

Doi:10.20062/j.cnki.CN 37-1453/N.2023.04.001

日光温室土壤活性有机质和腐殖质组成的研究

苑学亮¹,房媛²,李莉¹,徐倩¹,李虎申¹,郑凤³,吕福堂³,张道省⁴,马荣辉⁴

(1.聊城市农业技术推广服务中心,山东聊城 252000;2.东昌府区农业农村局,山东聊城 252000;
3.聊城大学农学院,山东聊城 252000;4.山东省农业技术推广中心,济南 250100)

摘要:本文对不同种植年限日光温室的土壤活性有机质和腐殖质组成进行了研究,发现随温室种植利用年限的增加,日光温室土壤有机质、腐殖质和活性有机质质量分数均呈升高的趋势。日光温室土壤活性有机质质量分数增幅大于有机质总量的增幅,高龄日光温室 0~<20 cm,20~<40 cm 土层活性有机质占有有机质比例均在 20%以上,高于温室外粮田 0~<20 cm 的表层土壤。随种植利用年限的增加,日光温室土壤中松、稳、紧各级结合态腐殖质质量分数均呈增加的趋势;其中松结合态腐殖质占比大于粮田,稳结合态和紧结合态腐殖质占比小于粮田。日光温室土壤松结合态腐殖质与紧结合态腐殖质的比值(即松紧比)均大于粮田土壤。

关键词:日光温室;活性有机质;腐殖质;土壤肥力

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2023)04-0289-05

土壤有机质(SOM)质量分数通常作为土壤肥力水平高低的一个重要指标^[1],但土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解利用、对植物养分供应最直接作用的那部分活性有机质(active soil organic matter,ASOM),能更好地反映土壤有机质的有效性,它可以指示土壤质量^[2]。土壤腐殖质与矿物质结合的松紧程度不同,对土壤肥力的贡献亦不相同,土壤腐殖质大部分与土壤结合,按结合牢固程度,可分为松结合态、稳结合态、紧结合态;松结合态较易分解,为活性较强、新鲜的腐殖质,养分供给能力也较强,而紧结合态腐殖质和稳结合态腐殖质对养分的供给性差,储养能力更强;松紧比也是衡量腐殖质品质的一个重要指标^[3-7]。本文对日光温室土壤活性有机质和腐殖质结合态等方面进行了研究,旨在为日光温室土壤资源持续利用、合理培肥和生态安全提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

土壤样品采自鲁西黄泛平原区的聊城市东昌

府区湖西办事处齐北村和莘县张鲁镇菜园村种植利用 5、10、15 年的日光温室和温室外粮田,土壤类型是黄河冲积物形成的潮土,按种植年限分层次分别采集。日光温室种植蔬菜黄瓜和西葫芦,采样时间为 2021 年 3 月底。每种棚龄选取 4 个温室取样,每个温室 8~10 个取样点,每样点 20 cm 为 1 层,分 5 层采集,每点取样深度 0~100 cm,同一温室各样点同一土层的土壤混合均匀、风干、研磨用于养分测定^[8-9]。

1.2 测定指标与试验方法

土壤有机质的测定:采用油浴加热-重铬酸钾容量法^[3],称取经 100 目过滤的土样 0.30~0.50 g,放入硬质试管中,加入浓硫酸和重铬酸钾溶液,放入预先加热至 170~180 ℃ 的油浴锅中,沸腾开始计时 5 min,冷却后转移至锥形瓶中,用硫酸亚铁滴定,同时做空白试验,计算土壤有机质总量。

土壤活性有机质的测定:用 KMnO_4 氧化法测定土壤中的活性有机质^[3]。其操作步骤为:称取约含 15 mg 碳的土壤样品于离心管中,加入 25 mL 高

收稿日期:2022-06-02;修回日期:2023-07-10

基金项目:国家重点研发计划子课题(2021YFD1901005-5)

通信作者简介:马荣辉(1983—),男,高级农艺师,研究方向为土壤肥料技术与推广工作。E-mail:maronghui518@163.com

锰酸钾,振荡 1 h,然后在转速 $2000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 下离心 5 min,取上清液用去蒸馏水稀释 250 倍,利用分光光度计在 565 nm 下测定其吸光率,同时做空白对照,根据吸光率之差计算出高锰酸钾浓度的变化,并进而计算出氧化的碳量或活性有机质质量分数。

腐殖质结合形态质量分数测定:采用傅积平改进法^[4]。首先用密度为 $2.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的重液(ZnI_2)反复浸提离心去除土壤游离态腐殖质,剩余样品用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液反复处理至提取液无色或接近无色,提取部分为松结合态腐殖质;继续用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 和 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 混合液提取稳结合态腐殖质,残渣中为紧结合态腐殖质,采用油浴加热-重铬酸钾容量法测定各结合态碳量。

1.3 数据处理

试验数据采用 SPSS 软件系统进行分析,用不同字母表示显著差异($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 日光温室土壤活性有机质和有机质质量分数

日光温室表层($0 \sim < 20 \text{ cm}$)土壤中活性有机质和有机质总量的质量分数详见表 1,由表 1 可以看出,日光温室土壤中活性有机质质量分数和有机质总量均显著高于粮田土壤,且随着种植年限的增加有升高的趋势。种植 5、10、15 年的日光温室土壤中有有机质质量分数分别是温室外粮田土壤的 1.55、1.98 和 2.24 倍;5、10、15 年日光温室土壤活性有机质质量分数分别是粮田土壤的

3.59、5.35 和 7.71 倍。日光温室土壤活性有机质质量分数增幅大于有机质总量的增幅。主要由于日光温室栽培中,有机肥的施用量远远大于温室外粮田,致使日光温室土壤有机质质量分数高于温室外粮田,日光温室施用的有机肥料中多为畜禽粪肥等,造成日光温室土壤活性有机质质量分数增幅大于有机质总量的增幅。

2.2 日光温室土壤有机质和活性有机质质量分数的剖面变化

选取高龄(15 年)温室研究了其土壤有机质总量和活性有机质质量分数的剖面变化趋势,详见表 2。由表 2 可以看出,日光温室土壤随土层加深活性有机质(ASOM)和有机质(SOM)质量分数越来越低, $0 \sim < 20 \text{ cm}$ 、 $20 \sim < 40 \text{ cm}$ 土层活性有机质(ASOM)占有有机质(SOM)比例较高,均在 20% 以上; $20 \sim < 40 \text{ cm}$ 土层的活性有机质(ASOM)占有有机质(SOM)比例高于 $0 \sim < 20 \text{ cm}$ 土层。由表 1 和表 2 得出,高龄日光温室 $0 \sim < 40 \text{ cm}$ 土层活性有机质质量分数和占比均高于温室外粮田 $0 \sim < 20 \text{ cm}$ 土壤表层; $40 \sim < 100 \text{ cm}$ 土层有机质质量分数低于温室外粮田,但活性有机质质量分数占比仍高于粮田,说明日光温室土壤有机质存在强烈的淋移,主要原因是温室栽培中有机肥的施用多为畜禽粪便,且施肥灌溉方式为大肥大水,易溶性有机物向中下层土壤移动,使移动性相对较小的有机物质在温室土壤剖面上产生一定淋溶下移,造成日光温室 $20 \sim < 40 \text{ cm}$ 土层的活性有机质(ASOM)占有有机质(SOM)比例高于 $0 \sim < 20 \text{ cm}$ 土层的活性有机质占比。

表 1 日光温室表层土壤活性有机质质量分数变化

Tab.1 Mass percentage of active soil organic matter of greenhouse soil

| 土壤类型 | $\omega(\text{ASOM})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ | $\omega(\text{SOM})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ | ASOM 占 SOM 比例/% |
|--------|---|--|--------------------------|
| 15 年 | $8.676 \pm 1.302\text{a}$ | $34.682 \pm 2.178\text{a}$ | $25.02 \pm 1.71\text{a}$ |
| 10 年 | $6.019 \pm 0.913\text{b}$ | $30.725 \pm 1.285\text{b}$ | $19.59 \pm 1.37\text{b}$ |
| 5 年 | $4.037 \pm 0.517\text{c}$ | $24.108 \pm 1.064\text{c}$ | $16.74 \pm 1.31\text{c}$ |
| 粮田(CK) | $1.125 \pm 0.291\text{d}$ | $15.504 \pm 0.264\text{d}$ | $7.48 \pm 1.02\text{d}$ |

注:a,b,c,d 表示差异显著($P < 0.05$);CK,对照。

表 2 15 年日光温室土壤活性有机质质量分数剖面变化

Tab.2 Change of mass percentage of active soil organic matter of 15 years greenhouse profile soil

| 土层深度/cm | $\omega(\text{ASOM})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ | $\omega(\text{SOM})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ | ASOM 占 SOM 比例/% |
|-----------------|---|--|-----------------|
| $0 \sim < 20$ | 8.676 ± 1.302 | 34.682 ± 2.178 | 25.02 |
| $20 \sim < 40$ | 4.306 ± 0.694 | 15.763 ± 1.178 | 27.32 |
| $40 \sim < 60$ | 1.283 ± 0.342 | 9.221 ± 0.834 | 13.93 |
| $60 \sim < 80$ | 0.545 ± 0.109 | 5.154 ± 0.306 | 10.20 |
| $80 \sim < 100$ | 0.265 ± 0.087 | 2.567 ± 0.191 | 10.32 |

2.3 日光温室土壤腐殖质组分数量变化

土壤中的腐殖质是以多种方式和不同程度与矿物质结合形成有机-无机复合体而存在的。日光温室土壤中结合态腐殖质的质量分数和各组分的相对质量分数(占土壤腐殖质质量的百分数)详见表3。从表3可以看出,日光温室土壤中腐殖质质量分数高于粮田土壤,并且随着种植年限的增加有升高的趋势,种植15年的温室其土壤中腐殖质的质量分数可达粮田土壤的2.23倍;随温室种植年限的增加,日光温室土壤中松、稳、紧各级

结合态腐殖质质量分数均呈增加的趋势,其中增幅最大的是松结合态腐殖质,棚龄大于10年的温室土壤松结合态腐殖质是粮田松结合态腐殖质质量分数的2倍以上;对温室土壤各结合态腐殖质质量分数占比进一步分析发现,松结合态腐殖质占腐殖质总量的百分比最大,其次为紧结合态腐殖质、稳结合态腐殖质。主要是由于日光温室栽培中有机肥的大量施用,可明显提高土壤腐殖质质量分数,尤其是畜禽粪便等有机肥的施用,致使温室土壤中松结合态腐殖质质量分数占比较大。

表3 日光温室土壤腐殖质结合形态的变化
Tab.3 Change of combined morphology of soil humus

| 土壤类型 | 腐殖质质量分数/ (g·kg ⁻¹) | 松结合态 | | 稳结合态 | | 紧结合态 | |
|--------|-----------------------------------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| | | 质量分数/(g·kg ⁻¹) | 占比/% | 质量分数/(g·kg ⁻¹) | 占比/% | 质量分数/(g·kg ⁻¹) | 占比/% |
| 15年 | 25.451±1.957 | 13.107±1.342 | 51.50 | 3.003±0.861 | 11.80 | 9.340±1.463 | 36.70 |
| 10年 | 20.701±1.802 | 10.039±1.267 | 48.49 | 2.567±0.812 | 12.40 | 8.094±1.201 | 39.10 |
| 5年 | 17.457±0.983 | 7.861±1.041 | 45.03 | 2.227±0.742 | 12.76 | 7.177±1.357 | 41.11 |
| 粮田(CK) | 11.411±0.983 | 4.914±0.654 | 43.06 | 1.483±0.342 | 13.00 | 4.918±0.802 | 43.10 |

2.4 日光温室土壤各级结合态腐殖质相对质量分数

土壤中各级结合态腐殖质相对质量分数,如土壤松结合态腐殖质与紧结合态腐殖质的比(即松紧比)是衡量腐殖质品质的一个重要指标,比值大标志着腐殖质活性较高,比值小则说明腐殖质的活性较低。温室土壤与粮田土壤比较,其腐殖质活性(即松紧比)由大到小依次为:15年、10年、5年、粮田,详见图1。

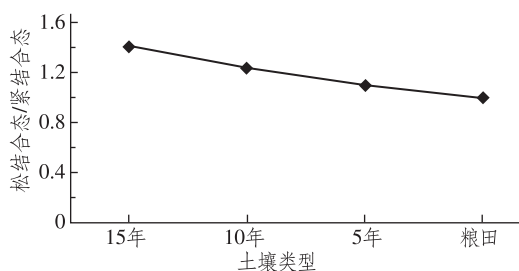


图1 日光温室土壤腐殖质松结合态与紧结合态的比值
Fig.1 The ratio of loosely combined humus and tightly combined humus of greenhouse soil

主要原因是日光温室栽培和粮田管理上有很大的差异,日光温室有机肥和化肥施用量均高于粮田,而粮田主要施用化肥和作物秸秆。不同管

理措施对较活跃的松结合态影响较大,有机肥料和化肥使用量均高的日光温室土壤腐殖质大量积累,松结合态腐殖质积累尤为明显,提高了其在腐殖质中的比例,土壤新老腐殖质转化活跃,使土壤腐殖质得到活化和更新,这对日光温室土壤肥力的提高具有重要的意义。

3 讨论

土壤有机质是土壤的重要组成部分,是植物的养分来源和土壤微生物生命活动的能量来源。SOM的质量分数只是一个有机质积累和矿化分解的平衡结果,不能很好地反映土壤质量(soil quality, SQ)的变化和转化速率等;土壤活性有机质是指土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解利用、对植物养分供应有最直接作用的那部分有机质^[3,10];有机肥与化肥配施对黑土中有机碳及总碳的积累起到积极作用^[1-2]。本研究表明由于日光温室土壤管理中肥料的施用量和灌水量远大于粮田土壤,日光温室土壤中的有机质总量和活性有机质质量分数均高于粮田土壤,并且随着种植年限的增加有升高的趋势;日光温室土壤活性有机质质量分数增幅大于有机质总量的增幅,高龄温室0~<20 cm, 20~<40 cm 土层活性有机质

占有有机质比例高达 20%以上,活性有机质质量分数均高于温室外粮田 0~<20cm 表层。这与何翠翠等^[11]研究长期施肥可增加黑土地土壤活性有机质质量分数的结论是一致的。

土壤中的腐殖质大多是与矿质土粒结合形成有机无机复合体,由于结合的方式和松紧程度的不同,其土壤的肥力特性也有差异^[11];结合态腐殖质是指土壤中起复合作用的腐殖物质,按其结合的松紧程度分为三种:松结合态、稳结合态和紧结合态腐殖质,三种类型结合态腐殖质与量的组成与变化和土壤肥力关系密切^[12-15];土壤腐殖质与矿质土粒结合的松紧程度不同,对土壤结构状况、土壤的肥沃状况影响不同,松结合态腐殖质是土壤结合态腐殖质中最为活跃的有机质,其结构简单,易被微生物分解、转化,对土壤养分的释放有着积极的作用^[7,16]。对不同棚龄温室土壤的腐殖质组成进行分析,结果表明,种植 15 年的高龄温室其土壤中腐殖质质量分数是温室外粮田土壤腐殖质质量分数的 2.23 倍,松结合态腐殖质质量分数是粮田松结合态腐殖质质量分数的 2.6 倍。松结合态腐殖质占比最大,这与何翠翠等^[11]研究结论一致。高龄温室土壤中稳结合态腐殖质占比最少,这与文献^[16-18]研究结论相同。

土壤松紧比是衡量腐殖质活性和品质的又一重要指标,松紧比值大标志着腐殖质活性较高,可用土壤松结合态腐殖质与紧结合态腐殖质的比值鉴别土壤的肥力特征^[16,19]。本研究表明日光温室土壤松紧比均大于粮田土壤,从大到小依次是 15 年、10 年、5 年、粮田,日光温室土壤腐殖质活性较高。这一研究结果与接晓辉等^[16]施肥增加保护地土壤腐殖质总量和松紧比的研究结论较一致。

日光温室土壤有机质总量和活性有机质质量分数高于温室外粮田土壤有机质总量和活性有机质质量分数,种植利用年限越长的日光温室土壤有机质质量分数越高;日光温室土壤活性有机质质量分数增幅大于有机质总量的增幅。随日光温室种植利用年限的增加,日光温室土壤松结合态腐殖质质量分数占腐殖质总量的百分比和松紧比均呈增大趋势。

4 结论

日光温室土壤表层(0~<20 cm)中的活性有

机质和有机质总量以及活性有机质占有有机质比例均高于粮田,并且随日光温室利用年限的增加,活性有机质和有机质总量以及活性有机质占有有机质比例均呈升高的趋势。15 年日光温室土壤随土层加深活性有机质和有机质质量分数越来越低,0~<20 cm,20~<40 cm 土层活性有机质占有有机质比例较高,均在 20%以上,高于温室外粮田 0~<20 cm 土壤表层。随种植利用年限的增加,日光温室土壤中松、稳、紧各级结合态腐殖质质量分数均呈增加的趋势;其中松结合态腐殖质占比大于粮田,稳结合态和紧结合态腐殖质占比小于粮田。日光温室土壤松紧比均大于粮田土壤。

参考文献:

- [1] 徐金忠,高德武,许靖华,等.不同施肥处理对黑土碳素及活性有机质的影响[J].中国农学通报,2016,32(15):130-133.
- [2] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等.土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J].生态学报,2005(3):513-519.
- [3] 田小明,李俊华,危常州,等.不同生物有机肥用量对土壤活性有机质和酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2012(1):26-32.
- [4] 傅积平.土壤结合态腐殖质分组测定[J].土壤通报,1983(2):36-37.
- [5] DOU S, SHAN J, SONG X Y, et al. Are humic substances soil microbial residues or unique synthesized compounds? A perspective on their distinctiveness [J]. Pedosphere, 2020, 30(2): 159-167.
- [6] 李晓航,吴景贵,孟庆龙,等.连续施用不同种类畜禽粪肥对土壤结合态腐殖质组成的影响[J/OL].吉林农业大学学报:1-12(2020-09-03)[2023-07-13]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1100.S.20200902.1556.011.html>.
- [7] 任玲,吴景贵,吕东波,等.不同耕作模式对东北黑土腐殖质结合形态的影响[J].东北农业科学,2016,41(2):50-55.
- [8] 吕福堂,张秀省,董杰.日光温室土壤速效养分剖面分布和累积特征研究[J].土壤通报,2010,41(5):1110-1114.
- [9] 吕福堂,张秀省,董杰,等.日光温室土壤磷素积累、淋移和形态组成变化研究[J].西北农业学报,2010,19(2):203-206.
- [10] 王改玲,李立科,郝明德.长期施肥和秸秆覆盖土壤活性有机质及碳库管理指数变化[J].植物营养与肥料学报,2017,23(1):20-26.
- [11] 何翠翠,王立刚,王迎春,等.长期施肥下黑土活性

- 有机质和碳库管理指数研究[J].土壤学报,2015,52(1):194-202.
- [12] 陈晓东,吴景贵,范围,等.不同有机物料对原生盐碱地土壤腐殖质结合形态及组成的影响[J].水土保持学报,2019,33(1):200-205.
- [13] 李建明,吴景贵,王利辉.不同有机物料对黑土腐殖质结合形态影响差异性的研究[J].农业环境科学学报,2011,30(8):1608-1615.
- [14] 胡诚,陈云峰,乔艳,等.秸秆还田配施腐熟剂对低产黄泥田的改良作用[J].植物营养与肥料学报,2016,22(1):59-66.
- [15] 俄胜哲,时小娟,车宗贤,等.有机物料对灌漠土结合态腐殖质及其组分的影响[J].土壤学报,2019,56(6):1436-1448.
- [16] 接晓辉,杨丽娟,周崇峻,等.长期施肥对保护地土壤腐殖质总量及各形态之间比值的影响[J].土壤通报,2009,40(4):805-808.
- [17] 张鸿龄,梁成华,杜立宇,等.长期定位施肥对保护地土壤腐殖质结合形态的影响[J].应用生态学报,2006,17(5):831-834.
- [18] 迟凤琴,蔡姗姗,匡恩俊,等.长期施肥对黑土有机无机复合度及结合态腐殖质的影响[J].东北农业大学学报,2014,45(8):20-26.
- [19] 刘文利,吴景贵,赵新宇,等.不同园龄果园土壤腐殖质组分数量及其元素组成特征[J].东北林业大学学报,2014,42(6):68-72.

Composition of Soil Active Organic Matter and Humus in Solar Greenhouse

YUAN Xueliang¹, FANG Yuan², LI Li¹, XU Qian¹, LI Hushen¹, ZHENG Feng³,
LÜ Futang³, ZHANG Daosheng⁴, MA Ronghui⁴

(1.Liaocheng Agricultural Technology Extension Service Center,Liaocheng 252000,China;

2.Bureau of Agricultural and Rural Affairs in Dongchangfu,Liaocheng 252000,China;

3.School of Agriculture,Liaocheng University,Liaocheng 252000,China;

4.Agriculture Technology Promotion Center of Shandong Province,Jinan 250100,China)

Abstract: Through the study of soil active organic matter and humus composition in different planting years, the results showed that the soil organic matter, humus and active organic matter content in solar greenhouse increased with the increase of planting years. The increase of soil active organic matter content in solar greenhouse was greater than the increase of total organic matter, and the proportion of active organic matter in soil layer above 40 cm was more than 20%, which was higher than that of grain field outside greenhouse in 0~<20 cm soil layer. The content of loosely, stably and tightly combined humus increased with the increase of planting years in the soil of solar greenhouse. Among them, loosely combined humus proportion was greater than grain field, stably combined humus and tightly combined humus proportion were less than grain field. The ratio of loosely combined humus to tightly combined humus (loose compact ratio) in solar greenhouse soil was greater than that in grain field soil.

Keywords: greenhouse; active organic matter; humus; soil fertility

(责任编辑 李维卫)