

灌溉方式对蔬菜栽培设施土壤黑碳的影响^①

薛媛媛, 张玉龙*, 党秀丽

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866)

摘要:采集连续 13 年定位灌溉试验的蔬菜栽培设施 0~20 cm 和 20~40 cm 两层土壤样品,测定总有机碳、黑碳和腐殖酸含量,探讨沟灌、滴灌和渗灌处理对土壤黑碳含量的影响及黑碳与其他形态土壤有机碳的关系。结果表明,各种有机碳组分含量均以 0~20 cm 土层最高;3 种灌溉处理间 0~20 cm 和 20~40 cm 土层总有机碳、黑碳含量差异明显,总体上呈滴灌最高、渗灌次之、沟灌最少分布趋势;腐殖酸含量则为沟灌>滴灌>渗灌。在 0~20 cm 土层,总有机碳、黑碳、腐殖酸含量变化范围分别为 21.15~25.53、5.30~7.59 和 3.64~5.75 g/kg;在 20~40 cm 土层,三者含量范围分别为 11.62~17.55、3.39~5.40 和 3.54~3.83 g/kg。0~40 cm 土层黑碳、腐殖酸占总有机碳的比例分别在 22.81%~30.85% 和 16.60%~33.03% 之间。土壤中黑碳与总有机碳之间具有极显著的相关性,而与腐殖酸不具有相关性。

关键词:保护地;灌溉方式;黑碳;腐殖酸

中图分类号:S158.2

黑碳是由生物质和化石燃料不完全燃烧产生的一类碳元素含量较高的混合物,生物化学性质很稳定^[1]。事实上,在自然因素及耕作等人为活动影响下,土壤中的有机物质经过矿化、合成等复杂过程也会形成黑碳类物质,有研究结果表明一般土壤中黑碳占有机碳的比例可高达 45%^[2]。土壤受到火烧、耕作、施肥等人为活动作用不同,其黑碳数量不同。已有研究证明原始森林开垦后土壤黑碳含量会逐渐下降^[3],大量施用农家肥耕地土壤黑碳含量会明显上升^[4],而火烧次数增加会使黑碳占土壤有机质的比例逐渐下降^[5]。

设施蔬菜生产每季都要施入大量的有机肥,特殊的高温高湿条件又使土壤有机碳分解、合成过程与露地大田相异,而不同的灌溉方法、技术等水分管理措施,致使土壤水、热、通气性、pH、微生物活性不同,其有机碳含量、组分也应该发生改变。关于自然

土壤和旱田土壤有机质含量、组分及其与耕作培肥措施间关系研究已经有很多^[8];而灌溉方式等水分管理措施影响设施土壤有机碳库,特别是黑碳方面的研究还鲜有报道。本文自多年定位灌溉试验设施采集土壤样本,测定黑碳、总有机碳和腐殖酸碳等有机碳组分,通过分析黑碳与有机质各组分含量间的关系,对不同灌溉方式对土壤黑碳影响机理进行了探讨,以为设施蔬菜栽培进行合理水分管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

保护地长期定位灌溉试验于沈阳农业大学校内科研基地塑料大棚内进行。供试土壤为草甸土,质地为黏壤土。试验开始于 1998 年,当时 0~20 cm 土层土壤基本性质见表 1。

表 1 试验地土壤理化性质 (0~20 cm, 1998 年)
Table 1 Physico-chemical properties of soil studied

土壤	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
草甸土	6.80	22.70	1.30	1.86	17.60	96.91	103.1	164.0

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)子课题项目(2011CB100502)和沈阳市科技攻关项目(F11-117-3-00、1091108-3-02)资助。

* 通讯作者(yylzsau@163.com)

作者简介:薛媛媛(1989—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要从事土壤改良与农业节水研究。E-mail:xyysoil1989@163.com

1.2 田间试验设计

试验连续进行了 13 年, 每年试验方案、方法相同。试验以小区方式进行, 供试作物为番茄。共设沟灌、滴灌、渗灌 3 种处理, 每种处理 4 次重复。小区随机排列, 小区面积 8.25 m^2 ; 小区间用埋深 60 cm 塑料薄膜隔开以防水分互渗。滴灌管铺设于地表, 出水孔与作物根部位置相对; 渗灌使用外径 20 mm、内径 16 mm 黑色微孔渗灌管, 渗灌管埋深 30 cm, 铺设位置与作物行垂直对应, 管下铺 10 cm 塑料薄膜以抑制水分下渗, 管上铺约 2 cm 厚稻壳作为过滤层; 沟灌以垄沟为灌水沟, 按常规方法灌水。灌水控制上限、下限分别设定为土壤水吸力 6 kPa、40 kPa。以埋设于各小区中部深 20 cm 的张力计指示灌水。每年 4 月上旬番茄定植, 8 月中旬试验结束。13 年间平均每季作物沟灌灌水 6 次, 灌水总量 $2295.9 \text{ m}^3/\text{hm}^2$; 滴灌灌水 11 次, 灌水总量 $1912.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$; 渗灌灌水 12 次, 灌水总量 $1691.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

各处理施肥数量、方法相同。春季整地时施腐熟有机肥(鸡粪) $37500 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 为底肥(表 2); 番茄移栽时沟施尿素 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、磷酸二铵 $225 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、硫酸钾 $300 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 为基肥; 番茄第一、第二穗果实膨大期各追施尿素 $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

表 2 有机肥的养分含量
Table 2 Nutrient contents of organic fertilizer

有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
32.40	5.2	3.5	2.4	2560.0	3225.0

1.3 土壤样品采集

每年栽培一茬番茄, 收获后塑料大棚内一直保持覆盖状态。土壤样品于 2011 年 4 月移栽整地前采集。采样时在每个小区按“S”型布置多个采样点, 每点采样深度为 0~20、20~40 cm, 各点同一层次土样混合为该小区的土壤样品, 风干、过筛备用。

1.4 测定项目与方法

黑碳提取采用 Lim 和 Cachier^[9]和 Song 等^[10]提出的方法并略加改进, 即根据土壤硅酸盐数量和有机质含量对氢氟酸、氧化剂用量进行了调整。主要实验步骤如下: 称取过 100 目烘干土样 3 g, 加入 15 ml 3 mol/L HCl、浸泡 24 h 去除碳酸盐; 加入 30 ml HF (10 mol/L) 与 HCl (1 mol/L) 的混合液浸泡 3 天除去硅酸盐并反复进行 4 次; 加入 15 ml 10 mol/L HCl 反应 24 h 除去可能生成的 CaF_2 , 再加入 35 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (0.1 mol/L) 和 H_2SO_4 (2 mol/L) 混合液在 $(55 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下反应 60 h 除去其他形态有机碳, 得到的剩余物即

为黑碳样品, 此方法测得黑碳的回收率在 80% 左右。土壤总有机碳(TOC)和黑碳含量用元素分析仪(Elementar III)测定, 测定前用 HCl 除去原土样中无机碳(CaCO_3)。腐殖酸的含量由胡敏酸和富里酸含量相加求得, 胡敏酸、富里酸采用 0.1 mol/L 焦磷酸钠和 0.1 mol/L 氢氧化钠混合液 (pH 13) 浸提分离, 丘林法测定。

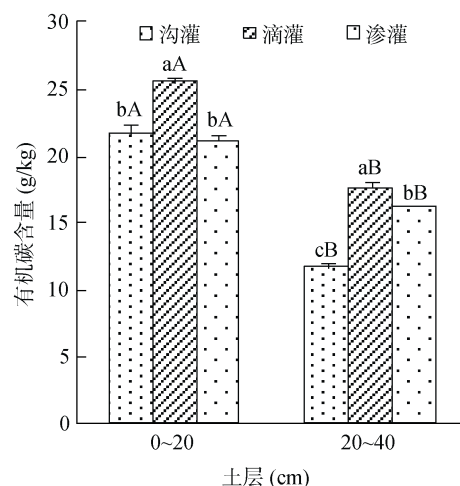
1.5 数据分析

数据统计与分析使用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同灌溉处理土壤有机碳含量及土层分布

2.1.1 土壤总有机碳(TOC) 不同灌溉处理土壤总有机碳含量测定结果如图 1 所示。0~20 cm 土层沟灌、滴灌、渗灌处理土壤有机碳含量分别为 21.66、25.53 和 21.15 g/kg, 20~40 cm 土层分别为 11.62、17.55 和 16.20 g/kg。从图中可见, 3 种灌溉处理 0~20 cm 土层有机碳含量均高于 20~40 cm 土层, t 检验结果表明所有灌溉处理两土层间有机碳含量差异均达到了 $P<0.05$ 显著水平。同一土层不同灌溉处理间土壤总有机碳含量差异总体上也都达到 $P<0.05$ 显著水平, 即 0~20 cm 土层滴灌处理有机碳含量显著高于沟灌和渗灌处理, 而 20~40 cm 土层沟灌处理则显著低于滴灌和渗灌处理。



(图中小写字母不同表示同一土层不同处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平, 大写字母不同表示同一处理不同土层间差异达到 $P<0.05$ 显著水平, 下同)

图 1 不同灌溉处理土壤总有机碳含量

Fig. 1 Contents of soil total organic carbon of different irrigation modes

2.1.2 土壤黑碳(BC) 图 2 是不同灌溉处理 0~20 cm 和 20~40 cm 两土层土壤黑碳含量测定结果。由图可

见,不同灌溉处理间黑碳含量差异明显,0~20 cm 土层土壤黑碳含量为滴灌处理(7.59 g/kg)>渗灌处理(5.64 g/kg)>沟灌处理(5.30 g/kg);20~40 cm 土层各灌溉处理土壤黑碳含量大小顺序与 0~20 cm 土层相一致,亦为滴灌处理(5.40 g/kg)>渗灌处理(3.69 g/kg)>沟灌处理(3.39 g/kg)。统计检验结果表明,处理间土壤黑碳含量差异总体达到 $P<0.05$ 显著水平,即滴灌处理明显高于渗灌和沟灌处理,但渗灌和沟灌两处理间差异不显著。上下土层间比较,各灌溉处理 0~20 cm 土层土壤黑碳含量均高于 20~40 cm 土层,且差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

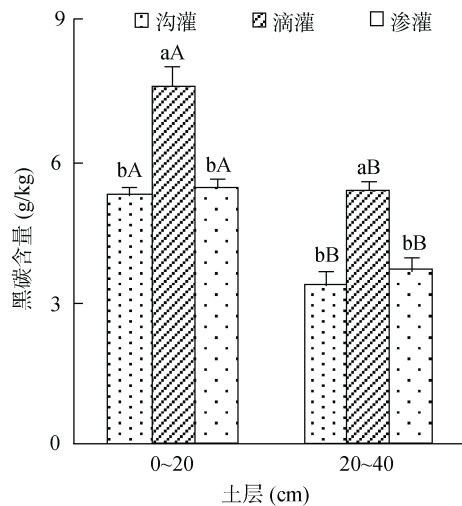


图 2 不同灌溉处理土壤黑碳含量
Fig. 2 Contents of soil black carbon of different irrigation modes

2.1.3 土壤腐殖酸(SHC) 3种灌溉处理 0~20 cm 土层土壤腐殖酸含量(3.64~5.75 g/kg)均高于 20~40 cm 土层的含量(3.54~3.83 g/kg)(图 3)。不同灌溉处理间土壤腐殖酸含量比较,0~20 cm 土层为沟灌>滴灌>渗灌,且差异达 $P<0.05$ 显著水平;20~40 cm

土层与 0~20 cm 土层变化趋势一致,但差异未达 $P<0.05$ 显著水平。上下土层间腐殖酸含量比较,沟灌处理差异达到 $P<0.05$ 显著水平,而滴灌和渗灌处理上下土层间差异不显著。

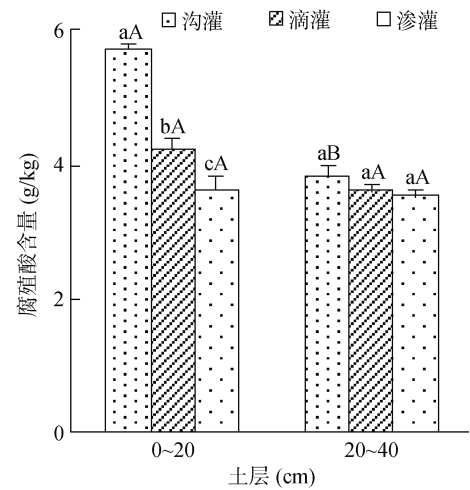


图 3 不同灌溉处理土壤腐殖酸含量
Fig. 3 Contents of soil humic acid of different irrigation modes

2.2 土壤黑碳、腐殖酸占总有机碳的比例(BC/TOC, SHC/TOC)

各灌溉处理土壤黑碳占总有机碳的比例(BC/TOC)如表 3 所示,其变化范围为 22.81%~30.85%,且表现出灌溉处理间差异较大、上下土层间差异相对较小的变化趋势。0~20 cm 土层的 BC/TOC 为滴灌>渗灌>沟灌,三者之间差异均达到 $P<0.05$ 显著水平;而 20~40 cm 土层的 BC/TOC 为滴灌>沟灌>渗灌,渗灌与沟灌、滴灌间差异达 $P<0.05$ 显著水平。沟灌和滴灌两处理 20~40 cm 土层 BC/TOC 高于 0~20 cm 土层,而渗灌处理则 0~20 cm 土层高于 20~40 cm 土层。

表 3 黑碳和腐殖酸占总有机碳比例
Table 3 BC and SHC accounting for the proportion of total organic carbon

土层 (cm)	黑碳占总有机碳比例(%)			腐殖酸占总有机碳比例(%)		
	沟灌	滴灌	渗灌	沟灌	滴灌	渗灌
0~20	24.49 b	29.69 a	25.82 b	26.55 a	16.60 b	17.23 b
20~40	29.05 a	30.85 a	22.81 b	33.03 a	20.62 b	21.87 b

注:表中同一行小写字母不同表示同一土层同一测定指标不同处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

不同灌溉处理土壤腐殖酸占总有机碳(SHC/TOC)的变化范围为 16.60%~33.03%(表 3)。由表中可见 0~20 cm 土层和 20~40 cm 土层处理间顺序均为沟灌>渗灌>滴灌,且两土层沟灌与渗灌、滴灌处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平;两土层比较,20~40 cm 土层各灌溉处理土壤 SHC/TOC 高于 0~20 cm 土层,

但差异不显著。

不同处理间黑碳与腐殖酸关系比较(表 3),沟灌处理上下两土层 SHC/TOC 均大于 BC/TOC,但相差较小,而滴灌和渗灌处理差异明显,且均为 SHC/TOC 小于 BC/TOC。这说明滴灌和渗灌处理所形成的土壤环境条件对黑碳形成更为有利。

2.3 土壤黑碳与总有机碳、腐殖酸的关系

不同土层各处理土壤黑碳与总有机碳、腐殖酸含量间的相关分析结果如表 4 所示。上下两土层土壤黑碳与总有机碳含量间均呈极显著正相关关系,说明设施土壤黑碳形成依赖于有机质的增加,土壤中有机物质越多,土壤中形成的黑碳也

越多,而黑碳则是土壤有机碳保存的重要形式。上下两土层黑碳-总有机碳相关方程的相关系数数值不同,上层土壤的相关系数大于下层,说明上层土壤黑碳的形成更密切地受制于施肥、耕翻等常规耕作措施。而土壤中黑碳与腐殖酸之间不具有相关性。

表 4 土壤有机碳、腐殖酸(y)和黑碳(x)的关系
Table 4 Relationship between TOC, SHC and BC

土层(cm)	养分种类	样本数	拟合曲线	相关系数 <i>r</i>
0 ~ 20	有机碳	12	$y = 0.484\ 4x - 4.918\ 2$	0.925**
	腐殖酸	12	$y = -0.265\ 3x + 7.433\ 8$	0.222
20 ~ 40	有机碳	12	$y = 0.281\ 2x - 0.066\ 2$	0.793**
	腐殖酸	12	$y = -0.855\ 6x + 7.345\ 1$	0.283

注:样本数为沟灌、滴灌和渗灌 3 个处理,每个处理 4 次重复,共 12 个数据,**表示相关性达到 $P<0.01$ 显著水平。

3 讨论

不同灌溉处理 0 ~ 20 cm 土壤有机碳含量均高于 20 ~ 40 cm 土层,这是由于长期施肥,特别是大量施用有机肥造成的^[11]。不同灌溉方式创造不同土壤通气性、pH、团聚体组成、水热等条件,进而影响有机质矿化和腐殖化进程^[12-14]。由于滴灌灌水后湿润的只是作物根系层局部,灌水相对频繁,土层湿润部分保持较高含水量,而未被湿润部分相对干燥,这种土壤环境条件易于有机碳的积累。而沟灌一次灌水数量较大,灌水间隔较长,整个作物根系层土壤干湿交替明显,土壤中易于分解的有机碳分解矿化,残留的有机碳稳定性较高。渗灌灌水时灌溉用水自下而上浸润,速度慢,灌水后土层局部湿润,且地表保持相对干燥,这一水热条件使土壤有机质矿化速率处于中等位置。因此,有机碳含量为滴灌处理最高、沟灌最低;腐殖酸含量则为沟灌最高。

3 种灌溉处理土壤黑碳含量变化范围为 3.39 ~ 7.59 g/kg,黑碳占总有机碳的比例为 22.81% ~ 30.85%,这一测定结果高于已有的大多数国内外研究结果^[15-17]。一方面在于所测得的黑碳含量可能包含尚未完全被氧化的腐殖酸、部分胡敏素和被黑碳颗粒包裹的植物残体^[9];另一方面由于土壤类型、黑碳来源各异,黑碳的测定方法也不完全相同,故所得结果难于直接比较。自然土壤中黑碳主要源于生物质燃烧、大气沉降以及施肥,而设施土壤处于“被保护”状态,连续大量施用有机肥料可能是黑碳生成的基础物质,而特殊的水热条件则是其生成的主要影响因素,本文 0 ~ 20 cm 土层黑碳含量明显高于 20 ~ 40 cm 土层的试验结果证明了这一点。

土壤黑碳数量取决于总有机碳含量。就表层土壤

而言,由于滴灌灌水后总是处于部分干燥、部分湿润,湿润部分有利土壤有机物质的积累,而干燥部分不利于有机物质矿化,结果导致了滴灌处理表层土壤黑碳含量明显高于沟灌和渗灌处理。同时,黑碳主要以与矿物颗粒结合成重组有机碳形式存在于土壤微团聚体(<53 μm)中,不易被氧化和微生物利用,而更有利于土壤碳的保存^[18]。灌溉方式影响黑碳在土层间的分布,随着土层深度的增加,沟灌和滴灌两处理黑碳占有有机碳的比例也随之升高,这与 Sonja 等^[19]的研究结果一致,由于较小的黑碳颗粒或与黏粒结合会随水分移动而进入到下层土壤中。渗灌处理却表现出相反的趋势,这可能与渗灌灌溉水分长年向上运动有关。

有研究认为黑碳可能是土壤腐殖质中高度芳香化结构的组成成分^[20],本研究中黑碳与腐殖酸未表现出密切的相关性,但黑碳应该是比腐殖酸碳更为稳定的有机质成分。此外,黑碳具有较高的比表面积和羧基、羟基、酚羟基等多种功能团,可吸附土壤中可溶性碳,对土壤固碳起到积极的作用^[21]。因此,测定和研究黑碳在土壤培肥及环境保护方面具有重要意义。

4 结论

沟灌、滴灌和渗灌 3 种灌溉处理,0 ~ 20 cm 土层土壤黑碳、总有机碳和腐殖酸含量均高于 20 ~ 40 cm 土层。在 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 两土层,土壤总有机碳含量滴灌处理高于渗灌和沟灌,黑碳含量滴灌高于渗灌、渗灌高于沟灌,腐殖酸含量沟灌处理高于滴灌、滴灌高于渗灌。土壤黑碳、腐殖酸占总有机碳的比例分别在 22.81% ~ 30.85%、16.60% ~ 33.03%之

间,黑碳与土壤总有机碳之间具有良好的相关性。

综上所述,不同灌溉方式下土壤的理化性质不同,致使土壤有机碳及其组分产生差异,滴灌提高总有机碳、黑碳含量,渗灌次之;相比较而言,虽然沟灌处理有机碳、黑碳含量均明显低于滴灌和渗灌处理,但腐殖质含量却高于滴灌和渗灌处理。

参考文献:

- [1] Schmidt MWI, Noach AG. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications and current challenges[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, 14(3): 777-793
- [2] Schmidt MWI, Skjemstad JO, Gehrt E, Kögel-Knabner I. Charred organic carbon in German chernozemic soils[J]. *Soil Science*, 1999, 50: 351-365
- [3] 张履勤, 章明奎. 土地利用方式对红壤和黄壤颗粒有机碳和碳黑积累的影响[J]. *土壤通报*, 2006, 37(4): 662-665
- [4] Merbach W, Garz J, Schliephake W. The long-term fertilization experiments in Halle (Saale), Germany-introduction and survey[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2000, 163: 629-638
- [5] Czimczik CI, Schmidt MWI, Schulze ED. Effects of increasing fire frequency on black carbon and organic matter in pod-zols of Siberian Scots pine forests[J]. *Soil Science*, 2005, 56: 417-428
- [6] Asai H, Samson BK, StePhan HM. Biochar amendment techniques for upland rice production in northern Laos[J]. *Field Crops Research*, 2009, 111: 81-84
- [7] Laird DA, Fleming P, Davis DD. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158: 443-449
- [8] 王旭东, 张一平, 吕家珑, 樊小林. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2000, 33(2): 75-81
- [9] Lim B, Cachier H. Determination of black carbon by chemical oxidation and thermal treatment in recent marine and lake sediments and Cretaceous-Tertiary clays[J]. *Chemical Ecology*, 1996, 131 (1-4): 143-154
- [10] Song JZ, Peng PA, Huang WL. Black carbon and kerogen in soils and sediments, 1. Quantification and characterization[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(18): 3 960-3 967
- [11] 佟小刚, 黄绍敏, 徐明岗, 卢昌艾, 张文菊. 长期不同施肥模式对潮土有机碳组分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(14): 831-836
- [12] 韩琳, 张玉龙, 金烁, 王娇, 魏岩岩, 崔宁, 魏巍. 灌溉模式对保护地土壤可溶性有机碳与微生物量碳的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(8): 1 625-1 633
- [13] 李爽, 张玉龙, 范庆锋, 虞娜, 刘畅. 不同灌溉方式对保护地土壤酸化特征的影响[J]. *土壤学报*, 2012, 49(5): 910-915
- [14] 阎亭廷, 张玉龙, 李爽, 祁金虎. 灌溉方式对保护地土壤微团聚体及其碳、氮分布的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(4): 279-282
- [15] Mireia L. Storage of organic carbon and black carbon in density fractions of calcareous soils under different land uses[J]. *Geoderma*, 2010, 159: 31-38
- [16] 于晓玲, 佟晓刚, 杨学云, 李明, 吴发启. 长期施肥对壤土黑碳积累的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(6): 1 404-1 411
- [17] 何跃, 张甘霖. 城市土壤有机碳和黑碳的含量特征与来源分析[J]. *土壤学报*, 2006, 43(2): 178-182
- [18] Brodowski S, John B, Flessa H, Amelung W. Aggregate-occluded black carbon in soil[J]. *European Journal of Soil Science*, 2006, 57: 539-546
- [19] Sonja B, Wulf A, Ludwig H, Wolfgang Z. Black carbon contribution to stable humus in German arable soils[J]. *Geoderma*, 2007, 139: 220-228
- [20] Haumaier L, Zech W. Black carbon-possible source of highly aromatic components of soil humic acids[J]. *Organic Geochemistry*, 1995, 23: 191-196
- [21] Kaiser K, Haumaier L, Zech W. The sorption of organic matter in soils as affected by the nature of soil carbon[J]. *Soil Science*, 2000, 165(4): 305-313

Effects of Different Irrigation Modes on Soil Black Carbon in Greenhouse

XUE Yuan-yuan, ZHANG Yu-long^{*}, DANG Xiu-li

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Soil samples within 0 – 20 cm and 20 – 40 cm were collected from different irrigation modes (furrow irrigation (FI), drip irrigation (DI) and subsurface irrigation (SI)) in the same protected field where the irrigation experiment was continued for 13 years to research the effects of different irrigation modes on black carbon (BC) and the relationship between black carbon and other organic carbon fractions in greenhouse. The results suggested that the contents of TOC, BC and SHC all showed the biggest amount in 0 – 20 cm and there were significant differences within different layers for irrigation modes. The contents of TOC and BC within 0 – 20 cm and 20 – 40 cm generally presented the trend $DI > SI > FI$, while that of SHC was $FI > DI > SI$. The content ranges of TOC, BC and SHC were 21.15 – 25.53, 5.30 – 7.59 and 3.64 – 5.75 g/kg in 0 – 20 cm and were 11.62 – 17.55, 3.39 – 5.40 and 3.54 – 3.83 g/kg in 20 – 40 cm, respectively. The contents of BC and SHC accounted for 22.81% – 30.85% and 16.60% – 33.03% of TOC respectively within 0 – 40 cm soil layer. There were significant positive correlation between soil BC and TOC, but not between BC and SHC.

Key words: Greenhouse, Irrigation modes, Black carbon, Humic acid