

日光温室蔬菜栽培对土壤团聚体稳定性的影响

——以陕西省泾阳县日光温室土壤为例

孙艳^{1,2} 王益权² 刘军² 夏发生² 王金贵² 李建波²

(1 西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

(2 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 土壤的团聚状况是土壤重要的物理性质之一, 团聚体的数量是衡量和评价土壤肥力的重要指标。用干筛法、湿筛法及带水振荡法对日光温室土壤和露地土壤的团聚体含量进行了测定, 并进行了比较。根据干筛法测得的各级团聚体含量及平均重量直径(MWD)的评判, 日光温室土壤大于10 mm团聚体的机械稳定性低于露地土壤。根据大于0.25 mm水稳性团聚体含量、水稳性团聚体的MWD值、团聚体的破坏率及团聚体的原始稳定系数和崩解速率等指标评判, 日光温室土壤团聚体的水稳性高于露地土壤。日光温室蔬菜栽培年限长于5 a后, 土壤中团聚体的机械稳定性显著降低, 水稳性显著提高。

关键词 日光温室; 蔬菜栽培; 团聚体; 机械稳定性; 水稳性

中图分类号 S152.5 **文献标识码** A

近年来, 关于设施蔬菜栽培导致土壤质量下降的问题受到一些土壤学者的高度关注, 研究点主要集中在设施土壤酸化、次生盐渍化、养分变化及板结等方面。团聚体是土壤重要的物理性质, 是指直径为0.25~10 mm的类似球形、疏松多孔、具有机械弹性、水稳性和一定生物学稳定性的小团块和团粒, 其在土壤中的数量和稳定性易受土壤环境变化及人为生产活动的影响^[1-7]。团聚体是决定土壤肥力状况的重要因素, 也是衡量和评价土壤肥力的重要指标。然而, 有关设施蔬菜栽培对土壤团聚体影响的研究报道很少^[8]。在已有的报道中, 仅对大棚土壤中5~0.25 mm水稳性团聚体的含量进行了研究, 未对团聚体的机械稳定性进行评价, 而且不同种植年限的土壤只选取一个大棚取样, 样本的代表性较低。设施蔬菜栽培由于具有半封闭、施肥量大、无自然雨淋、耕作频繁及高度集约利用等特点, 其必将对土壤团聚体性状产生较大影响。本试验针对同一类型土壤在日光温室蔬菜栽培条件下和露地蔬菜栽培条件下团聚体的变异情况进行了研究, 以探讨设施土壤团聚体变化对高强度利用条件下土壤肥力的影响, 为土壤的合理利用及科学调配提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土样于2006年3月13日采自陕西省泾阳县云阳镇日光温室和相临露地菜田的耕层土壤(0~20 cm)。日光温室用于番茄栽培。土壤的基本理化性质^[9]见表1。本试验以日光温室种植年限为试验因子, 设置三组年限(即处理):(1)种植年限<5 a的土壤, 取自2003年建造的日光温室内;(2)种植年限5~10 a的土壤, 取自1997年或1998年建造的日光温室内;(3)种植年限>10 a的土壤, 取自1993年建造的日光温室内。并以临近露地菜田土壤为对照(CK)。同一种植年限的日光温室和露地菜田各选3个(块)作为重复, 每个日光温室和每块露地菜田随机选取4个样点采样, 用四分法取混合样供土壤基本理化性质的分析。同时, 在0~20 cm土层中分别取原状土壤结构的土样2 kg左右, 供土壤团聚体分析用。

1.2 测定方法

1.2.1 土壤团聚体组成 把原状结构土壤沿裂

作者简介: 孙艳(1964—), 女, 陕西泾阳人, 博士, 主要从事蔬菜生理生态研究。E-mail: sunyanma64@sina.com.cn

收稿日期: 2009-05-19; 收到修改稿日期: 2009-12-18

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 The physical and chemical properties of tested soils

处理 Treatments	有机质含量 Organic matter content(g kg ⁻¹)	<0.01mm 物理性黏粒含量 <0.01mm physical clay content(g kg ⁻¹)	<0.001mm 黏粒含量 <0.001 mm clay content(g kg ⁻¹)	盐分含量 Salt content (g kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N 含量 NO ₃ ⁻ -N content (mg kg ⁻¹)	容重 Bulk density (g cm ⁻³)
CK	8.12	511.6	237.6	1.15	9.30	1.35
<5 a	12.48	501.2	220.3	2.38	30.39	1.40
5~10 a	13.55	461.5	200.2	2.39	29.38	1.55
>10 a	16.23	471.5	211.8	3.27	37.23	1.59

隙掰成小块并在室内自然风干。根据沙维诺夫法^[10]的干筛法测定不同直径团聚体的含量。根据约得法进行湿筛^[10],测定土壤水稳定团聚体的组成。

1.2.2 土壤团聚体原始稳定系数和崩解率分析

按照干筛后各级团聚体组成比例配成混合样,再用 5 : 1 水土质量比加水浸润,后在 190 r min⁻¹ 的振荡机上,分别震荡 5、10、15、30 和 60 min,然后再分级测定各级团聚体组成。

1.3 土壤团聚体的评价方法

1.3.1 用大于 0.25 mm 水稳性团聚体的数量作为评价指标 大于 0.25 mm 水稳性团聚体的数量在一定程度上反映了土壤结构性的变化。中国多采用这一指标评价土壤的结构性^[11]。

1.3.2 用平均重量直径(MWD)作为团聚体的综合评价指标 团聚体平均重量直径(MWD)的计算公式为: $MWD = \sum X_i W_i (i = 0, 1, 2, \dots, n)$ 。式中 MWD 为团聚体平均重量直径, X_i 为每一级别团聚体的平均直径(mm), W_i 为每一级别团聚体的重量(g)^[12]。

1.3.3 用团聚体的破坏率作为团聚体质量稳定性指标 团聚体的破坏率是指干筛法和湿筛法测得的大于 0.25 mm 团聚体含量的差值^[11]。

1.3.4 用团聚体的原始稳定系数和崩解速率评价团聚体的水稳性 对 1.2.2 中所测得的大于 0.25 mm 团聚体含量(y)和振荡时间(x)之间关系

的散点图进行数学模拟,选取拟合度较高的数学模型为 $y = ax^{-b}$,其中 a 为团聚体的原始稳定系数, b 为团聚体的崩解速率。

1.4 数据的处理及统计分析

先对团聚体组成的百分数进行反正旋转换,后用 t 检验法对各处理与对照之间进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 日光温室土壤团聚体的机械稳定性

土壤团聚体的机械稳定性(即力学稳定性)是指团聚体具有抵抗外力免被压碎或抵抗外部环境变化而保持原有形态的能力。常用干筛法所测得各粒级团聚体的含量反映团聚体的机械稳定性。从表 2 可知,露地土壤大于 10 mm 团聚体的含量高于温室土壤,且日光温室土壤大于 10 mm 大团聚体的含量随着种植时间的延长有所降低,特别是种植年限长于 5 a 后降幅显著($p \leq 0.05$),各种种植年限温室土壤比露地土壤分别降低 4.44%、5.33%、9.64%,平均降低 6.47%。这表明,日光温室蔬菜栽培使土壤中大于 10 mm 团聚体的机械稳定性降低。虽然大于 10 mm 团聚体对作物的出苗^[13]及土壤的保墒性有一定的负面作用,但其在改善土壤孔隙性、增强土壤通气性方面却是十分有益的。

表 2 土壤团聚体的组成(干筛法)

Table 2 Composition of aggregates (dry-sieving method)

处理 Treatments	团聚体组成 Aggregate composition (%)										均重直径 MWD (mm)
	> 10 mm	10~7 mm	7~5 mm	5~3 mm	3~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~10 mm	<0.25 mm	
CK	61.74	10.22	3.60	8.21	2.83	2.66	4.71	1.77	33.99	4.27	7.70
<5 a	59.00	10.77	3.09	8.35	3.34	3.03	5.99	1.36	35.92	5.08*	7.47
5~10 a	58.45*	10.53	3.95	9.42	3.86	3.36	4.80	1.40	37.09*	4.46	7.50
>10 a	55.79*	12.18	4.19	10.07	3.72	3.26	5.02	1.62	40.06**	4.15	7.29

注:*(或**)表示处理与 CK 之间的差异达 0.05(或 0.01)显著性水平 Note:*(或**)stands for significant difference at 0.05(或 0.01) level between treatment and CK

0.25 ~ 10 mm 团聚体是土壤中较为理想的团聚体。它的通气性、保肥性、保温性、机械弹性和水稳性均优,其含量越高,表示土壤的结构越良好。表 2 显示,露地土壤中 0.25 ~ 10 mm 团聚体含量最低,温室土壤中的含量随种植年限的延长而增加,当种植年限长于 5 a 后增幅显著($p \leq 0.05$),各种种植年限温室土壤比露地土壤分别增加 5.67%、9.12%、17.86%。仅以此为据不能客观评判土壤团聚体的综合特征,为了更加准确、全面、定量地反映土壤的结构性,以均重直径(MWD)作为衡量指标。MWD 越大,土壤的团聚性越强^[12]。从表 2 可以看出,露地土壤的 MWD 最大,为 7.70;温室土壤的 MWD 变异范围为 7.29 ~ 7.50,明显低于露地土壤,降低幅度为 2.99% ~ 5.33%,而种植年限 < 5 a 及 5 ~ 10 a 的温室土壤的 MWD 较露地土壤明显变小,但两者之间的变异程度很小,基本稳定,当种植年限 > 10 a 后,MWD 才有明显的降低。这表明,温室蔬菜栽培的初期阶段就会降低土壤的机械稳定性,随着温室蔬菜种植时间的进一步延长,土壤的机械稳定性基本保持稳定状态。当温室蔬菜种植时间长于 10 a 后,土壤的机械稳定性才进一步降低。

2.2 温室土壤团聚体的水稳性

团聚体水稳性是团聚体抵抗灌水浸泡和降雨击打的能力,是土壤团聚体的主要质量指标。用湿筛法所得的各粒级团聚体的含量能够反映团聚体

水稳性的大小。

2.2.1 温室土壤大于 0.25 mm 水稳性团聚体含量及团聚体的均重直径 从表 3 看出,无论是露地土壤还是温室土壤,其中水稳性团聚体的含量均非常低,均不足 10%,这说明供试土壤的结构性较差。虽然如此,温室土壤中大于 0.25 mm 水稳性团聚体含量还是高于露地土壤。3 种植年限温室土壤分别较露地土壤高 18.16%、45.12%、36.33%,其中种植年限长于 5 a 后增幅显著($p \leq 0.05$)。表明温室蔬菜栽培在一定程度上改善了土壤团聚体的质量,这可能与温室土壤中有有机质含量的增加有关。

从表 3 还可看出,经过湿筛后,供试土壤中较大团聚体绝大部分均崩解成小于 0.25 mm 的微团聚体,成为土壤结构体的绝对主要成分,且含量相当高,达 92% 以上,露地土壤含量最高,为 94.88%,分别较 3 种植年限温室土壤高 0.98%、2.43%、1.96%。

供试土壤中大于 0.25 mm 水稳性团聚体含量和小于 0.25 mm 微团聚体含量的分析表明,露地土壤水稳性团聚体质量水平低于温室土壤。这也可从供试土壤的平均重量直径(MWD)得到验证,露地土壤的 MWD 最小,为 0.28,温室土壤的 MWD 相对较高,增加幅度为 3.57% ~ 10.71%,且 MWD 随种植时间的延长而增大。

表 3 土壤团聚体的组成(湿筛法)

Table 3 Composition of aggregates (wet-sieving method)

处理 Treatments	团聚体组成 Aggregate composition (%)						均重直径 MWD (mm)	
	>5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	>0.25		<0.25
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm
CK	0.14	0.35	0.48	1.35	2.80	5.12	94.88	0.28
<5 a	0.14	0.39	0.38	1.56	3.59	6.05	93.95	0.29
5~10 a	0.13	0.57	0.49	2.09	4.16	7.43*	92.57*	0.30
>10 a	0.28	0.80	0.66	2.07	3.18	6.98*	93.02*	0.31

注: * 表示处理与 CK 之间的差异达 0.05 显著性水平 Note: * stands for significant difference at 0.05 level between treatment and CK

2.2.2 温室土壤团聚体的破坏率 团聚体破坏率与作物产量之间有显著的相关性,其值越大,土壤结构的稳定性越差,相反,土壤结构的稳定越强^[12]。从表 4 中得知,露地土壤的团聚体破坏率最大;温室土壤的团聚体破坏率相对较小,且随种植年限的延长有所降低;当种植年限长于 5 a 后,团聚

体的破坏率相对稳定。这表明在温室蔬菜栽培的初期阶段,团聚体的水稳性相对较差,抗破坏能力较小。随着温室种植时间的延长及土壤中有有机质含量的逐渐积累,温室土壤团聚体的抗破坏能力逐渐增强,团聚体的质量得到逐渐改善。这与温室土壤团聚体机械稳定性的变化趋势一致。

表 4 团聚体破坏率

Table 4 Aggregate destruction rate

处理 Treatments	>0.25 mm 团聚体含量 >0.25 mm aggregate content (%)		团聚体破坏率 Aggregate destruction rate (%)	MWD _干 - MWD _湿 MWD _{dry} - MWD _{wet} (mm)
	干筛法 Dry-sieving	湿筛法 Wet-sieving		
	CK	95.73		
<5 a	94.92	6.05	93.63	7.18
5~10 a	95.54	7.43	92.22	7.20
>10 a	95.85	6.98	92.72	6.98

2.2.3 温室土壤团聚体的原始稳定系数及崩解速率 用带水振荡法振荡不同时间后测定供试土壤中大于 0.25 mm 团聚体含量,并对团聚体含量和振荡时间进行数学模拟,以估算团聚体的原始稳定系数和崩解速率。原始稳定系数表示团聚体的初始稳定性,该系数越大,说明团聚体的初始稳定性越高;崩解速率表示团聚体浸水后并有外力作用条件下崩解的快慢程度,其值越高,表明团聚体的崩解越快,稳定性越差。图 1 是不同振荡时间内供试土壤中大于 0.25 mm 团聚体含量的变化趋势。对不同振荡时间(x)下供试土壤中大于 0.25 mm 团聚体含量(y)变化趋势进行了回归分析,二者之间的回归方程为: $y = ax^{-b}$, 其中 a 为团聚体的原始稳定系数, b 为团聚体的崩解速率。供试土壤的回归方程及参数见表 5。

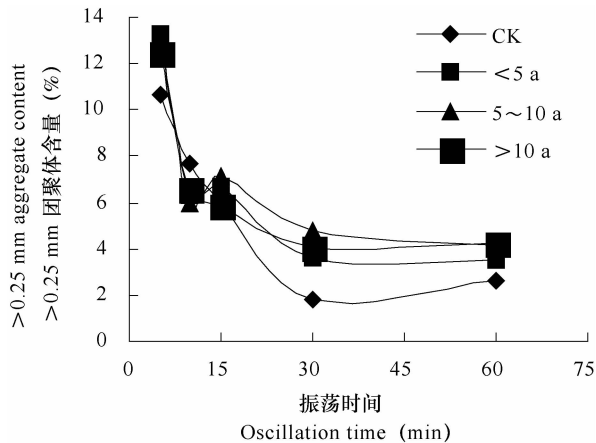


图 1 不同振荡时间条件下土壤中 >0.25 mm 团聚体含量

Fig. 1 Content of >0.25 mm aggregates in soil related to duration of oscillation

从表 5 中各回归方程的参数 a 看出,露地土壤团聚体的原始稳定系数最高,为 33.20,种植年限 < 5 a、5~10 a、>10 a 的温室土壤分别为 26.72、

21.35、20.37,温室土壤团聚体的原始稳定系数随种植年限的延长而降低,降幅分别为 19.52%、35%、69%、38.64%。而种植年限长于 5 a 后,原始稳定系数变化相对较小,表明团聚体有一定的抵抗分散作用的能力。

表 5 >0.25 mm 团聚体含量(y)与振荡时间(x)之间的回归方程

Table 5 Regression equation between content of >0.25 mm aggregates (y) and duration of oscillation (x)

处理 Treatments	回归方程 Regression equations	R
CK	$y = 33.20x^{-0.689}$	0.897 *
<5 a	$y = 26.72x^{-0.537}$	0.944 *
5~10 a	$y = 21.35x^{-0.424}$	0.908 *
>10 a	$y = 20.37x^{-0.429}$	0.915 *

注: * 表示相关系数达 0.05 显著性水平; n = 5 Note: * stands for significant difference at 0.05 level in relationship; n = 5

同时,从表 5 中各回归方程的参数 b 看出,露地土壤的崩解速率也为最大,为 0.689,这表明土壤在浸水并伴有外力作用时,团聚体的抗分散作用能力和稳定性差,迅速崩解。3 种植年限温室土壤的崩解速率均低于露地土壤,分别为 0.537、0.424、0.429,说明温室土壤团聚体的稳定性高于露地土壤。在 3 种植年限的温室土壤中,当种植年限少于 5 a 时,团聚体的崩解速率降幅较小,为 22.06%;当种植年限长于 5 a 后,团聚体崩解速率的降幅增大,为 38.46%~37.74%。表明在温室栽培的初期阶段,团聚体抗分散作用的能力较差,崩解速率的降幅较大,亦即团聚体的稳定性较差,很易崩解;当种植年限长于 5 a 后,团聚体对分散作用有一定的抵抗能力,崩解速率相对稳定。种植年限延长后,土壤团聚体抗崩解能力或稳定性的提高可能与有机质含量的增加有关。

3 讨论

团聚体是土壤结构的基本单位,是土壤的重要组成部分,在土壤中有重要作用。其保证和协调土壤中水肥气热等肥力因子之间的平衡状态、影响土壤酶的种类和活性、维持和稳定土壤的疏松及孔隙性。团聚体的稳定性对土壤肥力、土壤质量和土壤的可持续利用等有很大影响,但又受土壤有机质含量、土地利用方式、管理措施、土壤微生物、植被覆盖情况、气候条件等因素的影响^[14-17]。对种植蔬菜作物的同一种土壤而言,因栽培方式不同(露地栽培或温室栽培)而导致的土壤性质差异较大,主要表现在有机质含量、盐分含量等方面,它们与团聚体的稳定性关系密切。

有机质是土壤团聚体的重要组分,在土壤团聚体的形成中有重要作用^[18-19]。Greenland^[20]和Cheshire^[21]等认为土壤颗粒的团聚作用与土壤有机质之间的关系实际上是团聚作用与多醣之间的关系,这说明有机质分解后形成的多醣是团聚体形成的重要胶结剂。王旭东等^[22]的研究发现,有机质分解后新形成的胡敏酸对大团聚体的形成有重要作用。无论土壤中有机质分解后形成何种物质,而有机质含量与水稳性团聚体数量及稳定性具有正相关性已被很多的研究结果证实^[5,23]。

本试验中,供试土壤的有机质含量(x)与0.25~10 mm 团聚体含量(y)之间的变化趋势一致,二者之间呈显著($p \leq 0.05$)的正相关关系,回归方程为: $y = 0.726x + 27.62$,相关系数 $r = 0.964^*$ ($n = 4, df = 2, r_{0.05} = 0.950$)。供试土壤中有机质的平均含量(x)还与水稳性团聚体的MWD(y)之间呈显著($p \leq 0.05$)的正相关关系,回归方程为: $y = 0.004x + 0.248$,相关系数 $r = 0.972^*$, ($n = 4, df = 2, r_{0.05} = 0.950$)。

相关分析的结果证实,有机质含量的提高不仅可增加土壤中0.25~10 mm 团聚体含量,还可增大团聚体的水稳性。这与其他研究者的结论相同^[24-25]。本研究中,温室土壤中有机质含量之所以高于露地土壤,其原因就是温室蔬菜栽培中,为了满足蔬菜作物根系对土壤疏松程度的较高要求,大量施用牛粪、鸡粪等有机肥,加之高度集约化栽培使大量蔬菜烂叶、根系分泌物、根系残体遗留于土

壤中,使得温室土壤中的有机物质富集。有机质含量的增加不仅为土壤肥力的提高奠定了基础,其分解后形成的多醣和腐殖质也为团聚体的形成提供了黏结剂。因此,在温室栽培过程中注重有机肥的施用,不仅是生产绿色蔬菜的根本保证,更是保持良好土壤结构的物质基础。

日光温室蔬菜栽培由于高度集约化栽培的需要而施入大量的化学肥料;因无自然降水的淋溶而使累积的盐分很少随降水下渗;因温室内的气温高并且密闭,使得温室内土壤水分的蒸发作用较为强烈,并使盐分在土壤表层聚集。温室栽培的这些特点使土壤形成了次生盐渍化现象,该现象已成为温室土壤最普遍也是最典型的特征。温室土壤次生盐渍化现象是人为生态环境和人为水肥管理的产物,盐分中的阳离子主要是 K^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ^[26],其中 K^+ 、 NH_4^+ 可代换土壤胶体所吸附的多价阳离子而分散土粒,使团聚作用降低。

本试验中,耕层土壤中大于10 mm 团聚体含量(y)的变化趋势与土壤中盐分总量(x)的变化趋势相反,二者之间呈极显著($p \leq 0.01$)的负相关关系,回归方程为: $y = -2.778x + 65.12$,相关系数 $r = -0.990^{**}$ ($n = 4, df = 2, r_{0.05} = 0.950, r_{0.01} = 0.990$)。相关分析的结果表明,温室土壤的次生盐渍化可降低土壤中大于10 mm 团聚体的含量,亦即次生盐渍化现象使土壤变得松散,机械稳定性降低;换言之,土壤中大于10 mm 团聚体的含量越高,则土壤中盐分的含量越低,也就是说大团聚体对土壤的返盐现象有显著的抑制作用。李小刚^[27]对甘肃景电灌区土壤团聚体稳定性影响因子的研究也证实,土壤全盐含量与干筛团聚体各粒级含量之间均呈负相关关系,粒级直径越大,相关程度越高,与大于5 mm 和5~3 mm 之间的相关程度分别达极显著和显著水平。他认为土壤中易溶性盐分的增加是土壤团聚性能变差的重要原因之一,这与生产上的情况完全吻合。

一些研究者认为,设施土壤种植若干年后,土壤出现了次生盐渍化、板结等退化问题,土壤结构会遭到破坏。本试验通过对不同种植年限的温室土壤和露地土壤中团聚体数量及质量的对比研究表明,温室土壤团聚体的机械稳定性降低,而团聚体的水稳性则提高。期待更多的研究者对此进行研究和验证。

参 考 文 献

- [1] 朱祖祥. 土壤学. 北京: 农业出版社, 1983. Zhu Z X. Soil science (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1983
- [2] 刘广深, 许中坚, 徐冬梅. 酸沉降对土壤团聚体及土壤可蚀性的影响. 水土保持通报, 2001, 21(4): 70—74. Liu G S, Xu Z J, Xu D M. Effects of acid deposition on soil aggregate and soil erodibility (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(4): 70—74
- [3] 刘梦云, 常庆瑞, 安韶山, 等. 土地利用方式对土壤团聚体及微团聚体的影响. 中国农学通报, 2005, 21(11): 247—250. Liu M Y, Chang Q R, An S S, et al. Features of soil aggregate and tiny aggregate under different land use (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(11): 247—250
- [4] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 47—51. Liu M Y, Chang Q R, Qi Y B. Fractal features of soil aggregate and microaggregate under different land use (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(4): 47—51
- [5] 章明奎, 何振立, 陈国潮, 等. 利用方式对红壤水稳性团聚体形成的影响. 土壤学报, 1997, 34(4): 360—366. Zhang M K, He Z L, Chen G C, et al. Formation of water-stable aggregates in red soils as affected by land use (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(4): 360—366
- [6] 张旭辉, 李恋卿, 潘根兴. 不同轮作制度对淮北白浆土团聚体及其有机碳的积累与分布的影响. 生态学杂志, 2001, 20(2): 16—19. Zhang X H, Li L Q, Pan G X. Effect of different crop rotation systems on the aggregates and their soc accumulation in paludals in north huai region, China (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(2): 16—19
- [7] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, 等. 耕作对东北黑土团聚体粒级分布及其稳定性的短期影响. 土壤学报, 2009, 46(1): 154—158. Liang A Z, Zhang X P, Yang X M, et al. Short-term effects of tillage on soil aggregate size ditribution and stability in black soil in northeast China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(1): 154—158
- [8] 赵凤艳, 吴凤芝, 刘德, 等. 大棚菜地土壤理化特性的研究. 土壤肥料, 2000, (2): 11—13. Zhao F Y, Wu F Z, Liu D, et al. Study on the physical and chemical characteristics of greenhouse soil (In Chinese). Soil and Fertilizers, 2000, (2): 11—13
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999. Bao S D. Soil and agrochemical analysis (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 1999
- [10] 刘孝义. 土壤物理及土壤改良研究法. 上海: 上海科学技术出版社, 1982. Liu X Y. Soil physic and soil improvement research methods (In Chinese). Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1982
- [11] 姚贤良, 程云生. 土壤物理学. 北京: 农业出版社, 1986. Yao X L, Chen Y S. Soil physics (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986
- [12] 刘军, 王益权, 王益. 长期培肥过程中壤土物理性质演变规律. 土壤通报, 2004, 35(5): 542—543. Liu J, Wang Y Q, Wang Y. Evolution laws of physical properties in Lou soil with long-term fertilization (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(5): 542—543
- [13] 宋日, 刘利, 吴春胜, 等. 土壤团聚体大小对大豆出苗和幼苗生长的影响. 中国油料作物学报, 2009, 31(2): 223—227. Song R, Liu L, Wu C S, et al. Effects of soil aggregate size on emergence and seedling growth of soybean [*Glycinemax* (L.) Merr.] (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop Science, 2009, 31(2): 223—227
- [14] 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素. 土壤通报, 2005, 36(3): 415—420. Wang Q L, Wang S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(3): 415—420
- [15] Alekseeva T V, Sokolowska Z, Hajons M, et al. Water stability of aggregates in subtropical and tropical soil (Georgia and China) and its relationships with the mineralogy and chemical properties. Eurasian Science, 2009, 42(4): 415—425
- [16] Kodesova P, Rohoskova M, Zigova A. Comparison of aggregate stability with six soil profiles under conventional tillage using various laboratory tests. Biologia, 2009, 64(3): 550—554
- [17] Emdad M R, Raine S R, Smith R J, et al. Effect of water quality on soil structure and infiltration under furrow irrigation. Irrigation Science, 2004, 23(2): 55—60
- [18] Alagoz Z, Yilmaz E. Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. Soil and Tillage Research, 2009, 103(2): 419—429
- [19] Stevenson F J. Humus chemistry. New York: John Wiley and Sons, 1982: 374—402
- [20] Greenland D J. Mechanism of interaction between clays and defined organic compounds. Soil Fert, 1961, 28: 415—425
- [21] Cheshire M V. Nature and origin of carbohydrates in soil. London: Academic Press Inc, 1979
- [22] 王旭东, 张一平. 壤土不同粒径团聚体中胡敏酸性质结构研究. 干旱地区农业研究, 1997, 15(2): 69—72. Wang X D, Zhang Y P. The properties and structure of humic acids in different particle size aggregates of Lou Soil (In Chinese). Agricultural Reseach in the Arid Areas, 1997, 15(2): 69—72
- [23] 魏朝富, 高明, 谢德体, 等. 有机肥对紫色水稻土水稳性团聚体的影响. 土壤通报, 1995, 26(3): 114—116. Wei C F, Gao M, Xie D T, et al. Effects of organic fertilizers on water-stable aggregates in purple paddy soils (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1995, 26(3): 114—116
- [24] 李小刚, 崔志军, 王玲英, 等. 盐化和有机质对土壤结构稳定性及阿特伯格极限的影响. 土壤学报, 2002, 39(4): 550—559. Li X G, Cui Z J, Wang L Y, et al. Effects of salinization and organic matter on soil structural stability and atterberg limits (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(4): 550—559
- [25] 王春燕, 黄丽, 谭文峰, 等. 几种侵蚀红壤中有机质和团聚体的关系. 水土保持学报, 2007, 21(3): 52—56. Wang C Y, Huang L, Tan W F, et al. Relationship between organic matter and aggregates in several eroded ultisols (In Chinese).

- Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21 (3) : 52—56
- [26] 童有为,陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成及治理途径研究. 园艺学报,1991,30(2):159—162. Tong Y W, Chen D F. Study on the cause and control of secondary saline soils in greenhouses (In Chinese). Acta Horticulturae Sinica, 1991, 30 (2) : 159—162
- [27] 李小刚. 甘肃景电灌区土壤团聚体特征研究. 土壤学报, 2000,37(2):263—270. Li X G. The characteristics of soil aggregate in Jingtai electric-irrigating area of Gansu (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2000, 37(2) : 263—270

**EFFECTS OF SOLAR GREENHOUSE VEGETABLE CULTIVATION ON SOIL
AGGREGATES STABILITY
— A CASE STUDY OF SOLAR GREENHOUSE SOIL IN JINGYANG
COUNTY, SHAANXI PROVINCE**

Sun Yan^{1,2} Wang Yiquan² Liu Jun² Xia Fasheng² Wang Jingui² Li Jianbo²

(1 College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 College of Resources and Environment Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract Aggregates status of soil was an important soil physical properties, and the amount of soil aggregates is an important index for measuring and evaluating soil fertility. Aggregates of soils inside and outside the greenhouse were measured with the dry-sieving method, the wet-sieving method and water-oscillating method for comparison. Based on contents of aggregates of different fractions and mean weight diameter (MWD) determined with the dry-sieving method, analysis showed that mechanical stability of the aggregates of the fraction > 10 mm was higher in soils inside the greenhouse than outside the greenhouse. Based on contents of water stable aggregates > 0.25 mm, MWD of water-stable aggregates, breakage rate, initial stability coefficient and disintegrating rate of aggregates, analysis revealed that the soil inside the greenhouse was higher than the soil outside in water stability. Greenhouse cultivation longer than 5 years significantly decreased mechanical stability of soil aggregates, but affected reversely their water stability.

Key words Solar greenhouse; Vegetable cultivation; Aggregate; Mechanical stability; Water stability