

有机种植对温室土壤肥力质量的影响^①

李 杰, 祝 凌, 仝利红, 江咏珊, 吕贻忠*

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要: 利用中国农业大学曲周实验站温室有机种植长期定位试验, 研究了不同种植模式下 3 种土壤物理指标、9 种土壤化学指标和 4 种土壤生物指标, 并运用主成分分析方法, 对不同种植模式下土壤肥力质量进行综合评分。结果表明: 相比于无公害和常规种植, 有机种植有利于降低温室土壤容重, 提高温室土壤含水量, 温室土壤水稳性大团聚体高达 58.02%, 改善了温室土壤物理环境条件; 有机种植提高了温室土壤有机质及氮、磷、钾养分含量, 对温室土壤 pH 和 EC 值影响不大, 但增加了温室土壤阳离子交换量, 有利于提高温室土壤的保水保肥能力; 相比于无公害和常规种植, 有机种植土壤微生物碳含量分别提高了 32.84%、109.30%, 同时增强了温室土壤脲酶、磷酸酶及过氧化氢酶活性, 有利于温室土壤微生物多样性提高; 通过对 16 个土壤肥力质量指标进行主成分分析, 3 个主成分累计贡献率达 91.052%, 主成分综合评分能更敏感反映土壤质量变化, 本试验中有机种植、无公害种植和常规种植的主成分综合评分分别为 1.514、0.099 和 -1.613, 表明有机种植显著提高了温室土壤的肥力质量。

关键词: 有机种植; 土壤肥力质量; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: S158.2 **文献标识码:** A

随着有机农业的兴起, 有机种植的土壤面积越来越大, 种植过程中大量有机肥代替化肥, 必然对土壤肥力质量产生深刻影响。土壤肥力是建立可持续农业的重要物质基础^[1], 国内外学者开展了大量有机和常规种植下的土壤肥力特性差异的比较研究。在物理性质方面, Pimentel 等^[2]研究结果表明相比于常规农业系统, 有机农业系统土壤容重明显减小, 水稳性大团聚体含量增加, 稳定性增加; 王开勇等^[3]研究发现常规农作大豆田转换为有机农作大豆田后, 较小团聚体显著增加, 土壤团聚体稳定性增大。大量研究都表明有机种植有利于改善土壤结构, 增加土壤的疏松性, 改善土壤的通气性和透水性, 增加土壤中团聚体的数量和稳定性。在化学性质方面, Ryan 等^[4]在澳大利亚有机蔬菜定位试验结果表明: 有机农业提高了土壤有机碳和阳离子交换量, 土壤中含有较高的全氮、全磷等养分含量; 和文龙等^[5]对不同栽培方式下土壤肥力的研究结果表明, 与常规栽培相比, 有机栽培显著提高了土壤有机质、有效磷、速效钾含量等。由此可见, 相比常规种植, 有机种植更有利于保持和提高土壤养分, 改善土壤的化学性质。在生物性质方面,

Marinari 等^[6]比较有机和常规两个相邻的农场, 发现有机管理显著改善了土壤营养和微生物条件, 有效提高了土壤微生物生物量和酶活性; 汪润池等^[7]对比分析有机与常规种植蔬菜地土壤微生物群落特征的差异, 结果表明: 有机蔬菜地土壤微生物生物量, 酸性磷酸酶、脲酶、过氧化氢酶活性及可培养真菌、放线菌菌落数显著高于常规蔬菜地。不少研究都表明相对于常规种植, 有机种植中大量施用有机肥有利于提高土壤生物多样性, 改善土壤生态环境。然而, 大多数研究都仅仅选取了部分指标, 将有机种植条件下多种土壤理化指标进行土壤肥力评估的研究还很少。国内目前虽然也开展了一些有机和常规种植的比较研究, 但结论多基于短期试验结果, 长期定位试验还比较少。另外, 他们对土壤质量的评估大多还是定性的比较研究, 鲜有对其进行定量化的综合评价^[8-9]。

因此, 本研究利用中国农业大学河北曲周实验站有机种植长期定位试验, 同时以无公害和常规种植作为对比, 分析不同种植模式下的土壤肥力状况, 并对不同种植模式下的土壤肥力质量特性进行量化评价, 从而为推动我国有机农业发展提供一定的理论依

基金项目: 十三五重点研发项目(2018YFD0500202)和国家自然科学基金项目(41571317)资助。

* 通讯作者(lyz@cau.edu.cn)

作者简介: 李杰(1994—), 男, 江苏常州人, 硕士研究生, 主要从事有机种植研究。E-mail: 822786259@qq.com

据和技术支持^[10]。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验为有机蔬菜温室长期定位试验，于 2002 年 3 月在中国农业大学曲周实验站(36°52'N，115°01'E)进行，实验站位于河北省邯郸市曲周县北

部，属温带半湿润季风气候区，光、热、水等气候资源比较丰富，但受季风的强烈影响，冬春寒冷干燥，夏季温暖多雨，属一年两熟种植区。年均降水量 604 mm。原始土壤为盐化潮褐土，试验前为多年菜田。试验采用的日光温室为拱圆式，长 52 m、宽 7 m，占地面积约 0.04 hm²。试验前土壤基础养分状况见表 1。

表 1 试验前土壤基础养分状况(2002 年)
Table1 Informal of soil nutrients before experiment

种植模式	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	速效钾(mg/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)
常规(CON)	18.93	1.36	2.22	212.83	128.38	163.05
无公害(LOW)	15.25	1.19	1.24	364.28	95.35	81.68
有机(ORG)	16.63	1.17	1.38	257.30	101.28	139.13

1.2 试验设计

长期定位试验已连续进行了 15 a，主要种植作物为春季番茄(3—7 月)和秋冬季黄瓜(9—1 月)。试验设 3 个处理(表 2)：有机种植(ORG)：只施用有机肥(EM 堆肥和干鸡粪)，不使用化肥，有机肥施用量达到 25 t/hm²；病虫害防治以人工防治和物理防治为主，如人工捉虫、黄板诱杀、使用防虫网，加强田间观察，及时清理受害植株、叶片等，硫磺熏蒸灭菌。无公害种植(LOW)：以有机肥(EM 堆肥和干鸡粪)为主，为 15 t/hm²，少量施用化肥，化

肥用量为 400 kg/hm²；病虫害防治以生物防治为主，病虫害严重时使用低毒低残留的化学农药进行防治，主要施用农药有防治潜叶蝇的斑潜净，治蚜虫、白粉虱的灭蚜威、蚜虱一遍净，治菜青虫的阿虫螨丁，治病害的生物制剂、硫磺熏蒸、甲霜灵、农用链霉素、雷多米尔、病毒立刻等。常规种植(CON)：采用常规管理方式，有机肥施用量为 9 t/hm²，化肥施用量为 2 t/hm²；病虫害防治以化学防治为主，治虫用氯氰菊酯、敌敌畏、甲胺磷，病害防治用瑞毒霉、甲霜铜等。

表 2 不同种植模式下养分投入、农药施用及灌溉情况
Table 2 Information of nutrient input, pesticide application and irrigation under different treatments

种植模式	化肥			有机肥			总计			喷药次数 (times/a)	喷药量 (kg/(hm ² ·a))	灌溉次数 (times/a)	灌溉量 (mm/a)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
	(kg/hm ²)												
CON	587.5	150	570	236.0	117.0	423.2	823.5	267.0	993.2	20	29	8	390
LOW	293.8	75	285	516.1	245.4	798.4	809.9	320.4	1 083.4	10	9	8	390
ORG	—	—	—	1 032.2	490.8	1 596.7	1 032.2	490.8	1 596.7	0	0	8	390

1.3 样品采集

每个种植模式地块各设 3 个小区，每个小区内采取 S 形布点取样，每 5 个点为一个混合样，采样时先清除地表杂物，均匀采集 0~20 cm 的土壤，多点混合后的样品按四分法取舍，保留 1 kg 左右，用塑封袋装好带回室内。分取一部分新鲜土壤样品，过 2 mm 筛后，保存在 4℃冰箱中，用于测定土壤中微生物生物量碳。其余土壤样品经自然风干，去除石砾和作物根系残渣，按四分法分取一部分扰动土样用于土壤中水稳性团聚体测定。另一部分按要求磨细过 2 mm 尼龙筛后，用于测定土壤理化指标和土壤酶活性。

1.4 测定项目与方法

土壤物理性质：土壤容重采用环刀法测定；土壤含水量采用烘干法测定；土壤水稳性团聚体采用湿筛法测定。

土壤化学性质：有机质采用重铬酸钾容量法(外加热法)测定；全氮采用半微量开氏法测定；全磷采用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮-钼锑抗比色法测定；碱解氮采用 1 mol/L NaOH 碱解-扩散法测定；有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗吸光度法测定；速效钾采用 NH₄Ac 浸提-火焰光度法测定；pH 采用 pH 计测定(水土比 2.5:1)；电导率(EC)采用电导仪测定(水土比 5:

1); 阳离子交换量(CEC)采用乙酸铵交换法测定。

土壤生物性质:微生物生物量碳采用氯仿熏蒸蒸浸提法测定;脲酶活性采用靛酚蓝比色法测定;磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法测定;过氧化氢酶采用 0.1 mol/L KMnO₄ 滴定法测定。

1.5 数据处理

原始数据先经过 Microsoft Excel 程序进行整理,运用 SPSS 单因素方差分析对不同种植模式下土壤肥力指标进行显著性检验,least significance difference (LSD)法进行均值比较,因子分析进行主成分分析。

利用各级团聚体数据,根据公式(1)、(2)计算平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)。通过公式 3 拟合,求出分形维数 *D*。

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i w_i \tag{1}$$

$$GWD = \exp \sum_{i=1}^n w_i \ln x_i \tag{2}$$

$$\lg \left[\frac{M(r < \bar{x}_i)}{M_T} \right] = (3 - D) \lg \left(\frac{\bar{x}_i}{x_{\max}} \right) \tag{3}$$

式中: *w_i* 为 *i* 粒级团聚体含量(g/kg), $\bar{x}_i$ 为某级团聚体平均直径(mm), *M_T* 为团聚体总重量(g), *x_{max}* 为团聚体的最大粒径(mm)。

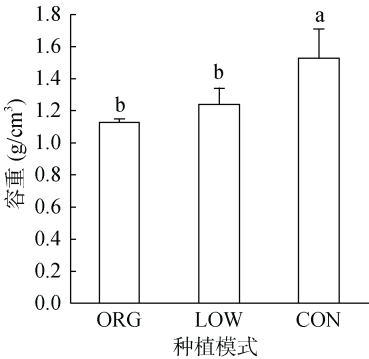
2 结果与分析

2.1 有机种植对温室土壤物理性质的影响

土壤容重不仅用于鉴定土壤颗粒间排列的紧实度,而且是计算土壤孔隙度和空气含量的必要数据^[11]。如图 1、2 所示,有机种植下土壤容重相比无公害和常规种植分别降低 8.87%、26.14%,而土壤含水量明显高于无公害和常规种植,说明有机种植改善了温室土壤的孔隙结构,有利于提高温室土壤的透气性,提高植物根系穿透能力和温室土壤微生物的活性,有利于养分的吸收和运输,进而影响作物的生长发育。

土壤结构是土壤肥力的基础,团聚体大小粒级不同,在养分的保持和供应中的作用不同^[12],水稳性团聚体与土壤肥力稳定性有密切关系^[13]。由表 3 可以看出,不同种植模式对温室土壤的团聚体特性产生

明显影响。与常规种植相比,有机种植在一定程度上提高了温室土壤中水稳性大团聚体的含量,温室土壤中水稳性大团聚体含量以有机种植为最高,无公害种植次之,常规种植最低,且差异显著。有机种植下土壤水稳性大团聚体含量高达 58.02%,相比常规种植提高了 225.96%。这说明不同种植模式导致温室土壤团聚体的含量发生变化,有机种植更有利于温室土壤团聚体的形成。



(图柱上方小写字母不同表示处理间差异达到 *P*<0.05 显著水平, *n* = 3, 下同)

图 1 不同种植模式下土壤容重

Fig. 1 Soil bulk densities under different treatments

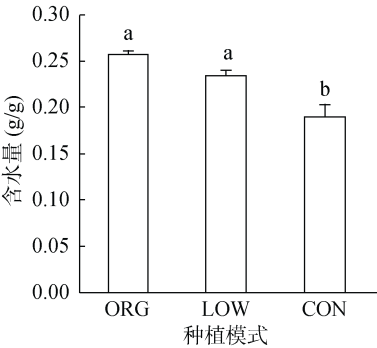


图 2 不同种植模式下土壤含水量

Fig. 2 Soil water contents under different treatments

团聚体的稳定性一般用 MWD 和 GMD 来表示,大团聚体的百分比越高,MWD 的值越大,团聚体越稳定,GMD 值越大^[14]。由表 4 可看出,不同种植模式下土壤团聚体的 MWD 和 GMD 均是 ORG>LOW>CON,有机种植土壤团聚体的 MWD、GMD 值在不

表 3 不同种植模式下土壤水稳性团聚体含量(g/kg)

Table 3 Contents of water stable aggregates under different treatments

种植模式	>2 mm	2 ~ 0.25 mm	<0.25 mm	>0.25 mm
CON	26.3 ± 5.2 a	151.6 ± 12.4 a	822.0 ± 12.8 a	178.0 ± 12.8 c
LOW	68.8 ± 21.2 a	278.9 ± 9.5 a	652.3 ± 30.7 b	347.7 ± 30.7 b
ORG	245.6 ± 119.6 a	334.5 ± 106.4 a	419.8 ± 13.8 c	580.2 ± 13.8 a

注: 同列数据小写字母不同表示不同种植模式处理间差异达到 *P*<0.05 显著水平, *n* = 3, 下同。

同程度上高于无公害和常规种植，MWD 分别提高 59.02%、125.58% ,GMD 分别提高 56.82%、109.09% ,说明有机种植下土壤的团聚状况好于无公害和常规种植。

分形维数 D 是更敏感且更准确地评价土壤团聚体特征的参数,土壤团聚结构分形维数与土壤性质之间存在显著定量关系^[15]。根据表 4,有机种植下 D 值分别低于无公害和常规种植 7.53%、11.34%,说明与常规种植相比,有机种植下土壤的团聚状况更好,而且土壤团聚体水稳性更高。

表 4 不同种植模式下土壤水稳性团聚体平均重量直径、几何平均直径和分形维数

Table 4 Values of MWD, GMD and D of water-stable aggregates under different treatments

种植模式	MWD(mm)	GMD(mm)	D
CON	0.43 ± 0.01 b	0.33 ± 0.01 b	2.91 ± 0.01 a
LOW	0.61 ± 0.05 b	0.44 ± 0.03 b	2.79 ± 0.02 b
ORG	0.97 ± 0.12 a	0.69 ± 0.06 a	2.58 ± 0.02 c

2.2 有机种植对温室土壤化学性质的影响

2.2.1 有机种植下土壤养分的变异现象 由表 5 可知,不同种植模式下有机质含量有明显差异,其有机质含量表现为 ORG>LOW>CON。与试验前土壤基础养分状况相比,各种种植模式有机质含量分别提升

66.39%、54.25%、22.32%,有机种植下的土壤有机质含量显著提高,这说明有机种植对有机质含量提升最多最快。温室土壤中全氮含量与有机质含量呈明显的相关关系,有机种植土壤全氮含量显著高于无公害和常规种植,分别提高 47.20%、107.39%,这是因为有机种植长期施用有机肥,增加了土壤中易矿化的有机氮含量,且有利于晶格中固定铵的释放。有机种植土壤中全磷含量显著高于无公害和常规种植,均提高 22.97%,这表明有机种植大量施用有机肥增加了温室土壤磷素供应水平。

其次,从表 5 中可明显看出,碱解氮含量与全氮含量变化趋势一致,有机种植土壤碱解氮含量分别显著高于无公害和常规种植 111.98%、135.14%,说明温室土壤中整体氮素供应能力较强。有机种植土壤有效磷含量分别显著高于无公害和常规种植 58.85%、70.86%,说明有机种植土壤中供磷能力远大于常规种植。这主要是因为有机肥中含有大量易于分解的有机磷,且有机种植长期施用有机肥提高了温室土壤腐植酸含量和微生物多样性,促进了无机磷的溶解。不同种植模式对温室土壤速效钾含量的影响差异显著,呈现 LOW>ORG>CON 的趋势,这与试验前土壤基础速效钾含量就是无公害种植最高有关。综上所述,施用有机肥能够提高温室土壤肥力,增强温室土壤的保肥供肥能力。

表 5 不同种植模式下土壤氮、磷、钾养分含量
Table 5 Contents of soil nitrogen, phosphorus and potassium under different treatments

种植模式	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
CON	24.84 ± 0.52 c	2.015 ± 0.061 c	1.48 ± 0.05 b	159.06 ± 7.39 b	383.41 ± 54.75 b	917.12 ± 22.28 c
LOW	34.68 ± 0.65 b	2.839 ± 0.092 b	1.48 ± 0.08 b	176.44 ± 10.29 b	412.38 ± 44.28 b	1 231.52 ± 21.80 a
ORG	53.22 ± 1.43 a	4.179 ± 0.130 a	1.82 ± 0.06 a	374.01 ± 34.24 a	655.08 ± 42.12 a	1 056.75 ± 18.34 b

2.2.2 有机种植对土壤基础化学性质的影响 大量施用有机肥有利于维持土壤化学性质稳定。由图 3 可知,3 种植模式下土壤 pH 都在 7 左右,为中性。

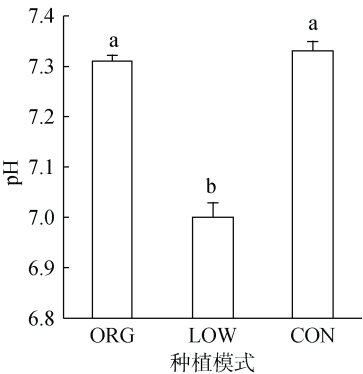


图 3 不同种植模式下土壤 pH
Fig. 3 Soil pH under different treatments

相较而言,有机种植下土壤 pH 略低于常规种植,但是差异并不显著,而无公害种植下土壤 pH 虽然显著低于有机种植和常规种植,但仅相差约 0.3。

土壤电导率是测定土壤水溶性盐的指标,而土壤水溶性盐是土壤的重要属性之一,是判定土壤中盐类离子是否限制作物生长的因素^[16]。如图 4 所示,有机种植与常规种植的土壤电导率相差不大,而无公害种植的电导率虽显著高于有机和常规种植,但是仍然在适宜范围内。

综上所述,尽管经过了长达 15 a 的长期定位试验,3 种植模式对温室土壤 pH 和 EC 值仍然没有较大的影响,两个指标仍然处于正常水平。

土壤阳离子交换量是评价土壤缓冲能力、土壤保肥能力、改良土壤和合理施肥的重要依据。由图 5 可知,3 种植模式下的土壤 CEC 具有显著差异,

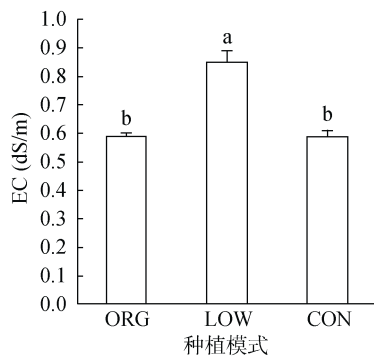


图 4 不同种植模式下土壤 EC
Fig. 4 Soil EC under different treatments

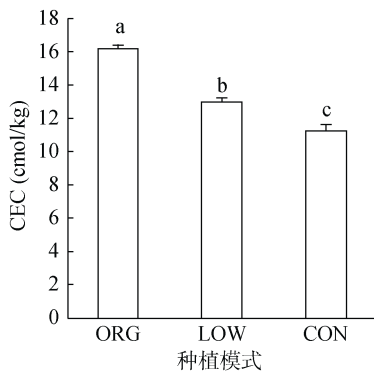


图 5 不同种植模式下土壤 CEC
Fig. 5 Soil CEC under different treatments

表现为 ORG>LOW>CON。由此可以说明,有机种植大量施用有机肥有利于增加温室土壤胶体表面的阳离子总量,其保肥性能要显著强于无公害和常规种植。

2.3 有机种植对温室土壤生物性质的影响

土壤微生物生物量碳与土壤中 C、N、P、S 等养分的循环密切相关,其变化可直接或间接地反映土壤耕作制度和土壤肥力的变化。如图 6 所示,不同种植模式土壤微生物生物量碳含量为:ORG>LOW>CON,且差异达显著水平。与无公害和常规种植相比,有机种植土壤微生物生物量碳含量分别提高 32.84%、109.30%。由此说明有机种植长期大量施用

有机肥,不但增加了温室土壤养分,同时也为微生物提供了充足的碳源,促进了温室土壤微生物的生长与繁殖。

土壤酶活性反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向^[17],其活性是土壤肥力评价的重要指标之一^[18],同时也是土壤自净能力评价的一个重要指标。土壤脲酶对提高尿素氮肥利用率有重要意义^[19],磷酸酶活性对于土壤中磷的转化过程、方向及强度具有重要意义,而过氧化氢酶活性与土壤有机质含量、微生物数量有关,因此本研究选择测定了土壤脲酶、磷酸酶及过氧化氢酶活性。

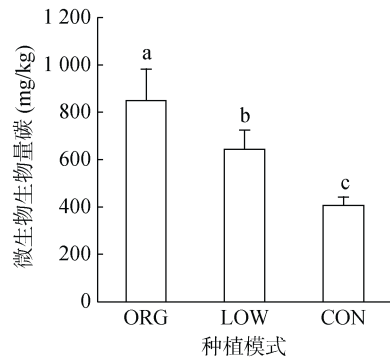


图 6 不同种植模式下土壤微生物生物量碳含量
Fig. 6 Soil microbial biomass contents under different treatments

由表 6 可知,土壤脲酶活性表现为 ORG>LOW>CON,差异达显著水平,说明有机种植大量施用有机肥,提高了温室土壤脲酶活性,改善了温室土壤氮素供应水平。有机种植下土壤磷酸酶活性显著高于常规种植,说明有机种植下土壤中全磷与有效磷供应水平较高,同时,磷酸酶活性较大,更有利于温室土壤中有有机磷的分解转化及其生物有效性。无公害与常规种植下土壤过氧化氢酶活性无显著差异,而有机种植下土壤过氧化氢酶活性显著高于无公害和常规种植,说明有机种植在一定程度上能促进温室土壤过氧化氢酶活性的提高,其肥力特性更加突出。

表 6 不同种植模式下土壤酶活性
Table 6 Soil enzyme activities under different treatments

种植模式	脲酶(NH ₃ -N, mg/(g·24h))	磷酸酶(P ₂ O ₅ , mg/(100g·2h))	过氧化氢酶(0.02 mol/L KMnO ₄ , ml/g)
CON	5.71 ± 0.27 c	11.28 ± 1.85 b	1.52 ± 0.06 b
LOW	7.54 ± 0.35 b	18.06 ± 1.61 a	1.54 ± 0.07 b
ORG	9.05 ± 0.46 a	19.93 ± 1.19 a	2.22 ± 0.12 a

2.4 土壤肥力质量指标的主成分分析

主成分分析是数学上对数据降维的一种方法,它以最少的信息丢失为前提,将众多的原有变量综合成较少的几个综合指标^[20]。本研究对 16 个土壤肥力指

标进行主成分分析,通过表 7 中主成分分析结果,主成分 1 贡献率达到了 42.644%,3 个主成分累计贡献率达 91.052%,基本解释了数据的全部变异,可以涵盖温室土壤各指标的大部分信息,温室土壤肥力的综

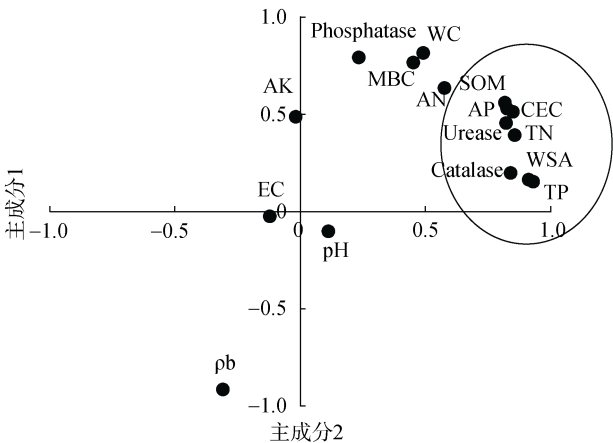
合状况得到较好的体现。因此,选择的公共因子对不同种植模式的土壤肥力评价是可行的、合理的。

表 7 主成分分析的特征根与方差贡献率
Table 7 Characteristic root and variance contribution rate of principal component analysis

指标	PC1	PC2	PC3
特征值	6.823	4.719	3.026
贡献率(%)	42.644	29.493	18.915
累积贡献率(%)	42.644	72.137	91.052

注:PC1、PC2、PC3 分别表示主成分 1、主成分 2、主成分 3。

原始变量与主成分的相关系数可用载荷值来表示,载荷值大的变量即可认为是该主成分的主要影响因子^[21]。图 7 是主成分 1 和主成分 2 的一个二维因子载荷分布图,从图中我们可以明显看出,主成分 1 以水稳性团聚体、有机质、全氮、全磷、有效磷、CEC、脲酶和过氧化氢酶为主要影响因子,包含了物理、化学、生物三方面的性质,因此其贡献率达到了 42.644%,解释了指标近一半的变异信息。



(pb、EC、pH、WC、AK、AP、TP、AN、TN、SOM、CEC、WSA、MBC、Urease、Catalase、Phosphatase 分别为容重、电导率、pH、含水量、有效钾、有效磷、总磷、碱解氮、总氮、土壤有机质、阳离子交换量、水稳性团聚体、微生物生物量碳、脲酶、过氧化氢酶、磷酸酶)

图 7 因子载荷分布

Fig. 7 Factor load distribution

最后通过各主成分得分计算综合得分,对不同种植模式下土壤肥力质量进行评价^[22]。如图 8 所示,有机种植综合得分最高为 1.514,无公害种植得分为 0.099,常规种植得分为 -1.613,在不同种植模式中最低。由此可见,与常规种植相比,有机种植明显提高了温室土壤肥力,温室土壤肥力大小顺序为 ORG>LOW>CON。

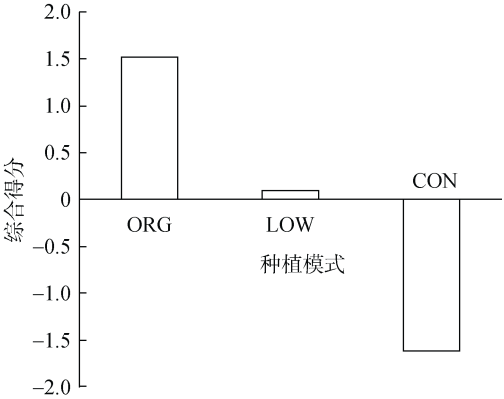


图 8 不同种植模式下土壤肥力特性综合得分

Fig. 8 Comprehensive score of soil fertility under different treatments

3 讨论

本研究在长期定位试验的基础上,分析了有机、无公害、常规 3 种不同种植模式对土壤物理性质、土壤化学性质及土壤生物性质的影响,并采用主成分分析法对土壤肥力质量进行定量化评价。

研究发现经过 15 a 的比较试验,有机种植有利于改善温室土壤中土粒间松紧程度,增加温室土壤通透性并且显著改善了温室土壤团粒结构,为作物生长提供了更好的物理环境条件,该结果与李思萌等^[23]、申思雨等^[24]的研究结果一致。由于有机种植施入大量的有机肥能促进温室土壤中矿物质风化,从而增加温室土壤中养分含量;另外有机肥本身也含有大量养分,从而有利于提高温室土壤中养分含量,因此有机种植有效提升了温室土壤肥力,同时有机基地土壤的供肥能力更强,更能及时满足作物生长需要;另外有机种植增加了温室土壤阳离子交换量,从而有利于提高温室土壤保肥保水能力, Sanwal 等^[25]、Pimentel 等^[2]、蔡祖聪和马毅杰^[26]的研究也得到了类似的结论。由于有机种植直接促进温室土壤中有机质含量增加,提高温室土壤肥力,同时提高温室土壤微生物活性,改善温室土壤微生物群落;此外,由于温室土壤理化性质的改善,影响到地上植被的生长,有利于温室土壤微生物的繁衍,从而间接地影响温室土壤微生物群落,导致微生物多样性提高,该结果与 Kaur 等^[27]、Edesi 等^[28]、王延军等^[29]的研究结果一致。

在选用综合评价方法方面,主成分分析法降维得到的综合变量集中了原始变量的大部分信息,它通过计算综合主成分函数得分,可以对客观现象进行科学的评价,并且能够更加体现信息的贡献影响力^[30]。因此,采用主成分分析结果基本能够客观反映不同种植模式的土壤肥力质量,有助于分析有机种植对温室

土壤肥力质量的影响^[31]。本研究结果表明：由于有机种植长期大量施用有机肥能够改善温室土壤结构，为温室土壤提供大量养分，提高有机质含量，培肥温室土壤，维持地力，进而加强温室土壤生物的繁殖能力和活性，因此改善了温室土壤生产的有利因素，有利于温室土壤培肥，该结果与 Aziz 等^[32]、Gomiero 等^[33]、纪荣婷等^[34]的研究结果一致。

4 结论

1)有机种植有利于降低温室土壤容重，提高温室土壤含水量，促进了温室土壤中大团聚体的形成，提高了温室土壤中水稳性大团聚体的数量和稳定性，为作物生长提供了更好的物理环境条件。

2)有机种植土壤中有有机质和氮、磷、钾养分含量在不同程度上高于无公害和常规种植，有利于提高温室土壤中养分含量，其次施用有机肥增加了温室土壤阳离子交换量，从而有利于提高温室土壤保肥保水能力。

3)有机种植增强了温室土壤微生物活性及酶活性，有利于温室土壤微生物的繁衍，导致微生物多样性提高。

4)3 种种植模式主成分评分综合得分分别为有机 1.514，无公害 0.099，常规 -1.613，有机种植明显提高了温室土壤肥力质量，改善了温室土壤生产性状，对温室土壤的培肥效果显著高于传统种植模式和无公害种植模式。

参考文献：

- [1] 樊亚男, 姚利鹏, 瞿明凯, 等. 基于产量的稻田肥力质量评价及障碍因子区划——以进贤县为例[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1157–1169
- [2] Pimentel D, Hepperly P, Hanson J, et al. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems[J]. BioScience, 2005, 55(7): 573–582
- [3] 王开勇, 郭岩彬, 孟凡乔, 等. 常规与有机农田土壤团聚体组成及碳氮储量研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(5): 180–184
- [4] Ryan M H, Derrick J W, Dann P R. Grain mineral concentrations and yield of wheat grown under organic and conventional management[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(3): 207–216
- [5] 和文龙, 程慧林, 孙连飞, 等. 不同方式栽培蔬菜对土壤肥力影响的研究初探[J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 850–854
- [6] Marinari S, Mancinelli R, Campiglia E, et al. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy[J]. Ecological Indicators, 2006, 6(4): 701–711
- [7] 汪润池, 宗良纲, 邱晓蕾, 等. 有机与常规种植蔬菜地土壤微生物群落特征的比较[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(2): 99–104
- [8] Bi C J, Chen Z L, Wang J, et al. Quantitative assessment of soil health under different planting patterns and soil types[J]. Pedosphere, 2013, 23(2): 194–204
- [9] 李菡, 孙爱清, 郭恒俊. 农田不同种植模式与土壤质量的关系[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 365–372
- [10] 姜璐, 申思雨, 吕贻忠. 华北地区有机种植与常规种植土壤质量比较研究[J]. 土壤, 2015, 47(4): 805–811
- [11] 李志洪, 王淑华. 土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 55–57
- [12] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1042–1049
- [13] 杜立宇, 李天来, 梁成华, 等. 长期不同施肥处理对设施土壤团聚体组成及其稳定性的影响[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 38–41
- [14] Pirmoradian N, Sepaskhah A R, Hajabbasi M A. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments[J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(2): 227–234
- [15] Zhou H, Lü Y Z, Yang Z C, et al. Influence of conservation tillage on soil aggregates features in North China Plain[J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(9): 1099–1106
- [16] Mikha M M, Vigil M F, Liebig M A, et al. Cropping system influences on soil chemical properties and soil quality in the Great Plains[J]. Renewable Agriculture and Food Systems, 2005, 21(1): 26–35
- [17] Mersi W V, Sehinne F. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodonitrotetrazolium chloride[J]. Biology and Fertility of Soils, 1991, 11: 216–220
- [18] Jimenez M D L P, Horra A M D L, Pruzzo L, et al. Soil quality: A new index based on microbiological and biochemical parameters[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002, 35(4): 302–306
- [19] Dindar E, Sagban F O T, Baskaya H S. Evaluation of soil enzyme activities as soil quality indicators in sludge-amended soils[J]. Journal of Environmental Biology, 2015, 36: 919–926
- [20] 陈欢, 曹承富, 张存岭, 等. 基于主成分-聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 609–617
- [21] 张连金, 赖光辉, 孔颖, 等. 基于因子分析法的北京九龙山土壤质量评价[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 7–14
- [22] 彭锐, 王爱平, 伍晓丽, 等. 不同产地川党参土壤养分主成分分析和聚类分析[J]. 西南农业学报, 2008, 21(2): 420–424

- [23] 李思萌, 于军, 周正立, 等. 有机种植对土壤主要理化性质及重金属含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(2): 253–257
- [24] 申思雨, 刘哲, 吕贻忠. 不同种植方式对温室土壤微形态的影响[J]. 土壤, 2016, 48(2): 355–360
- [25] Sanwal S, Laxminarayana K, Yadav R K, et al. Effect of organic manures on soil fertility, growth, physiology, yield and quality of turmeric[J]. Indian Journal of Horticulture, 2007, 63(1): 103–106
- [26] 蔡祖聪, 马毅杰. 土壤有机质与土壤阳离子交换量的关系[J]. 土壤学进展, 1988(3): 10–15
- [27] Kaur K, Kapoor K K, Gupta A P. Impact of organic manures with and without mineral fertilizers on soil chemical and biological properties under tropical conditions[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2005, 168(1): 117–122
- [28] Edesi L, Jarvan M, Akk E, et al. The effect of solid cattle manure on soil microbial activity and on plate count microorganisms in organic and conventional farming systems[J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2013, 2(12): 476–488
- [29] 王延军, 宗良纲, 李锐, 等. 有机种植体系下肥料调控对作物生长及土壤肥力的影响[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(5): 368–372
- [30] 黄婷, 岳西杰, 葛玺祖, 等. 基于主成分分析的黄土沟壑区土壤肥力质量评价——以长武县耕地土壤为例[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 141–147
- [31] 成臣, 汪建军, 程慧煌, 等. 秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响[J]. 土壤学报, 2018, 55(1): 247–257
- [32] Aziz T, Ullah S, Sattar A, et al. Nutrient availability and maize (*Zea mays*) growth in soil amended with organic manures[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2010, 12(4): 621–624
- [33] Gomiero T, Pimentel D, Paoletti M G. Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2011, 30(1/2): 95–124
- [34] 纪荣婷, 董刚强, 闵炬, 等. 有机种植与常规种植体系的比较——基于土壤与肥料的视角[J]. 土壤, 2016, 48(4): 627–633

Effect of Organic Planting on Soil Fertility Quality in Greenhouse

LI Jie, ZHU Ling, TONG Lihong, JIANG Yongshan, LÜ Yizhong*

(College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Based on the long-term location experiment of organic planting in Quzhou Experimental Station of China Agricultural University, 3 soil physical indexes, 9 soil chemical indexes and 4 soil biological indexes were selected to evaluate soil fertility quality in organic planting(ORG), low-input planting(LOW) and conventional planting (CON) by principal component analysis. The results showed that: 1)ORG reduced soil bulk density and increased water content compared with LOW and CON. Under ORG, soil water stable macroaggregates increased to 58.02%. To sum up, ORG can improve physical environment of greenhouse soil. 2)ORG increased the content of soil organic matter and nitrogen, phosphorus and potassium. Soil pH and EC values differed little under different planting patterns. However, ORG increased soil cation exchange content, beneficial to improve water and fertility holding ability. 3)Compared with LOW and CON, soil microbial biomass carbon content in ORG increased by 32.84% and 109.30%, respectively. At the same time, the activities of urease, phosphatase and catalase under ORG were higher than those under LOW and CON, beneficial to the improvement of soil microbial diversity. 4)Through principal component analysis of 16 soil fertility quality indexes, the cumulative contribution rate of 3 principal components was 91.052%. The main component score was more sensitive to the change of soil quality. In this experiment, the main component score of ORG, LOW and CON were 1.514, 0.099 and -1.613, respectively, which indicated organic planting significantly improved the fertility quality of greenhouse soil

Key words: Organic planting; Soil fertility quality; Principal component analysis(PCA); Comprehensive evaluation