

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.05.017

韩沛华, 闵炬, 诸海焘, 等. 长三角地区设施蔬菜施肥现状及土壤性状研究. 土壤, 2020, 52(5): 994–1000.

长三角地区设施蔬菜施肥现状及土壤性状研究^①

韩沛华^{1,2}, 闵炬^{1*}, 诸海焘³, 施卫明¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403)

摘要: 针对近年来长三角地区设施菜地规模化程度逐渐加剧, 对规模化和分散型种植方式开展调研, 阐明不同种植方式下的施肥现状、土壤理化性状的变化情况。本文采用调查问卷和现场取样的调查方法, 在以上海市松江区和苏州市支塘镇为代表的规模化种植区以及以宜兴市周铁镇、常州市武进区为代表的分散型种植区开展有机肥和化肥的施肥情况调查, 并分析土壤 pH、EC 值以及土壤碱解氮、有效磷、速效钾等速效养分含量。结果表明, 规模化种植方式周年肥料施用总量比分散型种植低 17.8%, 其中有机肥比分散型种植低 843.8 kg/hm², 化肥比分散型种植高 34.5 kg/hm²; 与分散型种植方式相比, 规模化种植周年投入的氮肥(N)低了 41.8%, 而磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)分别高了 6.8% 和 38.3%。在土壤的理化性状上, 规模化种植方式下的土壤酸化、盐渍化问题较分散型种植严重, 土壤 pH 和电导率分别为 5.2 和 490.7 μS/cm, 土壤碱解氮、有效磷和速效钾平均含量为 286.3、322.3 和 374.2 mg/kg, 比分散型种植分别高了 123.9%、26.4% 和 68.7%。鉴于此, 规模化种植区应大力推广叶面肥和有机水溶肥水肥一体化等减施增效措施, 可能有利于维持规模化种植下设施土壤的可持续利用。

关键词: 有机肥; 化肥; 土壤养分; 酸化; 次生盐渍化

中图分类号: S158.2 文献标志码: A

Fertilization Status and Soil Physiochemical Properties of Greenhouse Vegetable System in Yangtze River Delta

HAN Peihua^{1,2}, MIN Ju^{1*}, CHU Haitao³, SHI Weiming¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Institute of Eco-Environment and Plant Protection, Shanghai Academy of Agricultural Science, Shanghai 201403, China)

Abstract: In view of the gradual intensification of greenhouse vegetable fields in the Yangtze river delta in recent years, a survey was conducted to disclose the fertilization status and the changes of soil physiochemical properties of greenhouse vegetable system under different cultivation. The questionnaire and field sampling were used for the survey, Songjiang district of Shanghai and Zhitang town of Suzhou were selected to represent the large-scale cultivation, while Zhoutie town of Yixing and Zhihu harbor of Wuxi selected to represent the dispersed cultivation, the fertilization of organic and chemical fertilizers were investigated, and soil pH, EC, and the contents of soil available nitrogen, phosphorus, potassium and other nutrients were analyzed. The results showed that the total amount of fertilizer applied and the organic fertilizer applied for the large-scale cultivation were 17.8% and 843.8 kg/hm² lower than those in the dispersed cultivation, while the chemical fertilizer was 34.5 kg/hm² higher applied for the former than for the latter. Compared with the dispersed cultivation, the annual input of nitrogen fertilizer (N) was 41.8% lower, while the inputs of phosphate (P₂O₅) and potassium (K₂O) fertilizers were 6.8% and 38.3% higher for large-scale cultivation, respectively. The problems of soil acidification and salinization were more serious for the large-scale cultivation than the dispersed cultivation, for the large-scale cultivation, soil pH and EC were 5.2 and 490.7 μS/cm, the averaged contents of soil available N, P₂O₅ and K₂O were 286.3, 322.3 and 374.2 mg/kg, higher than the dispersed cultivation by 123.9%, 26.4% and 68.7%, respectively. In view of this, the foliar fertilizer, organic water-soluble fertilizer and fertigation should be

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201001)资助。

* 通讯作者(jmin@issas.ac.cn)

作者简介: 韩沛华(1993—), 女, 山西交城人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与环境效应研究。E-mail: hanpeihua@issas.ac.cn

greatly promoted, which may be beneficial to maintain the sustainable utilization of greenhouse vegetable fields under large-scale cultivation.

Key words: Organic fertilizer; Chemical fertilizer; Soil nutrients; Acidification; Secondary salinization

随着我国经济社会的持续发展以及城镇化进程的深入推进, 农村耕地面积以及青壮年劳力不断减少, 传统的分散型农业种植生产方式逐渐被资本集约、资源集约、技术集约的集约化规模化种植生产方式所取代^[1]。近年来在国家财政政策支持下, 我国农业规模化集约化发展进程迅速, 2015 年全国发展农业龙头企业达 12 万余家。在蔬菜种植上规模化发展尤为迅速。截至 2015 年我国蔬菜种植面积达 3.30 亿亩, 总产量约 7.69 亿吨, 种植面积约占农作物总播种面积的 12.5%, 但产值占种植业总产值的 30% 以上^[2]。蔬菜种植以往多为种植面积较小的分散型种植, 随着保护地栽培的推广, 设施蔬菜栽培得到迅速发展, 目前设施蔬菜种植面积已达到 5 800 多万亩, 产值占蔬菜总产值的 50% 以上^[3]。随着规模化进程的不断推进, 高强度生产模式带来的弊端也不断暴露出来。冯学娟等^[4]通过对广东省 8 个规模化种植土壤进行取样分析, 发现与第二次全国土壤普查相比, 规模化种植后砖红壤酸化趋势明显。同时大量研究^[5-9]也表明北方规模化蔬菜种植区土壤硝酸盐高量累积, 地下水污染严重。长三角地区是中国经济发展最活跃的地区之一, 区域内水文、土壤条件适宜, 是我国重要的蔬菜生产基地, 到 2013 年农业生产总产值达 1 804.34 亿元^[10]。长三角地区农业现代化程度高, 年化肥施用量占全国化肥施用总量的 10.8% ~ 13.77%^[11], 蔬菜种植区普遍存在盲目施肥等问题, 土壤性质退化, 产生连作障碍, 蔬菜品质下降^[12-13]。目前, 关于北方蔬菜集约化种植方式下的土壤性质变化, 前人已做了大量调查研究。近年来, 长三角地区设施菜地规模化发展进程加速, 一般种植面积在 200 亩以上的被视为规模化的种植, 与传统一家一户的分散型种植方式相比, 规模化种植在施肥管理等方面存在差异, 对土壤理化性质可能会产生一定影响, 目前尚未有充分的调查数据阐明规模化与分散型种植方式下的施肥现状以及对土壤理化性质的影响程度。蔬菜的规模化种植是该地区新的发展方向, 明确其施肥现状和土壤性状可为该新型种植方式的可持续发展提供科学依据。为此, 本研究通过对以上海和苏州地区为代表的集约化种植方式和以宜兴和常州地区为代表的分散型种植方式, 开展有机肥和化肥的施肥情况调查, 并分析土壤 pH、EC 值以及土壤碱解氮、有

效磷、速效钾等速效养分含量, 以期探究不同种植方式的施肥现状以及对土壤理化性状的影响。

1 材料与方法

1.1 调查区域概况

长三角地区位于 32°34' ~ 29°20'N、115°46' ~ 123°25'E, 是长江入海之前形成的冲积平原。该区域属于亚热带季风气候, 全年温暖湿润, 热量条件好, 年平均气温 15.7 °C, 夏季最热月平均气温 28.3 °C; 年平均无霜期 230 d, 生长期可达 250 d 左右; 日照较足, 7—8 月日照时数最多; 降水丰沛, 全年有雨, 年平均雨日 136.6 d, 年平均降水量 1 177 mm, 春夏雨水集中。调查取样涉及以规模化种植为代表的上海市松江区(31°02'N, 121°13'E)和苏州市支塘镇(31°36'N, 120°57'E), 以分散型种植为代表的宜兴市周铁镇(31°26'N, 119°59'E)和常州市武进区(31°31'N, 120°20'E)的种植年限为 5 a 左右的设施蔬菜种植区, 涵盖种植面积约 600 hm²。

1.2 调查采样方法

调查时间为 2016 年 11 月到 2017 年 7 月, 调查采取分层整群随机采样方法, 在所在的镇或区, 每个村选取一定量的农户进行调查, 调查农户总数为 80 户, 分散型和规模化种植农户各 40 户。按照预先制订的调查表到设施大棚, 通过问答逐户实地调查农户有机肥及化肥用量及品种、养分含量、施用方法、施用时间; 仔细查询农户所用化学肥料包装袋, 记录不同肥料养分含量; 采集部分有机肥样品带回实验室测定其氮磷钾养分含量。农户调查同时采集该农户设施蔬菜土壤样品, 分散型和规模化种植农户各采样 90 个, 在采样前, 根据土地利用方式和行政单元将采样区域划分为若干个采样单元, 每个采样单元的土壤性状尽可能均匀一致。集中在每个采样单元相对中心位置的典型地块采样, 采用 GPS 定位。按照随机、等量和多点混合的原则, 采用“S”形布点, 每个样品取 6 个样点混合, 取样深度为 0 ~ 20 cm, 共采集设施大棚土壤样品 180 个。土样取回后自然风干, 按要求磨细过筛待测。

1.3 测定方法

供试土壤理化指标包括土壤 pH、电导率、碱解氮、有效磷和速效钾。其中土壤 pH 采用电位法(HJ

962—2018)测定;土壤电导率采用电极法(HJ 802—2016)测定;土壤碱解氮采用凯式定氮蒸馏法测定^[14];土壤有效磷采用盐酸-氟化铵法(LY/T 1233—1999)测定^[15];土壤速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度法(GB 7856—1987)测定。

1.4 土壤养分分级标准

依据黄绍文等^[16-17]、沈汉和邹国元^[18]针对菜地

土壤提出的酸碱性、盐分含量以及各项养分指标的等级范围分级标准(表 1 ~ 表 4),对太湖地区设施菜地的土壤性状及肥力状况进行分析。

表 1 菜田土壤酸碱性分级参考标准^[14]

pH	<4.5	4.5 ~ 5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.5	≥7.5
等级	强酸性	酸性	微酸性	中性	碱性

表 2 菜田土壤盐分分级参考标准^[17, 19]

Table 2 Classification standard of soil EC for vegetable field

指标	非盐渍化	轻度盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化	盐土
盐分总量(g/kg)	<2	2 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 10	≥10
电导率(uS/cm)	<500	500 ~ 1 500	1 500 ~ 2 200	2 200 ~ 3 200	≥3 200

表 3 菜田土壤碱解氮含量分级参考标准^[20]

Table 3 Classification standard of soil available nitrogen for vegetable field

分级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
碱解氮(mg/kg)	> 150	150 ~ 120	120 ~ 90	90 ~ 60	60 ~ 30	≤30

表 4 菜田土壤有效磷和速效钾含量分级参考标准^[18]

Table 4 Classification standard of soil available phosphorus and potassium contents for vegetable field

养分	临界值	极低	低	中	较高	高
有效磷 (mg/kg)	50	<25	25 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	≥150
速效钾 (mg/kg)	150	<100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 300	≥300

1.5 数据处理

数据用 Microsoft Excel 2016 以及 IBM Statistics SPSS 20.0 进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植方式下的施肥现状

设施蔬菜的规模化和分散型种植方式在施肥量上存在较大差异(表 5)。上海地区化肥周年施用量占肥料施用总量的 74.4%,苏州地区化肥周年施用量占肥料施用总量的 78.2%,规模化种植方式平均化肥施用量占肥料施用总量的 76.4%,化肥施用量 (N+P₂O₅+K₂O) 为 1 328.7 kg/hm²,肥料平均施用量为

1 739.0 kg/hm²,有机肥平均施用量为 410.3 kg/hm²。宜兴地区化肥周年施用量占肥料施用总量的 38.6%,常州地区化肥周年施用量占肥料施用总量的 43.7%,分散型种植方式化肥施用量占肥料施用总量的 41.2%,肥料周年平均总施用量为 2 115.8 kg/hm²,化肥平均施用量为 870.8 kg/hm²,有机肥平均施用含量为 1 245.1 kg/hm²。规模化种植周年的施肥总量比分散型低 376.8 kg/hm²,有机肥施用量是分散型的 1/3,但化肥施用量比分散型高 458.0 kg/hm²,由此表明,与分散型种植方式相比,规模化种植过程中肥料总施用量低,化肥投入比例高,有机肥施用少。

表 5 不同种植方式下有机肥和化肥施用现状

Table 5 Organic and chemical fertilizer application under different cultivation

种植方式	区域	复种指数	有机肥				化肥			
			氮肥(N, kg/(hm ² ·a))	磷肥(P ₂ O ₅ , kg/(hm ² ·a))	钾肥(K ₂ O, kg/(hm ² ·a))	合计 (kg/(hm ² ·a))	氮肥(N, kg/(hm ² ·a))	磷肥(P ₂ O ₅ , kg/(hm ² ·a))	钾肥(K ₂ O, kg/(hm ² ·a))	合计 (kg/(hm ² ·a))
规模化	上海	5	247.5 ± 2.1	72.0 ± 14.9	93.0 ± 21.2	412.5 ± 4.2	433.1 ± 18.0	382.5 ± 17.1	382.5 ± 17.1	1 198.1 ± 22.2
	苏州	5	223.5 ± 34.5	57.0 ± 6.0	127.5 ± 25.5	408.0 ± 66.0	622.5 ± 19.5	418.5 ± 19.5	418.5 ± 19.5	1 459.5 ± 28.5
分散性	宜兴	4	968.3 ± 337.5	200.6 ± 90.0	126.3 ± 61.5	1 295.3 ± 332.7	359.0 ± 21.6	226.8 ± 18.3	228.8 ± 18.1	814.5 ± 25.2
	常州	3	903.6 ± 16.8	185.1 ± 63.8	106.2 ± 36.2	1 194.9 ± 266.7	391.2 ± 18.5	258.5 ± 17.1	277.4 ± 18.5	927.0 ± 24.9

规模化种植方式氮肥周年施用量为 N 763.3 kg/hm², 其中有机肥中的 N 占 30.9%;磷肥施用量为 P₂O₅

465 kg/hm²，其中有机肥中的 P₂O₅ 施用量占 13.9%；钾肥施用量为 K₂O 510.8 kg/hm²，其中有机肥中的 K₂O 占 21.6%；N、P₂O₅、K₂O 施用量分别占肥料施用总量的 43.9%、26.7% 和 29.4%。分散型种植方式氮肥施用量为 1 311.0 kg/hm²，其中有机肥中的 N 占 71.4%；磷肥施用量为 435.5 kg/hm²，其中有机肥中的 P₂O₅ 占 44.3%；钾肥施用量为 369.3 kg/hm²，其中有机肥中的 K₂O 占 31.5%；N、P₂O₅、K 施用量分别占肥料施用总量的 62.0%、20.6% 和 17.5%。

分散型种植方式的纯 N 施用量比规模化种植高 71.8%，P₂O₅ 施用量比规模化低 6.4%，K₂O 施用量比规模化低 27.7%，分散型种植过程中肥料施用量比规模化种植高，主要体现在氮肥的施用，P₂O₅ 和 K₂O 的施用反而低于规模化种植。

2.2 不同种植方式对土壤理化性状的影响

2.2.1 土壤 pH

依据菜田土壤酸碱性分级参考标准(表 1)，研究区域内，上海地区土壤属于酸性到强酸性土壤，其中酸性土壤占样本的 70%；苏州地区土壤中中性土壤占样本的 10%，微酸性土壤占 50%，酸性土壤占 40%；宜兴地区土壤属于中性到微酸性土壤，其中微酸性土壤占样本的 65%；常州地区土壤属于微酸性到酸性土壤，其中微酸性土壤占样本数的 55% (表 6)。规模化种植方式下土壤的平均 pH 为 5.2，属于酸性土壤；分散型种植方式下土壤的平均 pH 为 6.0，属于微酸性土壤，规模化与分散型种植下土壤 pH 差异极显著(P<0.01)，规模化种植的土壤酸化问题更加严重。

表 6 不同种植方式下土壤 pH
Table 6 Soil pH values under different cultivation

种植方式	区域	变幅	平均值	标准差	变异系数
规模化种植	上海	4.3 ~ 5.1	4.7	0.2	5.3
	苏州	4.6 ~ 6.6	5.6	0.6	10.4
分散型种植	宜兴	5.9 ~ 6.9	6.4	0.3	4.9
	常州	5.0 ~ 6.4	5.6	0.4	6.4

2.2.2 土壤电导率

土壤电导率(EC 值)可以表示

土壤溶液中的可溶盐浓度，高浓度的盐溶液会对植物的根系造成伤害从而影响整个作物的生长，EC 值 ≥ 500 μS/cm 是作物生育障碍临界点^[21]，EC 值高于临界点的土壤属于轻度盐渍化土壤 (表 2)。本次调研所取样本 EC 值均属于非盐渍化到轻度盐渍化之间，其中上海地区轻度盐渍化土壤占样本的 70%；苏州地区轻度盐渍化土壤占样本的 35%；宜兴地区轻度盐渍化土壤占样本的 10%；常州地区样本均为非盐渍化土壤 (表 7)。规模化种植的土壤平均 EC 值为 490.70 μS/cm，52.5% 的土壤出现轻度盐渍化；分散型种植土壤平均 EC 值为 303.04 μS/cm，出现轻度盐渍化的土壤仅占 5%，盐渍化程度显著低于规模化种植(P<0.01)。

表 7 不同种植方式下土壤 EC 值(μS/cm)
Table 7 Soil EC values under different cultivation

种植方式	区域	变幅	平均值	标准差	变异系数
规模化种植	上海	406.0 ~ 841.0	576.8	136.0	24.0
	苏州	107.0 ~ 813.0	404.7	172.3	41.0
分散型种植	宜兴	104.0 ~ 683.0	307.9	174.1	70.5
	常州	158.0 ~ 430.0	298.2	82.5	28.6

2.2.3 土壤碱解氮

碱解氮又称水解性氮，能够反映近期内土壤氮素供应情况。上海地区土壤碱解氮含量普遍较高，均属于 1 级土壤；苏州地区碱解氮 1 级土壤占样本的 85%，2 级土壤占 15%；宜兴地区碱解氮 1 级土壤占样本的 75%，2 级土壤占 15%，3 级土壤占样本的 10%；常州地区碱解氮 3 级土壤占样本的 10%，4 级土壤占 55%，5 级土壤占 35% (表 3，表 8)。规模化种植方式的土壤碱解氮平均含量为 286.3 mg/kg，且属于 1 级土壤的占 92.5%；分散型种植方式的土壤碱解氮平均含量为 128.1 mg/kg，有 50% 的土壤碱解氮含量低于 2 级分类标准(120 ~ 150 mg/kg)。分散型种植方式的土壤碱解氮含量显著低于规模化种植 (P<0.01)。

2.2.4 土壤有效磷

土壤中可被植物吸收的磷为有效磷，是土壤中磷的重要组成部分。规模化种植方式土壤有效磷含量显著高于分散型 (P<0.01)。依据

表 8 不同种植方式下土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量(mg/kg)

Table 8 Soil available nitrogen, available phosphorus and available potassium contents under different cultivation

种植方式	区域	碱解氮			有效磷			速效钾		
		变幅	平均值	变异系数(%)	变幅	平均值	变异系数(%)	变幅	平均值	变异系数(%)
规模化	上海	258.0 ~ 428.0	352.5 ± 42.8	11.7	477.0 ~ 692.0	573.8 ± 61.4	10.8	329.0 ~ 676.0	484.4 ± 106	22.4
	苏州	129.0 ~ 344.0	221.2 ± 56.9	26.4	20.0 ~ 483.0	174.5 ± 105.1	55.3	85.0 ~ 267.0	160.3 ± 63	46.9
分散型	宜兴	114.0 ~ 278.0	188.1 ± 44.8	23.8	139.0 ~ 609.0	401.9 ± 138.0	33.2	69.5 ~ 284.0	158.1 ± 56	37.9
	常州	36.1 ~ 99.7	68.1 ± 18.5	27.8	45.1 ~ 549.8	190.2 ± 121.2	62.9	77.5 ~ 474.9	224.0 ± 101	49.0

菜田土壤养分含量分级参考标准 (表 3), 上海地区所有土壤样品均属于有效磷含量高的土壤; 苏州地区属于有效磷含量极低的土壤占样本的 5%, 含量低的土壤占 10%, 含量中等的土壤占 20%, 含量较高的土壤占 5%, 含量高的土壤占 60%; 宜兴地区有效磷含量较高的土壤占土样的 5%, 含量高的土壤占土样的 95%; 常州地区有效磷含量低的土壤占土样的 5%, 含量中等的土壤占 25%, 含量较高的土壤占 15%, 含量高的土壤占 55%。规模化种植方式土壤有效磷的平均含量为 374.2 mg/kg, 50% 的样本属于高养分含量水平; 分散型种植方式土壤有效磷的平均含量为 296.1 mg/kg, 仅有 7.5% 土壤属于高养分含量水平 (表 8)。

2.2.5 土壤速效钾 土壤速效钾主要指土壤溶液中以离子形态存在的钾或者吸附在土壤负电荷胶体表面的钾离子, 是土壤供钾能力的重要指标。规模化种植方式土壤速效钾含量显著高于分散型种植 ($P < 0.01$)。由表 3、表 8 可知上海地区所有土壤均属于速效钾含量高的土壤; 苏州地区速效钾含量极低的土壤占样本的 20%, 含量低的土壤占 40%, 含量中等的土壤占 15%, 含量较高的土壤占 25%; 宜兴地区速效钾含量极低的土壤占样本的 15%, 含量低的土壤占 35%, 含量中等的土壤占 25%, 含量较高的土壤占 25%; 常州地区速效钾含量极低的土壤占样本的 10%, 含量低的土壤占 10%, 含量中等的土壤占 25%, 含量较高的土壤占 40%, 含量高的土壤占 15%。规模化种植方式土壤速效钾平均含量为 322.4 mg/kg, 80% 的土壤样本速效钾含量达到高水平; 分散型种植方式土壤速效钾平均含量为 197.1 mg/kg, 75% 的样本属于高水平。

2.3 Pearson 分析

规模化与分散型种植在种植以及施肥方式上存在较大差异, 两种种植方式下的土壤在 pH、土壤 EC 值以及土壤速效养分含量方面存在显著差异。通过 Pearson 分析 (表 9) 发现, 土壤 pH、EC 值、土壤碱解氮、有效磷和速效钾两两之间存在相关关系 ($P < 0.01$), 这说明土壤性质之间并不是相互独立的。土壤 pH 和土壤 EC 值、土壤速效养分含量都表现出中等程度的负相关关系。土壤 EC 值与土壤速效养分含量两两之间均表现出中等程度的正相关关系。

2.4 经济效益分析

选取了各地区有代表性的周年轮作模式, 对规模化和分散型种植方式下的经济效益开展了分析 (表 10), 规模化种植的蔬菜产值比分散型种植高 25.8%,

净产值高 48.9%。在施肥成本上, 规模化种植比分散型种植节省了 55.7%, 其中规模化和分散型种植在有机肥上的支出分别为 0.7 万元和 3.7 万元, 在化肥上的支出分别为 1.0 万元和 0.7 万元。

表 9 Pearson 相关性分析
Table 9 Pearson correlation analysis

	pH	EC 值	碱解氮	有效磷	速效钾
pH	1				
EC 值	-0.511**	1			
碱解氮	-0.569**	0.684**	1		
有效磷	-0.446**	0.357**	0.658**	1	
速效钾	-0.690**	0.464**	0.567**	0.676**	1

注: **表示相关性达 $P < 0.01$ 显著水平。

3 讨论

设施菜地施肥不当等问题一直是制约我国蔬菜种植业可持续发展的重要因素之一。山东省设施菜地化肥施用量约为 1 800 kg/hm², 有机肥约为 22.5 t/hm²[22], 过高的施肥水平导致种植区内 39.73% 的土壤发生土壤次生盐渍化问题[23]。京津冀地区设施菜地施肥严重过量, 平均施肥总量为 3 412.8 kg/hm², 其中 43.8% 来自有机肥, 且氮磷钾肥的施用比例约为 1: 1.1: 1.1[24]。与北方地区相比, 长三角地区设施菜地规模化程度更高, 施肥总量较低, 主要以氮肥为主, 且化肥投入比例高[25]。规模化种植过程中复种指数较高, 施肥总量低, 化肥施用量较大, 这种种植方式可能会破坏土壤物理结构, 降低土壤的缓冲能力, 导致土壤酸化、次生盐渍化的发生[26-29]。调研中以上海和苏州地区为代表的种植年限为 5 a 左右的规模化种植区为研究对象, 该区域蔬菜的复种指数较高, 一年可至少种植 5 季蔬菜, 一般以短茬叶菜为主, 这可能是因为叶菜不便于长途运输, 长三角地区大型城市城郊的规模化种植发展较快主要生产叶菜类蔬菜。然而, 为了达到规模化的生产和销售, 蔬菜连作较为普遍, 土壤酸化、盐渍化问题较为突出 (表 6、表 7)。长三角地区同样为种植年限在 5 a 左右的分散型种植区, 虽然肥料施用总量高, 但大部分以有机肥形式施入土壤 (表 5), 有机肥的施用可有效减缓 pH 下降速率, 缓解次生盐渍化问题[30-31]; 分散型种植方式较注重不同蔬菜品种的轮作且复种指数低, 轮作中一般种植一季长茬蔬菜, 如番茄和丝瓜等 (表 10), 已有研究也表明, 轮作能提高土壤 pH, 降低土壤 EC 值, 减轻酸化和次生盐渍化程度[32-33], 复种指数低可减少耕作次数从而降低对土壤微生物以及土壤物理结构的破坏, 增加

表 10 不同种植方式下的经济效益分析
Table 10 Economic benefits under different cultivation

种植方式	区域	蔬菜季	产量(t/(hm ² ·a))	产值(万元/(hm ² ·a))	肥料成本(元/(hm ² ·a))	净产值(万元/(hm ² ·a))
规模化	上海	青菜	45.0	5.4	0.7	4.7
		青菜	45.0	4.5	0.2	4.3
		青菜	45.0	7.7	0.2	7.5
		青菜	45.0	3.2	0.2	3
		青菜	45.0	2.3	0.7	1.6
		合计	225.0	23.1	1.9	21.2
	苏州	青菜	45.0	5.4	0.2	5.2
		空心菜	22.5	4.1	0.4	3.7
		空心菜	22.5	4.1	0.2	3.9
		空心菜	22.5	4.1	0.2	3.9
		芹菜	37.5	9.4	0.9	8.5
合计	150.0	27.1	2.0	25.1		
分散型	宜兴	番茄	105.0	10.5	3.4	7.1
		青菜	45.0	3.2	0.1	3.1
		青菜	45.0	3.2	0.1	3.1
		茼蒿	60.0	3.0	0.9	2.1
		合计	255.0	19.9	4.5	15.4
	常州	丝瓜	75.0	15.0	4.1	10.9
		青菜	45.0	2.7	0.1	2.6
		青菜	45.0	2.3	0.1	2.2
		合计	165.0	20.0	4.3	15.7

注: 有机肥单价为 0.8 元/kg, 复合肥单价为 3.6 元/kg, 尿素单价为 3.0 元/kg; 净产值=产值-肥料成本。

土壤的缓冲能力^[34]。分散型种植方式中氮肥施用量远大于规模化种植方式, 但分散型种植下土壤中碱解氮的含量显著低于规模化种植($P<0.01$), 这可能是因为分散型种植方式中硝化细菌与反硝化细菌更加活跃, 导致土壤中氮被分解为氮气、一氧化氮^[35], 也可能与分散型种植较注重夏季揭棚休闲, 而该时期的雨水冲刷导致大量可溶养分淋失有关^[36]。规模化种植方式中土壤有效磷和速效钾的含量显著高于分散型种植($P<0.01$), 这可能与两种种植方式下磷肥和钾肥施用量有直接关系, 由于规模化种植方式更注重蔬菜产量产值, 鲜少进行揭棚休闲, 易导致速效养分累积在土壤表层^[37]。从两种种植方式的经济效益分析看, 规模化种植在产值和扣除肥料成本的净产值上分别高于分散型种植方式 25.8% 和 48.9%, 由此可推测规模化种植这种新类型在未来几年势必将得到迅速的推广和发展, 经过此次调查发现规模化种植带来的问题如蔬菜连作严重、有机肥施用量低、化肥用量仍然很高、土壤发生酸化和次生盐渍化速率较快的问题十分突出。鉴于此, 建议规模化种植区在蔬菜种植上应避免单一蔬菜品种连作, 肥料品种上应大力推广叶面肥、

有机水溶肥等, 在施肥方式上应推广喷灌, 同时采用最佳养分管理技术, 降低肥料投入, 实现减肥增效。

4 结论

在长三角地区, 与分散型种植方式相比, 规模化种植方式肥料施用总量低, 肥料的投入主要是化肥, 有机肥的施用量极低; 氮肥施用量比分散型少, 磷钾肥的施用量较高。在土壤的理化性状上, 两种种植方式下的土壤 pH、EC 值以及速效养分(碱解氮、有效磷、速效钾)之间均存在极显著差异($P<0.01$), 规模化种植方式下的土壤酸化、盐渍化现象表现得比分散型种植更严重, 土壤速效养分含量显著高于分散型种植。由于规模化种植区短茬叶菜轮作较普遍, 鉴于此, 在该种植区应大力推广叶面肥和有机水溶肥水肥一体化等减施增效措施, 可能有利于维持规模化种植下设施土壤的可持续利用。

参考文献:

- [1] 宋杨. 当前我国农业集约化发展问题研究[D]. 南京: 南京大学, 2016.

- [2] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴—2005[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [3] 黄绍文, 唐继伟, 李春花, 等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1480–1493.
- [4] 冯学娟, 李强有, 张曼其, 等. 集约化种植砖红壤养分变化分析[J]. 热带农业科学, 2014, 34(4): 32–35, 41.
- [5] 左海军, 张奇, 徐力刚, 等. 集约化种植条件下土壤硝态氮动态变化及累积特征研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 16–21.
- [6] 刘瑾, 费宇红, 张兆吉, 等. 华北平原某集约化种植区地下水污染探讨[J]. 地球学报, 2014, 35(2): 197–203.
- [7] 寇长林. 华北平原集约化农作区不同种植体系施用氮肥对环境的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [8] 赵炳祥, 张佳宝. 黄淮海平原集约化种植条件下的土壤剖面硝态氮变化[J]. 土壤, 2007, 39(5): 760–765.
- [9] 陶宝先, 刘晨阳. 寿光设施菜地土壤 N_2O 排放规律及其影响因素[J]. 环境化学, 2018, 37(1): 154–163.
- [10] 张荣天. 长江三角洲农业现代化评价及空间分异[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(2): 111–117.
- [11] 李洁. 长三角地区化肥投入环境影响的经济学分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [12] 孙晓, 钟敏, 庄舜尧. 长三角蔬菜种植区土壤有机质与氮素含量分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 167–171.
- [13] 龙卫国, 施毅超, 赵言文, 等. 长三角不同地区蔬菜种植土壤硝态氮含量分析[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(7): 65–67.
- [14] 林永锋, 刘晓菲. 碱解氮测量方法[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(8): 1457–1463.
- [15] 王荣辉, 曾芳, 许桂芝, 等. 现行国标有效磷测定方法比较[J]. 广东农业科学, 2010, 37(2): 84–85.
- [16] 黄绍文, 王玉军, 金继运, 等. 我国主要菜区土壤盐分、酸碱性及肥力状况[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 906–918.
- [17] 黄绍文, 高伟, 唐继伟, 等. 我国主要菜区耕层土壤盐分总量及离子组成[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 965–977.
- [18] 沈汉, 邹国元. 菜地土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 553–557.
- [19] 张金锦, 段增强. 设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J]. 土壤, 2011, 43(3): 361–366.
- [20] 高峻岭, 宋朝玉, 黄绍文, 等. 青岛市设施蔬菜施肥现状与土壤养分状况[J]. 山东农业科学, 2011, 43(3): 68–72.
- [21] 范庆锋, 张玉龙, 陈重, 等. 保护地土壤盐分积累及其离子组成对土壤 pH 值的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 16–20.
- [22] 于群英, 李孝良, 陈世勇, 等. 长期施肥对菜地土壤磷素积累的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(6): 196–201.
- [23] 李涛, 于蕾, 吴越, 等. 山东省设施菜地土壤次生盐渍化特征及影响因素[J]. 土壤学报, 2018, 55(1): 100–110.
- [24] 张怀志, 唐继伟, 袁硕, 等. 津冀设施蔬菜施肥调查分析[J]. 中国土壤与肥料, 2018(2): 54–60.
- [25] 张绪美, 沈文忠, 胡青青. 太仓市郊大棚菜地土壤盐分累积与分布特征研究[J]. 土壤, 2017, 49(5): 987–991.
- [26] 李兰君, 刘玳含, 刘建斌, 等. 连作对设施番茄土壤微生物及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(18): 130–134.
- [27] 陈晓红, 邹志荣. 温室蔬菜栽培连作障碍研究现状及防治措施[J]. 陕西农业科学, 2002, 48(12): 16–17, 20.
- [28] 李忠, 江立庚, 唐荣华, 等. 连作对花生土壤酶活性、养分含量和植株产量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(3): 491–497.
- [29] 靳慧霞, 陈寒玉, 陈纪算, 等. 耕作模式对设施菜地根际土壤微生物群落和盐渍化的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(15): 110–116.
- [30] 张春兰, 朱建春. 干鸡粪对减轻保护地蔬菜生育障碍的作用[J]. 江苏农业科学, 1995, 23(6): 40–42.
- [31] 王亚男, 曾希柏, 王玉忠, 等. 施肥模式对设施菜地根际土壤微生物群落结构和丰度的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(3): 826–834.
- [32] 潘永敏, 华明, 廖启林, 等. 宜兴地区土壤 pH 值的分布特征及时空变化[J]. 物探与化探, 2018, 42(4): 825–832.
- [33] 龙卫国. 不同轮作作物对设施菜地次生盐渍化土壤改良效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [34] 李玉洁, 王慧, 赵建宁, 等. 耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 939–948.
- [35] 王亚男, 曾希柏, 俄胜哲, 等. 施肥对设施菜地氨氧化细菌群落和丰度的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(12): 2425–2432.
- [36] 徐力刚, 王晓龙, 崔锐, 等. 不同农业种植方式对土壤中硝态氮淋失的影响研究[J]. 土壤, 2012, 44(2): 225–231.
- [37] 周生路, 陆春锋, 万红友. 苏南菜地土壤酸化特点及成因分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2005, 33(1): 69–72, 91.