壤轻组有机碳比例和轻组有机碳储量, 其中冬牧 70 掩青在 0~20 cm 土层增加比较明显, 分别增加了 18.14%、40.03%。填闲作物掩青处理增加了烟田土壤的含水量和持水量、降低了土壤容重以及增加土壤轻重组有机碳储量。综合来看, 冬牧 70 掩青处理效果最好, 能显著增加土壤总有机碳和轻重组有机碳含量, 油菜次之。

关键词: 填闲作物; 烟田; 掩青; 收割; 轻组有机碳; 重组有机碳

中图分类号: S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2481(2024)03-0060-08

Effects of Returning Farmland Methods of Catch Crops on Light and Heavy Fraction Organic Carbon in Tobacco Field Soil

SONG Yandan¹, HAN Huige¹, WANG Mengmeng¹, XU Wenzheng¹, LI Jianhua²,
LIU Qiaozhen¹, YAN Haitao³, WANG Dian², WU Zhaohui¹

(1. Tobacco Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Xuchang 461000, China;

2. Xuchang City Company of Henan Tobacco Company, Xuchang 461000, China;

3. Pingdingshan City Company of Henan Tobacco Company, Pingdingshan 467002, China)

Abstract: In order to enhance the soil fertility of continuous cropping tobacco fields for years and improve the soil ecological environment, in this study, three crops, including rape, Dongmu 70, and purple sweet potato, were grown during the winter leisure period of tobacco, and no crops planted were taken as the control during winter leisure period. Two treatments of covering green and harvesting were applied. By measuring the content, proportion, and storage of light and heavy fraction organic carbon in different soil layers under different treatments, the effects of harvesting and covering green of the catch crops on light and heavy fraction organic carbon in tobacco field soil were explored. The results showed that the content of the total organic carbon, heavy fraction organic carbon and light fraction organic carbon under the treatments of the different catch crops and returning farmland methods decreased as increase of soil depth. Compared with the control, the treatment of covering green of the catch crops could significantly increase the content of the total organic carbon, heavy fraction organic carbon and light fraction group, especially at the soil layer of Dongmu 70 at 20-40 cm, which increased by 22.3%, 21.98% and 27.78%, respectively. Harvesting of the catch crops reduced the proportion and storage of light fraction organic carbon, while covering green increased the proportion and storage of light fraction organic carbon. Among them, dongmu 70 increased significantly at depths of 0-20 cm, increasing by 18.14% and 40.03%, respectively. Covering green of the catch crops increased soil water content and water holding in tobacco field soil, decreased soil bulk density, and increased storage of light and heavy fraction organic carbon in soil. In general, the treatment of covering green of had the best effect, it could significantly increase the content of the total organic carbon and light and heavy fraction organic carbon in the soil, followed by rape.

收稿日期: 2023-06-30

基金项目: 河南省科学技术厅科技攻关项目(222102110432); 中国烟草总公司河南省公司科技项目(2022410000240017); 河南省烟草公司许昌市公司科技项目(2020411000240071); 河南省烟草公司平顶山市公司科技项目(PYKJ202106)

作者简介: 宋艳丹(1991-), 女, 河南许昌人, 硕士, 主要从事烟草栽培技术研究工作。

通信作者: 吴照辉(1980-), 男, 河北井陘人, 副研究员, 博士, 主要从事烤烟营养与生理、烟田生态方面研究工作。

Key words: catch crops; tobacco field; covering green; harvesting; light fraction organic carbon; heavy fraction organic carbon

由于烟草的多年连作以及化肥的过量使用,导致烟田土壤理化性质下降,烟草病害加重,烤烟品质降低,限制了烟叶质量的保持和提高。烟田土壤肥力的高低很大程度上取决于土壤有机碳的含量,它是烤烟生长需要养分和水分的源泉。土壤有机碳是指动植物残体、腐殖质、微生物等有机质中的碳元素^[1]。土壤有机碳根据密度分为轻组有机碳和重组有机碳,轻组有机碳主要是由植物残体、腐解产物、微生物、多糖等物质组成,具有周转期快、生物活性强等特点;重组有机碳是由腐殖质构成的有机矿质复合物,结构复杂,主要吸附在矿物表面或隐藏在微团聚体内部,很难被微生物利用,周转缓慢,对有机碳的积累和保持具有重要作用^[2]。

有研究表明,冬闲期种植填闲作物,可提高土壤有机碳含量,改善土壤微生物环境^[3]。目前,国内外对填闲作物种植的报道有很多,李元等^[4]研究表明,种植大葱填闲作物能增加土壤微生物数量、抑制致病菌繁殖。刘娟等^[5]研究表明,填闲作物还田处理能提高微生物代谢活性;另外,在填闲作物种植的品种^[6]、提高作物产量^[7-8]、减少土壤氮淋溶^[9-11]等方面的报道也有很多,但是关于填闲作物还田方式对土壤轻重组有机碳影响的研究较少。笔者以油菜、冬牧70、光叶紫花苕作为3种填闲作物,分别对其进行掩青和收割处理,研究不同填闲作物品种和不同还田方式对土壤轻重组有机碳的影响,为提高烟田土壤肥力、调节土壤理化性质、增强土壤固碳能力提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地点选择河南省漯河市临颍县固厢乡,位于北纬33°848',东经113°918',地处暖温带的南部边缘地区,属于温暖过渡型季风气候,一年当中冷热交替,四季分明,光照充足,年平均气温14.5℃,无霜期226 d,年降水量平均为720 mm,受季节影响,多集中在6—8月,土壤类型为潮土。

1.2 试验材料

油菜、冬牧70、光叶紫花苕种子均由河南省农业科学院提供。

1.3 试验设计

2020年9月播种3种填闲作物(油菜、冬牧70、

光叶紫花苕),冬闲地为对照。每个小区100 m²,每种作物随机重复3次,共9个小区,每个小区从中间划分,一半为掩青,一半为收割。掩青即是将全量作物翻压还田,而收割只是根茬还田。2021年4月10日对填闲作物进行掩青或收割处理。2021年5月初种植烤烟,6月中旬揭膜培土后,根据当地墒情,正常沟灌溉水,现蕾期打顶除茬,8月中旬开始采收烟叶,9月初全部完成采收。

1.4 测定项目及方法

烟叶收获后(2021年10月),进行取样。在每个试验小区采用3点混合法取样,用取土器分别取0~20、20~40 cm土层,装入密封袋,带回实验室,挑拣凋落物、石块等杂物后,将其均匀摊在报纸上,自然风干,风干后研磨过筛。分别过2、0.25 mm的筛,其中,过2 mm筛的土用来提取测定轻重组有机碳,过0.25 mm筛的土用来测定土壤总有机碳。土壤总有机碳(SOC)和土壤轻组有机碳(LFOC)测定均采用重铬酸钾外加热法。

土壤重组有机碳(HFOC) = 土壤总有机碳(SOC) - 土壤轻组有机碳(LFOC) (1)

土壤轻组有机碳分配比例 = LFOC/SOC (2)

土壤重组有机碳分配比例 = HFOC/SOC (3)

土壤轻组有机碳储量 = 土壤轻组有机碳含量 × 土壤轻组有机碳分配比例 × 土壤容重 × 土层厚度/10 (4)

土壤重组有机碳储量 = 土壤重组有机碳含量 × 土壤重组有机碳分配比例 × 土壤容重 × 土层厚度/10 (5)

2 结果与分析

2.1 还田方式对土壤各组分有机碳的影响

由表1可知,与对照相比,不同填闲作物掩青后,土壤有机碳含量均有增加,其中0~20 cm土层略高于对照,20~40 cm土层则显著增加($P < 0.05$),光叶紫花苕、冬牧70、油菜分别较对照增加了20.36%、22.3%、16.9%;而收割处理在0~20 cm土层则表现为降低,20~40 cm土层除了油菜有所降低,光叶紫花苕和冬牧70较对照分别增加了10.86%、6.29%。表明填闲作物掩青能够显著增加土壤总有机碳含量。

表 1 不同还田方式下土壤各组分有机碳含量
Tab.1 Organic carbon content of all soil components in different returning farmland methods

土壤深度 Soil depth	处理 Treatment	作物 Crop	SOC/(g/kg)	HFOC/(g/kg)	LFOC/(g/kg)	
0~20 cm	收割	光叶紫花苕	10.72±0.66ab	10.05±0.35a	0.84±0.05c	
		冬牧 70	10.73±0.31ab	10.17±0.29a	0.64±0.03d	
		油菜	10.25±0.40b	9.68±0.38a	0.57±0.03e	
	掩青	光叶紫花苕	11.01±0.53ab	9.93±0.47a	1.07±0.06a	
		冬牧 70	11.47±0.68a	10.32±0.56a	1.15±0.07a	
		油菜	11.22±0.26a	10.19±0.38a	1.03±0.13a	
	CK		10.96±0.17a	10.03±0.26a	0.93±0.02b	
	20~40 cm	收割	光叶紫花苕	9.69±0.90ab	9.07±0.81ab	0.62±0.07bc
			冬牧 70	9.29±0.25b	8.82±0.10b	0.65±0.04bc
油菜			7.83±0.64c	7.30±0.69d	0.57±0.03d	
掩青		光叶紫花苕	10.52±0.74a	9.69±0.63a	0.83±0.06ab	
		冬牧 70	10.69±0.54a	9.77±0.59a	0.92±0.04a	
		油菜	10.22±0.61a	9.35±0.67ab	0.87±0.05ab	
CK			8.74±1.16bc	8.01±1.16bc	0.72±0.11b	

注:不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。
Note: Different lowercase letters indicated significant differences at $P<0.05$ level.

在 0~20 cm 土层,填闲作物掩青和收割后的土壤重组有机碳含量与对照无显著差异。在 20~40 cm 土层,与对照相比,填闲作物掩青后重组有机碳含量增加幅度明显高于收割处理,其中冬牧 70 增幅最大,增加了 21.98%。

不同作物品种、不同土层、不同还田方式的土壤轻组有机碳含量具有显著差异($P<0.05$)。掩青处理下的土壤轻组有机碳含量显著高于对照($P<0.05$),其中 20~40 cm 土层的土壤轻组有机碳的增加幅度显著高于 0~20 cm 土层($P<0.05$),其中冬牧

70 增幅最大,增加了 27.78%。与对照相比,收割处理降低了土壤轻组有机碳含量,在 0~20 cm 土层,冬牧 70 和油菜降幅显著,分别降低了 31.18%、38.71%,光叶紫花苕则降低了 9.68%;在 20~40 cm 土层,油菜降低的最多,降低了 20.83%。

2.2 还田方式对土壤轻、重组有机碳分配比例的影响

还田方式对 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤轻组有机碳分配比例的影响如图 1 所示。

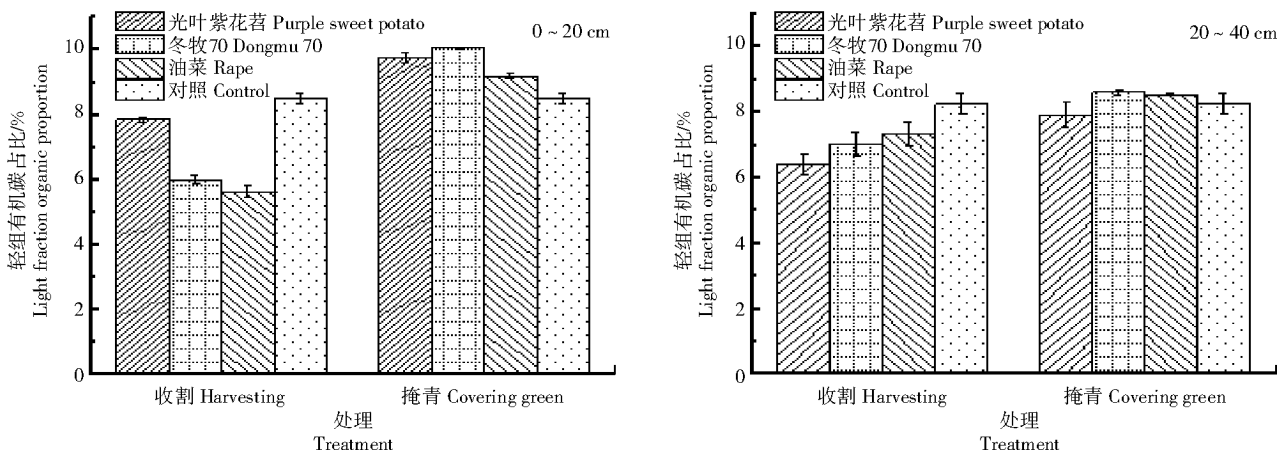


图 1 还田方式对 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤轻组有机碳分配比例的影响
Fig.1 Effects of returning farmland methods on the proportion of light fraction organic carbon partitioning at 0~20 cm and 20~40 cm

由图 1 可知,0~20 cm 土层土壤轻组有机碳占比较大依次为掩青>对照>收割,其相差幅度随土

壤深度增加而减小;其中,掩青处理的光叶紫花苕、冬牧 70 分别较对照增加了 14.61%、18.14%;而收

割处理除了光叶紫花苕较对照稍低些外,冬牧70和油菜的土壤轻组有机碳占比均显著低于对照($P < 0.05$),分别较对照降低了29.68%和34.04%。20~40 cm土层,掩青与对照相差不大,同时收割与对照的差距相比于0~20 cm土层也明显减小;掩青处理的土壤轻组有机碳占比除了光叶紫花苕较对照降低了4.01%外,冬牧70和油菜均与对照相近;而收割处理的光叶紫花苕、冬牧70、油菜的土壤轻组有机碳占比分别较对照降低了22.38%、14.96%、11.19%。可见,表土层对土壤轻组有机碳分配比例影响较大,另外,填闲作物掩青能够增加土壤轻组有机碳占比。

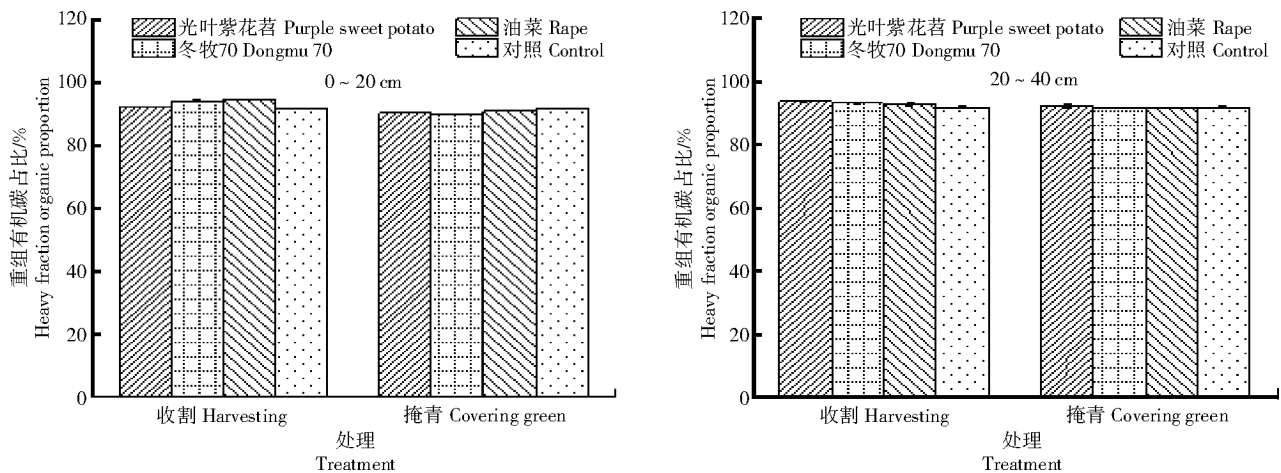


图2 还田方式对0~20 cm和20~40 cm土层土壤重组有机碳分配比例的影响
Fig.2 Effects of returning farmland methods on the proportion of heavy fraction organic carbon partitioning at 0~20 cm and 20~40 cm

2.3 还田方式对土壤含水量、持水量、容重的影响

从表2可以看出,与对照相比,不同填闲作物掩青和收割后,0~20 cm土层土壤含水量较对照均有所降低,而20~40 cm土层土壤含水量较对照均增加,其中冬牧70掩青和油菜掩青增加最多,分别增加了10.74%和10.55%。表明填闲作物掩青和收割会降低表土层含水量,但能增加20~40 cm土层含水量。

对于土壤持水量,不同填闲作物和不同还田方式均有一定差异。0~20 cm土层,掩青处理除了冬牧70的土壤持水量较对照显著增加了39.34% ($P < 0.05$),光叶紫花苕和油菜较对照均有降低;而收割处理的土壤持水量除了油菜较对照略低了4.965%,光叶紫花苕和冬牧70均比对照稍有增加。20~40 cm土层,掩青处理的冬牧70和油菜其土壤持水量较对照分别增加了19.44%和17.72%,而光叶紫花苕与对照相近;收割处理的3种作物其土壤

从图2可以看出,0~20 cm土层土壤重组有机碳占比依次为收割>对照>掩青,其中掩青处理除了冬牧70略低些外,光叶紫花苕和油菜2种作物几乎无差别;而收割处理除了光叶紫花苕稍低些外,冬牧70和油菜2种作物的土壤重组有机碳占比相近。20~40 cm土层土壤重组有机碳占比依次为收割>对照>掩青,3种作物间无明显差别;掩青处理除了光叶紫花苕略大于对照外,冬牧70和油菜几乎与对照一致。总之,不同填闲作物和不同还田方式下的土壤重组有机碳分配比例均与对照无显著差异。

持水量均比对照高,其中,冬牧70较对照增加幅度最高,增加了20.64%。可见,种植冬牧70进行掩青处理,可显著增加土壤持水量。

从表2可以看出,0~20 cm土层,掩青处理的冬牧70和油菜其土壤容重较对照分别降低了3.75%和3.965%;而收割处理除了冬牧70的土壤容重较对照有所降低外,光叶紫花苕和油菜其土壤容重较对照分别增加了1.37%和7.66%。20~40 cm土层,掩青处理和收割处理的土壤容重较对照均有降低,掩青处理降低的幅度比收割处理大,其中,掩青处理冬牧70其土壤容重降低的最多,降低了14.74%。整体来看,不同填闲作物掩青和收割后,0~20 cm土层的土壤容重与对照差异不大,20~40 cm土层的土壤容重较对照显著降低($P < 0.05$),其中冬牧70降低的最明显,说明种植冬牧70能使土壤容重降低。

表 2 还田方式对土壤含水量、持水量、容重的影响
Tab.2 Effects of returning farmland methods on soil water content, water holding, and bulk density

土壤深度 Soil depth	处理 Treatment	作物 Crop	含水量/% Water content	持水量/% Water holding	容重/(g/cm ³) Bulk density	
0~20 cm	收割	光叶紫花苕	17.58	35.80	1.23	
		冬牧 70	16.95	35.07	1.18	
		油菜	16.74	32.12	1.30	
	掩青	光叶紫花苕	16.35	33.45	1.26	
		冬牧 70	15.81	47.08	1.16	
		油菜	17.41	32.62	1.16	
	CK		17.81	33.79	1.21	
	20~40 cm	收割	光叶紫花苕	19.70	23.35	1.53
			冬牧 70	20.25	25.49	1.47
油菜			19.29	23.26	1.53	
掩青		光叶紫花苕	20.06	20.99	1.49	
		冬牧 70	21.06	25.24	1.36	
		油菜	21.03	24.87	1.42	
CK			19.02	21.13	1.60	

2.4 还田方式对有机碳储量的影响

从图 3 可以看出,0~20 cm 土层土壤轻组有机碳储量依次为掩青>对照>收割,其中掩青处理的冬牧 70 和光叶紫花苕分别较对照增加了 40.03%、36.08%;而收割处理的油菜和冬牧 70 较对照降低的较多,分别降低了 56.38%、52.83%,光叶紫花苕较对照仅降低了 15.58%。20~40 cm 土层土壤轻组有机碳储量仍为掩青>对照>收割,不过掩青处

理的 3 种填闲作物较对照仅增加了 2.66%~13.66%,增加幅度明显低于 0~20 cm 土层;收割处理的 3 种填闲作物较对照降低了 28.79%~35.44%,比 0~20 cm 土层降低的少。由此表明,不同填闲作物和不同还田方式对表土层的土壤轻组有机碳储量影响较大,另外,20~40 cm 土层下,同一还田方式下土壤轻组有机碳储量不同填闲作物间差异不大。

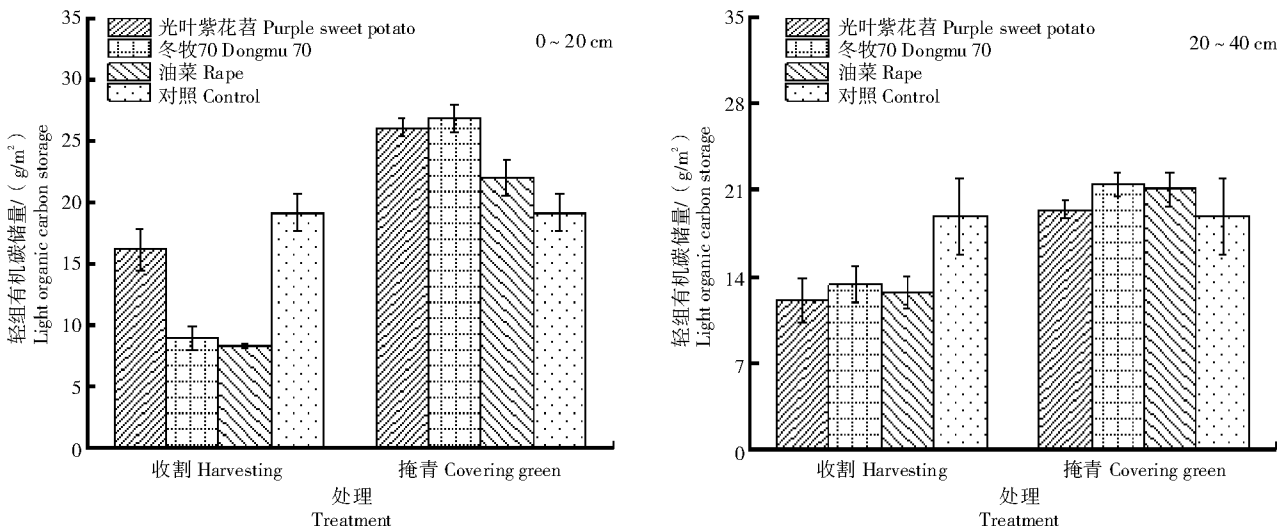


图 3 掩青和收割对 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤轻组有机碳储量的影响
Fig.3 Effects of covering green and harvesting on light fraction organic carbon storage at 0-20 cm and 20-40 cm

从图 4 可以看出,0~20 cm 土层,掩青、收割和对照的重组有机碳储量相差不大;20~40 cm 土层,掩青处理的 3 种填闲作物除了光叶紫花苕比对照

偏高些,冬牧 70 和油菜与对照几乎相近;收割处理的油菜比对照偏低些,但光叶紫花苕和冬牧 70 的土壤重组有机碳储量与掩青处理相近。

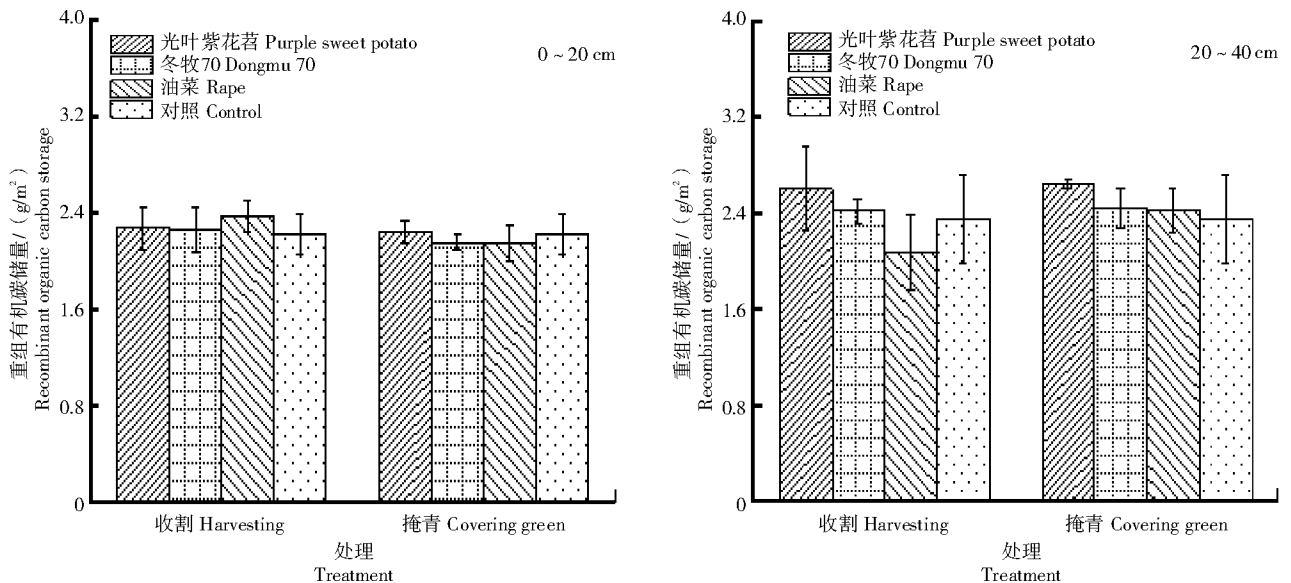


图4 掩青和收割对0~20 cm和20~40 cm土层土壤重组有机碳储量的影响
Fig.4 Effects of covering green and harvesting on heavy fraction organic carbon storage at 0-20 cm and 20-40 cm

3 结论与讨论

填闲作物还田后,归入土壤的茎叶和根部不仅可以通过腐解为土壤提供养分,而且其难分解的根部还可以改变土壤理化结构,促进土壤呼吸^[12]。

本研究表明,不同填闲作物和不同还田方式方式下土壤总有机碳、重组有机碳、轻组有机碳含量均随土壤深度的增加而降低。由于填闲作物的叶茎和根系的腐解为土壤提供了丰富的有机碳,除了油菜收割处理,其余不同处理下的土壤总有机碳均高于对照,此外,与对照相比,填闲作物掩青后的土壤有机碳含量增加幅度明显高于收割处理,其中冬牧70掩青后的20~40 cm土层增加幅度最大,增加了22.3%。由于油菜根属于直根系,其主根发达,木质化严重^[13],在土壤中难分解,而收割是将作物地上部移出大田,只有残茬和根部归入土壤,所以,油菜收割下的土壤总有机碳含量低于对照。另外,掩青处理是将绿肥全部翻压归入土壤,相应归入土壤的生物量也较多,植物残体腐解产生的有机碳也会较多。

重组有机碳是总有机碳的重要组成部分,本研究表明,重组有机碳变化趋势与总有机碳含量一致。轻组有机碳主要由腐解的植物残体组成,属于活性有机碳^[2,14]。填闲作物不同还田方式下的土壤轻组有机碳含量均为掩青最高、对照次之、收割最小,相比于对照,掩青处理后不同土层的土壤轻组有机碳含量增加了10.75%~27.78%,而收割处理

降低了9.68%~38.71%。这是因为填闲作物收割只有残茬和根部归入土壤,而根部不易分解,另外,收割处理的土壤含水量相对较低,更加剧了根部的难分解^[15],而掩青处理会将地上部的茎叶也翻压入土壤中,叶茎容易腐解,其产生的腐解质酸也会促进根部的腐解^[16],因而掩青处理下的土壤轻组有机碳含量最高。本研究中,0~20 cm土层,光叶紫花苕收割下的土壤轻组有机碳含量显著高于冬牧70和油菜,分别增加了31.25%和47.37%,这是因为光叶紫花苕侧根非常发达,主要密集在表土层^[1],而冬牧70和油菜的残茬和根部相对于光叶紫花苕均不易腐解;另外,冬牧70和油菜的根部所含木质素及灰分远高于光叶紫花苕^[17-18],所以,光叶紫花苕收割处理下的土壤在0~20 cm土层轻组有机碳含量最大。

本研究发现,不同填闲作物、还田方式下土壤轻组有机碳占比均随土壤深度的增加而降低,而重组有机碳分配占比则随土壤深度的增加而增大,这是由于植物残体主要集中在表土层,其腐解过程中会产生微生物及活性有机碳,而微生物又会活化土壤有机碳^[19],所以,轻组有机碳占比相应也较多,随着土壤深度的增加,植物残体相对较少,轻组有机碳的来源也减少,因此,深层土壤的轻组有机碳含量比较少,这与王卫霞等^[20]的研究结果一致。本研究还发现,轻组有机碳占比大小依次为掩青>对照>收割,而重组有机碳占比与之相反。有研究表明^[21,2],耕作会破坏土壤的团聚体,从而释放出储存

在团聚体内部的有机物质,在温度和通气的作用下,有机物质分解为易氧化的有机碳,从而导致有机碳的损失,使土壤轻组有机碳占比降低,而填闲作物掩青翻压入土壤的生物量较多,其腐解产生的轻组有机碳会快速补充土壤损失的有机碳,所以,掩青处理的轻组有机碳占比大于对照,但收割处理只有残茬和根部归入土壤,其腐解缓慢,土壤损失的有机碳得不到有效补充,因此,收割处理的轻组有机碳占比小于对照。填闲作物掩青有助于增加土壤含水量和持水量、降低土壤容重,尤其是种植冬牧 70 效果最明显,这与张媛媛等^[22-23]研究结果一致,因为冬牧 70 属于禾本科植物,根系发达,根系在土壤中穿插,能疏松土壤,增加土壤空隙度,提高土壤持水量,降低土壤容重^[2]。

填闲作物还田方式不同,土壤轻重组有机碳储量也会不同。本研究中,轻重组有机碳储量均随土壤深度的增加而增加。因为轻重组有机碳储量不仅与土壤轻重组有机碳分配比例有关,也与土壤容重相关。在 0~20 cm 土层,填闲作物掩青能增加土壤轻组有机碳储量,而收割会降低土壤轻组有机碳储量,冬牧 70 和油菜在 0~20 cm 土层轻组有机碳储量降低幅度最大,分别降低了 33.33% 和 28.57%。这是因为冬牧 70 和油菜收割处理在 0~20 cm 土层的轻组有机碳分配比例较低。在 20~40 cm 土层,填闲作物掩青和收割均会降低土壤轻组有机碳储量。

不同填闲作物和不同还田方式下土壤总有机碳、重组有机碳、轻组有机碳均随土壤深度的增加而降低。与对照相比,掩青处理能显著增加土壤总有机碳、重组有机碳、轻组有机碳含量,尤其是冬牧 70 在 20~40 cm 土层增加比较显著,分别增加了 22.3%、21.98%、27.78%。

不同填闲作物和不同还田方式下,土壤轻组有机碳分配比例均随土壤深度的增加而降低,而重组有机碳分配比例则随土壤深度的增加而增大。与对照相比,填闲作物收割会降低土壤轻组有机碳比例,而掩青则会增加轻组有机碳比例,其中冬牧 70 在 0~20 cm 土层增加比较明显,增加了 18.14%。

填闲作物掩青能有助于增加土壤含水量和持水量、降低土壤容重,种植冬牧 70 效果最好,油菜次之。

参考文献:

[1] 刘彩霞,薛建福,杜天庆,等.不同作物对连作玉米田土壤总有机

碳与颗粒有机碳的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2018,38(12):7-13.

LIU C X, XUE J F, DU T Q, et al. Effects of different crops on the content of soil total organic carbon and particulate organic carbon in continuous cropping corn fields[J]. Journal of Shanxi Agriculture University(Natural science Edition), 2018, 38(12): 7-13.

[2] 魏云敏,胡海清,孙家宝,等.不同强度火烧对轻组和重组有机碳的影响[J].安徽农业科学,2014,42(18):5840-5843.

WEI Y M, HU H Q, SUN J B, et al. Effects of different fire intensities on LFOC and HFOC[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(18): 5840-5843.

[3] 黄璐,李廷亮,李顺,等.旱地冬小麦夏闲期种植不同豆科绿肥对还田养分和土壤有机碳、氮组分的影响[J].生态学杂志,2022,41(12):2335-2343.

HUANG L, LI T L, LI S, et al. Effects of planting legume green manure crops in summer fallow period of dryland winter wheat on nutrient returning, soil organic carbon and nitrogen components[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(12): 2335-2343.

[4] 李元,司力珊,张雪艳,等.填闲作物对日光温室土壤环境作用效果比较研究[J].农业工程学报,2008,24(1):224-229.

LI Y, SI L S, ZHANG X Y, et al. Comparative study on the effects of catch crops on soil environment in solar greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(1): 224-229.

[5] 刘娟,田永强,高丽红.夏季填闲作物及秸秆还田对日光温室黄瓜连作土壤养分和微生物的影响[J].中国蔬菜,2011(8):12-16.

LIU J, TIAN Y Q, GAO L H. Effects of summer catch crop and straw returning on cucumber soil nutrients and microorganism in solar energy greenhouse[J]. China Vegetables, 2011(8): 12-16.

[6] 王金龙,阮维斌.4种填闲作物对天津黄瓜温室土壤次生盐渍化改良作用的初步研究[J].农业环境科学学报,2009,28(9):1849-1854.

WANG J L, RUAN W B. Study of the improvement effects of four catch crops on the secondary salinization of Tianjin cucumber greenhouse soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(9): 1849-1854.

[7] 吴凤芝,方振兴,田昱铭,等.不同作物填闲对辣椒幼苗生长及产量的影响[J].东北农业大学学报,2022,53(1):8-15.

WU F Z, FANG Z X, TIAN G M, et al. Effects of cover crops usage on growth and yield of pepper seedlings[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2022, 53(1): 8-15.

[8] 张少宏,王俊,RAJAN Ghimire,等.黄土高原绿肥填闲种植的水分与产量效应:Meta分析[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(11):1879-1892.

ZHANG S H, WANG J, GHIMIRE R, et al. Effect of green manure on soil water and crop yield in the Loess Plateau of China: a Meta-analysis[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(11): 1879-1892.

[9] 陆扣萍,闵炬,施卫明,等.填闲作物甜玉米对太湖地区设施菜地土壤硝态氮残留及淋失的影响[J].土壤学报,2013,50(2):331-339.

LU K P, MIN J, SHI W M, et al. Effect of sweet corn as a catch

- crop on residual and leaching loss of soil nitrate in protected vegetable soil in Taihu Lake Region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(2): 331-339.
- [10] 王永齐, 潘义宏, 符秀华, 等. 不同土壤改良措施对植烟土壤理化性质及烟叶品质的影响[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(4): 84-89.
WANG Y Q, PAN Y H, FU X H, et al. Effects of different soil improvements on physicochemical properties of soil and qualities of tobacco[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(4): 84-89.
- [11] 陈子英, 孙小凤, 韩梅, 等. 国内外绿肥研究进展[J]. *青海农林科技*, 2020(3): 54-58.
CHEN Z Y, SUN X F, HAN M, et al. Research progress of green manure at home and abroad[J]. *Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry*, 2020(3): 54-58.
- [12] 刘巧真, 郭芳阳, 阎小毛, 等. ‘冬牧70’处理方式对土壤改良和烟叶产质量影响[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(34): 29-33.
LIU Q Z, GUO F Y, YAN X M, et al. Effects of ‘Dongmu 70’ treatments on soil improvement, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(34): 29-33.
- [13] 李尧臣, 戚存扣. 抗倒伏甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.)木质素含量及木质素合成关键基因的表达[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(3): 481-487.
LI Y C, QI C K. Lignin content and key gene expression in lignin synthesis of *Brassica napus* L. with lodging resistance[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 27(3): 481-487.
- [14] 焦欢, 李廷亮, 高继伟, 等. 培肥措施对复垦土壤轻重组有机碳氮的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(5): 208-213, 221.
JIAO H, LI T L, GAO J W, et al. Effects of fertilization on light and heavy fractions organic nitrogen in reclaimed soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(5): 208-213, 221.
- [15] 陆昕, 胡海清, 孙龙, 等. 火干扰对兴安落叶松林土壤轻重组有机碳的影响[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(29): 11709-11713.
LU X, HU H Q, SUN L, et al. Effects of fire disturbance on soil light fraction organic carbon of *Larix gmelinii* forest[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(29): 11709-11713.
- [16] 苏卓侠, 苏冰倩, 上官周平. 植物凋落物分解对土壤有机碳稳定性影响的研究进展[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(2): 406-413.
SU Z X, SU B Q, SHANGGUAN Z P. Advances in effects of plant litter decomposition on the stability of soil organic carbon[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(2): 406-413.
- [17] 王荣蛟, 和世春, 刘为萌, 等. 小黑麦、黑麦草与光叶紫花苜蓿不同播种模式下的生产性能研究[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2021(9): 104-111, 115.
WANG R J, HE S C, LIU W M, et al. Study on the production performance of triticale, ryegrass and *Vicia villosa* under different seeding modes[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2021(9): 104-111, 115.
- [18] 尹能文, 李加纳, 刘雪, 等. 高温干旱下油菜的木质化应答及其在茎与根中的差异[J]. *作物学报*, 2017, 43(11): 1689-1695.
YIN N W, LI J N, LIU X, et al. Lignification response and the difference between stem and root of *Brassica napus* under heat and drought compound stress[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(11): 1689-1695.
- [19] 廖恒, 况胜剑, 王文华, 等. 烤烟绿肥的研究进展[J]. *农技服务*, 2021, 38(10): 62-66.
LIAO H, KUANG S J, WANG W H, et al. Research progress on green fertilizer for flue-cured tobacco[J]. *Agricultural Technology Service*, 2021, 38(10): 62-66.
- [20] 王卫霞, 杨光, 阿丽娅·阿力木, 等. 3种不同农作方式对土壤轻组有机碳的影响[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(11): 2477-2482.
WANG W X, YANG G, ALIYA ALIMU, et al. Effects of three different farming patterns on soil light fraction organic carbon[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 33(11): 2477-2482.
- [21] 王伟, 李占斌, 李鹏, 等. 生态建设对坡面土壤有机碳分布的影响[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(2): 35-41.
WANG W, LI Z B, LI P, et al. Effect of ecological construction on soil organic carbon distribution on slope land[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(2): 35-41.
- [22] 张媛媛. 绿肥腐解规律及玉米绿肥间种效益的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
ZHANG Y Y. Study on decomposition of green manure and benefits of corn-green manure intercropping[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011.
- [23] 敖文, 温三明, 尹显高. 绿肥翻压还田对土壤理化性状的影响[J]. *基层农技推广*, 2018, 6(5): 33-35.
AO W, WEN S M, YIN X G. Effect of turning green manure into field on soil physical and chemical properties[J]. *Primary Agricultural Technology Extension*, 2018, 6(5): 33-35.