

设施大棚农业对土壤肥力及环境质量的影响研究

余雪锋¹, 郭肖颖², 曹传莉¹, 董召荣³, 朱江^{1*} (1. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽合肥 230000; 2. 安徽省农业科学院农业工程研究所, 安徽合肥 230041; 3. 安徽农业大学农学院, 安徽合肥 230000)

摘要 [目的] 研究设施大棚农业对土壤肥力和土壤环境质量的影响。[方法] 通过对设施蔬菜大棚的土壤和露天蔬菜种植地的土壤分别进行采样分析, 测定其中的养分和重金属元素的含量, 根据所测结果利用指数法和污染指数法进行评价。[结果] 设施大棚土壤中的养分元素含量, 均高于露天农田, 指数和法评价其肥力达到了一级或者二级水平; 设施大棚土壤中的重金属元素 Cu、Cr、Cd、Pb、Zn 的含量均比露天种植地高, 污染指数法评价表明, 土壤均处于清洁水平。[结论] 设施大棚农业提高了土壤的肥力, 但是重金属在土壤中的积累作用明显。

关键词 温室大棚; 土壤理化性质; 重金属; 评价标准

中图分类号 S151.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)35-0090-04

Study on Effect of Greenhouse Agriculture on Soil Fertility and Environmental Quality

YU Xue-feng¹, GUO Xiao-ying², CAO Chuan-li¹, ZHU Jiang^{1*} et al (1. College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230000; 2. Institute of Agricultural Engineering, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230041)

Abstract [Objective] To study the effect of agricultural greenhouse on soil fertility and soil environmental quality. [Method] The contents of nutrients and heavy metal elements were determined by sampling and analysis of the soils of vegetable greenhouses and open soils in open field. The indexes were evaluated by exponential method and pollution index method according to the measured results. [Result] Nutrient content of agricultural greenhouse was higher than that of open field. Soil fertility reach to first level or second level by exponential method evaluating. Contents of Cu, Cr, Cd, Pb and Zn in the greenhouse were higher than those of in the open field, and the fertility of the greenhouse was higher than that of the open field. The content was higher than that of open field, and soil was at the clean level by pollution index method evaluating. [Conclusion] Greenhouse agriculture increased the soil fertility, but the accumulation of heavy metals in the soil was obvious.

Key words Greenhouse; Soil physical and chemical properties; Heavy metal; Evaluation standard

设施农业是一种不同于露天农业栽培, 由人为控制作物生长环境的作物种植方式。因为大棚种植具有良好的经济效益和社会效益^[1], 所以引起广大农业工作者的重视。与此相关的是设施农业的土壤性质和重金属污染也成为焦点问题。

温室大棚土壤性质因耕作方式和环境的改变, 其理化性质有别于露天种植, 多数研究者的研究表明, 大棚菜地土壤与露天农田土壤相比, 其各类养分指标均有所增加, 并且随着种植年限的增加, 这种现象更加明显^[2]。而大棚的重金属含量也会增加, 引起土壤的污染^[3-4]。因此, 有学者建议为有效降低环境风险, 需要适当地降低施肥量, 并且种植抗金属污染能力较强的蔬菜^[5]。而这个工作的实施需建立在摸清设施大棚中土壤的理化性质和重金属含量的基础上, 为此, 对淮南市谢家集某设施蔬菜大棚土壤的理化性质和重金属元素进行调查, 通过设施大棚与相邻露地菜田土壤的采样分析, 研究 2 种栽培方式下土壤的理化性质和重金属含量的特点, 并通过指数法和污染指数法对 2 种栽培措施下土壤的肥力和环境质量进行评价, 为当地设施大棚土壤的合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理 谢家集区处在淮南市的西部, 位于淮河与东淝河之间, 此地气候温和, 土壤肥沃, 地势平坦, 土

层深厚。农民以种植蔬菜为主, 所以大棚设施比较普遍, 研究区在此地区设定了不同种植蔬菜的 4 个大棚为采样点, 分别为西瓜、黄瓜、辣椒、草莓, 记为样点 S₁、S₂、S₃、S₄, 同时选用相近相同面积的露天种植的蔬菜地为对照(CK)。于 2015 年 8 月 20 日在选定的样点进行样品的采集: 在每个样点按测定要求采集 0~20 cm 的耕层土样 3 个, 带回实验室处理后, 装袋编号, 用于各指标项目的测定。

1.2 分析方法 土壤有机质采用重铬酸钾外加热法; 土壤碱解氮测定采用碱解扩散法; 土壤有效磷测定采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法; 土壤速效钾测定采用 1 mol/L NH₄AC 浸提-火焰光度法; 土壤全磷全钾测定采用碱熔融-钼锑抗比色法, 土壤全钾测定采用碱熔融-火焰光度法。

土壤重金属元素: HCl-HNO₃-HClO₄ 消解, ICP-AES 测定 Cu、Cr、Pb、Zn, ICP-MS 测定 Cd。所取土样经强氧化处理后用 ICP-AES 法测定^[6-7]。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤肥力评价方法——指数和法^[8-9]。指数和法应用土壤综合肥力指数 (IFI) 值的大小来表示土壤的综合肥力等级。该研究主要考虑影响评价农田土壤肥力的主要因素, 即有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾。评价结果分为 6 个等级, 并用分值表示 (表 1)。

首先确定权重, 土壤各项理化性质和单项土壤养分在土壤中所占比例不同, 采用各指标间的相关系数来表示各指标的权重^[10]。然后确定土壤肥力综合指数值 (IFI), 将参与综合评价的参评因子的权重值, 与其相对应的参评因子的分值指标相乘, 然后相加和, 所求得的总和即为土壤肥力综合指

基金项目 安徽省高校自然科学基金项目 (KJ2015A455)。

作者简介 余雪锋 (1994—), 女, 安徽宿州人, 硕士研究生, 从事植物营养研究。* 通讯作者, 副教授, 硕士生导师, 从事土壤农化分析、土壤环境、植物养分等方面的研究。

收稿日期 2017-09-30

数值 (IFI), 计算公式为:

表 1 土壤养分含量分级

Table 1 Grade of soil nutrient content

分值 Score	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	碱解氮 Alkaline nitrogen	全磷 Total phosphorus	速效磷 Available phosphorus	全钾 Total potassium	速效钾 Available potassium
100	>40.0	>2.00	>0.150	>2.00	>0.040	>30	>0.165
90	30.1~40.0	1.51~2.00	0.121~0.150	1.61~2.00	0.020~0.040	24.1~30.0	0.125~0.165
80	20.1~30.0	1.00~1.50	0.090~0.120	1.21~1.60	0.010~0.020	18.1~24.0	0.085~0.125
70	10.1~20.0	0.76~1.00	0.060~0.090	0.81~1.20	0.005~0.010	12.1~18.0	0.040~0.085
60	6.0~10.0	0.50~0.75	0.030~0.060	0.40~0.80	0.003~0.005	6.1~12.0	0.025~0.040
50	<6.0	<0.50	<0.030	<0.40	<0.003	<6.00	<0.250

注:按全国统一划分的 6 级制分级

Note: The grade was divide into six-level according to national standard

$$IFI = \sum (W_i \times I_i) \quad (1)$$

式中, W_i 为各单项评价指标的权重, I_i 为单项评价指标的分值。

土壤养分综合等级根据土壤肥力综合指数进行划分, 将合肥市周边的土壤养分综合指数划分为 5 个等级 (表 2), 依据土壤肥力综合指数对土壤肥力进行综合评价。

表 2 土壤养分综合等级的划分

Table 2 Classification of soil nutrition comprehensive grades

IFI	<50	50~<60	60~<70	70~<80	≥80
等级 Level	5	4	3	2	1
肥力水平 Fertility level	低	较低	中	较高	高

1.3.2 土壤环境质量评价方法^[9]。

(1) 单因子指数评价法。由实测值与相应标准值的比值, 根据结果进行分类, 可以大致反映研究区土壤污染状况。选用当地自然背景值和结合评价点的土壤 pH 的国家土壤环境质量标准 (GB15618—1995) 作为评价标准。

单因子指数法计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i \quad (2)$$

式中, P_i 为土壤中污染物 i 的环境质量指数, C_i 为污染物 i 的实测值 (mg/kg); S_i 为污染物的评价标准 (mg/kg); $P_i \leq 1$ 表示未污染; $P_i > 1$ 表示污染, P_i 值越大, 污染越严重。土壤环境质量背景值见表 3。

表 3 土壤质量环境标准值

Table 3 Environmental standard values of soil quality

等级 Grade	土壤 pH Soil pH	镉 Cd mg/kg	铜 (农田等) Cu (farmland) // mg/kg	铅 Pb mg/kg	铬 (旱地) Cr (Dryland) mg/kg	锌 Zn mg/kg
一级 One level	自然背景	≤0.20	≤35	≤35	≤90	≤100
二级 Two level	<6.5	≤0.30	≤50	≤250	≤150	≤200
	6.5~7.5	≤0.60	≤100	≤300	≤200	≤250
	>7.5	≤1.0	≤100	≤350	≤250	≤300
三级 Three level	>6.5		≤400	≤500	≤300	≤500

(2) 内梅罗综合污染指数法。为了更全面了解和评价区域的土壤环境质量, 进一步开展综合污染指数的评价。其中, 综合污染指数的计算方法为:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(\bar{P})^2 + P_{\text{max}}^2}{2}} \quad (3)$$

式中, $P_{\text{综}}$ 为土壤中的污染指数; P_{max} 为土壤各因子污染指数中的最大值; \bar{P} 为土壤各因子污染指数的平均值。

综合污染指数法综合反映各种污染物对土壤的影响, 更全面, 更具有代表性。土壤污染物的分级标准见表 4。

1.4 数据处理 采用 Microsoft Excel 和 SPSS Statistics 19.0 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质与重金属含量测定结果 对淮南市谢家集区的 4 个设施大棚土壤和露天种植土壤 5 个样点进行采样测定后, 得到各采样点的土壤理化性质和重金属测定值如表 5 和表 6。

由表 5 可以看出, 4 个设施大棚土壤的 pH 均比对照低, 造成这种情况的原因可能是过多地施用氮肥, 造成土壤中硝态氮含量增加, 使土壤酸化^[11]。淮南谢家集地区土壤偏酸性。pH 的下降应与土壤环境局部变化、施肥品种及施肥量有关。

表 4 土壤污染分级标准

Table 4 Soil pollution grading standards

序号 No.	污染等级 Pollution level	P	污染水平 Pollution level
1	安全	$P < 0.7$	清洁
2	警戒线	$0.7 < P < 1.0$	尚清洁
3	轻污染	$1.0 < P < 2.0$	土壤污染物超过背景值, 视为轻污染, 作物污染开始
4	中污染	$2.0 < P < 3.0$	土壤、作物均受到中度污染
5	重污染	$P \geq 3.0$	土壤、作物受污染已相当严重

注: 数据引自 NY/T 395—2000

Note: Data cited from NY/T 395—2000

表5 谢家集区大棚土壤理化性质

Table 5 Soil physical and chemical properties of greenhouse in Xiejiaji Distric

采样号 Sampling number	pH	有机质 Organic matter g/kg	全氮 Total nitrogen g/kg	碱解氮 Alkaline nitrogen mg/kg	全磷 Total phosphorus g/kg	有效磷 Available phosphorus mg/kg	全钾 Total potassium g/kg	速效钾 Available potassium mg/kg
S ₁	4.85 ± 0.035	24.921 ± 0.737	1.482 ± 0.124	144 ± 0.010	0.503 ± 0.010	48.0 ± 0.006	15.109 ± 0.064	115 ± 0.006
S ₂	4.24 ± 0.120	19.702 ± 1.327	1.256 ± 0.058	138 ± 0.009	0.475 ± 0.006	44.0 ± 0.006	16.593 ± 0.037	129 ± 0.007
S ₃	4.35 ± 0.058	28.422 ± 0.626	1.706 ± 0.088	169 ± 0.035	0.538 ± 0.006	53.0 ± 0.002	16.465 ± 0.124	219 ± 0.007
S ₄	4.35 ± 0.088	24.184 ± 0.428	1.416 ± 0.031	131 ± 0.008	0.607 ± 0.006	37.0 ± 0.001	15.384 ± 0.057	208 ± 0.004
CK	6.15 ± 0.120	16.187 ± 0.308	0.904 ± 0.009	96 ± 0.003	0.401 ± 0.010	12.0 ± 0.002	15.043 ± 0.115	112 ± 0.003

由表5可知,4个设施大棚的土壤有机质含量均比露天高,因为设施农业有机肥的投入会比露天自然农田高,而且生产蔬菜的过程中遗留下来的大量根茬和植物遗体,使土壤有机质增加。

大棚内土壤全氮和碱解氮的含量也比露天高,其中样点S₃的全氮含量比露天高89%,碱解氮含量比对照高76%,这可能是由于过多地施用氮肥和大棚长期种植蔬菜导致菜地土壤氮素(主要以硝态氮形式)严重累积^[11]。

在4个设施大棚中,土壤全磷含量为0.475~0.607 g/kg,均高于露天。由于蔬菜的生产方式及高输出,所以大棚蔬菜用地土壤磷含量明显高于露天的粮田土壤^[12-13]。有效磷含量为37.0~53.0 mg/kg,高出露天2倍多。这可能与磷肥的投入量和管理水平有关。

4个设施大棚的土壤全钾、速效钾元素含量均比对照高。因为钾元素是植物必需大量营养元素,可以改善植物品

质、提升植物抗性以及增加植物中维生素和糖分含量,所以钾肥的大量施用致使大棚蔬菜土壤的施钾量增加^[14-15]。但是因此也产生了钾肥的滥用滥施,造成土壤中钾含量的增加。

由表6可以看出,重金属含量除S₂和S₃采样点的Cr以外,与露天对照相比均有所增加,说明设施大棚农业土壤中的5种重金属含量均呈现不同程度的累积现象。通过对调查时的施肥情况进行统计,设施大棚种植模式下的化肥、有机肥施用量远远高于露天大田,因此长期大量施用肥料是大棚土壤重金属元素含量偏高的原因之一。其中,Cd增加的幅度最大,相关研究也表明Cd是容易积累不容易移动的金属^[16]。Cr在该设施大棚中没有像其他重金属一样增加,反而在采样点S₂和S₃含量有所下降,这也许和取样点或者是大棚年龄与累积情况有关。

表6 淮南谢家集土壤重金属测定值

Table 6 Determination of heavy metals in soil of Xiejia Formation in Huainan City

采样号 Sampling number	Cd μg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
S ₁	89 ± 1.051	90.1 ± 0.636	27.2 ± 0.557	30.8 ± 0.226	66.4 ± 0.468
S ₂	95 ± 0.404	71.0 ± 0.839	24.8 ± 0.351	29.4 ± 0.331	65.1 ± 0.322
S ₃	96 ± 0.587	59.4 ± 0.365	24.9 ± 0.434	28.7 ± 0.098	57.1 ± 0.306
S ₄	96 ± 0.102	93.0 ± 0.846	28.6 ± 0.129	30.4 ± 0.283	56.3 ± 0.116
CK	49 ± 0.577	83.1 ± 0.297	23.2 ± 0.447	25.8 ± 0.318	50.4 ± 0.491

2.2 利用指数和法评价设施大棚农业对土壤肥力的影响 根据5个样点所测土壤养分含量,采用各指标间的单相关系数(表7)来表示各指标的相关系数平均数和权重系数

(表8)。利用指数和法得出5个样点土壤肥力综合指数值(IFI)和土壤肥力水平等级(表9)。

表7 各肥力因子之间的单相关关系

Table 7 Correlation coefficients between the soil fertility indexes

项目 Project	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	碱解氮 Alkaline nitrogen	全磷 Total phosphorus	有效磷 Available phosphorus	全钾 Total potassium	速效钾 Available potassium
有机质 Organic matter	1.000						
全氮 Total nitrogen	0.982	1.000					
碱解氮 Alkaline nitrogen	0.743	0.855	1.000				
全磷 Total phosphorus	0.425	0.288	-0.168	1.000			
有效磷 Available phosphorus	0.555	0.682	0.915	-0.502	1.000		
全钾 Total potassium	-0.160	0.008	0.450	0.405	0.368	1.000	
速效钾 Available potassium	0.614	0.589	0.674	0.775	-0.029	0.192	1.000

表 8 各肥力指标的相关系数均值和权重系数

Table 8 Average correlation coefficients and weight coefficients of soil fertility indexes

肥力指标 Fertility index	相关系数均值 Average correlation coefficient	权重系数 Weight coefficient
有机质 Organic matter	0.579	0.172
全氮 Total nitrogen	0.567	0.169
碱解氮 Alkaline nitrogen	0.584	0.174
全磷 Total phosphorus	0.427	0.127
有效磷 Available phosphorus	0.509	0.152
全钾 Total potassium	0.264	0.079
速效钾 Available potassium	0.429	0.128

表 9 指数和法分析土壤肥力结果

Table 9 Soil nutrition integrated fertility index

样点 Sample point	IFI	等级 Level
S ₁	81.5 ± 0.750	1
S ₂	79.8 ± 0.542	2
S ₃	87.5 ± 0.469	1
S ₄	82.5 ± 0.288	1
CK	73.3 ± 0.718	2

土壤肥力指数和法评价结果显示,4个设施大棚农业的

表 10 研究区土壤环境质量评价

Table 10 Evaluation of soil environmental quality in the study area

采样点 Sampling point	单因子指数 Single factor index					综合指数 Composite index
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
S ₁	0.297 ± 0.000	0.601 ± 0.009	0.544 ± 0.005	0.123 ± 0.008	0.332 ± 0.006	0.502 ± 0.008
S ₂	0.317 ± 0.001	0.473 ± 0.007	0.496 ± 0.004	0.118 ± 0.005	0.326 ± 0.004	0.359 ± 0.007
S ₃	0.320 ± 0.002	0.396 ± 0.005	0.498 ± 0.007	0.115 ± 0.009	0.286 ± 0.003	0.420 ± 0.003
S ₄	0.320 ± 0.005	0.620 ± 0.008	0.510 ± 0.002	0.114 ± 0.010	0.282 ± 0.001	0.510 ± 0.002
CK	0.163 ± 0.006	0.554 ± 0.008	0.464 ± 0.010	0.103 ± 0.001	0.252 ± 0.010	0.448 ± 0.006

从内梅罗综合污染指数评价结果来看,4个设施大棚农业和露天的综合污染指数为0.359~0.510,均小于污染程度安全限定值0.700,表明淮南谢家集区设施大棚土壤均处于清洁水平,尚未受到重金属污染,但是S₁和S₄的综合污染指数比露天高,有可能跟种植蔬菜品种或者是区域有关,但也说明设施大棚这种种植方式会加剧重金属的积累。

3 结论

(1) 淮南谢家集区4个设施大棚农业土壤同一种养分元素测定的含量差异较小,而和露天农田土壤相比,其各养分指标均有所增加;利用土壤肥力指数和法可以看出设施大棚的土壤肥力水平因为长期种植、施肥和有效管理导致土壤肥力水平较露天高,说明设施大棚农业提高了土壤肥力水平。

(2) 单因子污染指数法评价表明,淮南谢家集设施大棚农业土壤的5种重金属元素的含量比露天种植的蔬菜地的高,但均未造成污染;内梅罗综合污染指数法评价表明,5种土壤中重金属含量在清洁的范围内,说明设施大棚农业会对土壤的环境质量产生影响。

参考文献

[1] 李文庆,骆洪义,刘加芬. 大棚生态系统物流能流分析及效益评价[J]. 生态农业研究,1996,4(3):53-55.
[2] 张亚林,李新平,李文斌,等. 陕北子长县设施农业土壤养分动态变化

土壤肥力为一级或者二级,对照的土壤肥力综合水平为二级,说明研究区域内4个设施大棚农业的土壤肥力水平的差异并不明显,但是略高于对照,是因为4个样点为设施大棚农业,分别种植了西瓜、黄瓜、辣椒和草莓,进行了统一的施肥等其他治理,所以土壤肥力水平较高,只有S₂的土壤肥力水平偏低,经调查是因为S₂的种植时间较其他样点时间稍短。

2.3 利用单因子和内梅罗综合污染指数法评价设施大棚农业的环境质量 以我国的土壤环境质量标准(GB 15168—1995)二级标准限值为标准,得到淮南市谢家集区的土壤环境质量评价如表10。从表10可以看出,4个设施大棚和露天土壤中的Cd、Cr、Cu、Pb、Zn单因子指数均小于1,都未超标,由于国家制定的二级标准是为保障农业生产、维护人体健康的土壤限制值,表明该采样点代表的淮南市谢家集周边设施土壤中含量符合土壤环境质量二级标准,还属于保障农业发展和人体健康的限定范围内。但是4个设施大棚农业的单因子指数均比露天高,说明设施大棚农业重金属在土壤中的累积作用明显。

规律[J]. 西北农业学报,2012,21(9):201-206.
[3] 蒋光月,郭熙盛,朱宏斌,等. 合肥地区大棚土壤7种重金属相关环境质量评价[J]. 土壤通报,2008,39(5):1230-1232.
[4] 贺小琴,张永清. 离石区蔬菜大棚土壤重金属污染现状评价[J]. 北方园艺,2014(4):155-159.
[5] 刘苹,杨力,于淑芳,等. 寿光市蔬菜大棚土壤重金属含量的环境质量评价[J]. 环境科学研究,2008,21(5):66-71.
[6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
[7] 中国环境监测总站,南京市环境监测中心站. 土壤环境监测技术规范:HJ/T 166—2004[S]. 北京:中国环境出版社,2004.
[8] 孙波,赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法[J]. 地理科学进展,1999,18(2):118-128.
[9] JAENICKE E C, LENGNIK L L. A soil-quality index and its relationship to efficiency and productivity growth measures: Two decompositions[J]. American J Agr Ecol, 1999, 81(4): 881-893.
[10] 王军艳,张凤荣,王茹,等. 应用指数和法对潮土农田土壤肥力变化的评价研究[J]. 农村生态环境,2001,17(3):13-16,20.
[11] 李粉茹,于群英,邹长明. 设施菜地土壤pH值、酶活性和氮磷养分含量的变化[J]. 农业工程学报,2009,25(1):217-222.
[12] 马文奇,毛达如,张福锁. 山东省蔬菜大棚养分积累状况[J]. 磷肥与复肥,2000,15(3):65-67.
[13] 余海英,李廷轩,张锡渊. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征[J]. 中国农业科学,2010,43(3):514-522.
[14] 赵凤艳,吴凤芝,刘德,等. 大棚菜地土壤理化特性的研究[J]. 土壤肥料,2000(2):11-13.
[15] 李见云,侯彦林,化全县,等. 大棚设施土壤养分和重金属状况研究[J]. 土壤,2005,37(6):626-629.
[16] 段永蕙,史静,张乃明,等. 设施土壤重金属污染物累积的影响因素分析[J]. 土壤,2008,40(3):469-473.