



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

潮土区菜田土壤肥力现状评价

王倩姿, 王书聪, 张书贵, 张静芝, 孙志梅, 马文奇, 薛澄

引用本文:

王倩姿, 王书聪, 张书贵, 等. 潮土区菜田土壤肥力现状评价[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 645–653.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0233>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

炭输入及生化调控对设施菜田土壤N₂O排放的影响

王琳, 尹兴, 王玮, 张琳, 张丽娟

农业资源与环境学报. 2016, 33(5): 416–424 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0034>

轮作不同高粱品种阻控设施菜田氮素损失潜力研究

康凌云, 黄诗坤, 陈硕, 陈清

农业资源与环境学报. 2015(3): 215–221 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0336>

模拟淋溶条件下沼液对菜田土壤磷素淋洗及其形态的影响

王敏锋, 陈硕, 朱睿, 刘石磊, 陈清, 李吉进, 许俊香

农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 368–375 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2016.0289>

三种纳米材料对水稻幼苗生长及根际土壤肥力的影响

尹勇, 刘灵

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 736–743 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0259>

减肥条件下生物炭施用方式对土壤肥力及酶活性的影响

刘遵奇, 兰宇, 杨铁鑫, 张艺潇, 孟军

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 544–551 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0143>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王倩姿, 王书聪, 张书贵, 等. 潮土区菜田土壤肥力现状评价[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 645–653.

WANG Qian-zi, WANG Shu-cong, ZHANG Shu-gui, et al. Evaluation on fertility status of fluvo-aquic soil in a vegetable field[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(5): 645–653.



开放科学 OSID

潮土区菜田土壤肥力现状评价

王倩姿¹, 王书聪², 张书贵³, 张静芝⁴, 孙志梅^{1*}, 马文奇¹, 薛澄¹

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071001; 2. 涿州市农业农村局, 河北 保定 072750; 3. 任丘市农业农村局, 河北 沧州 062550; 4. 保定市蠡县农业农村局, 河北 保定 071400)

摘要: 为了解菜田土壤养分状况, 以粮田为对照, 采集设施、露地菜田土壤样品, 采用隶属度模型和主成分分析法对土壤养分综合肥力进行评价。结果表明, 设施菜田土壤综合肥力指数显著高于露地菜田。与粮田土壤相比, 设施菜田土壤有机质、有效磷、速效钾及有效 Fe、Cu、Zn 含量显著提高, pH、有效 Mn 含量显著降低; 露地菜田土壤速效钾和有效 Fe 含量显著提高, pH 和有效 Mn 含量显著降低。设施菜田和露地菜田土壤有机质含量虽然高于粮田, 但总体仍处于中等偏低水平, 达到肥沃菜田土壤标准(>30.00 g·kg⁻¹)的样本量分别仅占总样本量的 17.12% 和 0.65%; 菜田土壤有效磷显著富集, 63.41% 的设施菜田和 40.00% 的露地菜田土壤有效磷含量均超过 80 mg·kg⁻¹; 设施菜田土壤速效钾含量普遍较高, 高于 300.00 mg·kg⁻¹ 的样本量占比达到了 56.45%, 露地菜田则高低并存。设施菜田和露地菜田土壤微量元素总体均处于中高水平。研究表明, 菜田土壤速效养分含量高, 而有机质和全氮含量较低。因此, 潮土区蔬菜今后生产中应注意增施有机肥料培肥地力, 同时适当控制化学肥料, 特别是磷钾养分的投入。

关键词: 潮土; 设施菜田; 土壤肥力; 分布

中图分类号: S158.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2020)05-0645-09

doi: 10.13254/j.jare.2019.0233

Evaluation on fertility status of fluvo-aquic soil in a vegetable field

WANG Qian-zi¹, WANG Shu-cong², ZHANG Shu-gui³, ZHANG Jing-zhi⁴, SUN Zhi-mei^{1*}, MA Wen-qi¹, XUE Cheng¹

(1. College of Resource and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China; 2. Agricultural and Rural Bureau of Zhuozhou, Baoding 072750, China; 3. Agricultural and Rural Bureau of Renqiu, Cangzhou 062550, China; 4. Agricultural and Rural Bureau of Lixian County, Baoding 071400, China)

Abstract: The objective of this study was to investigate the fertility status of soil in a vegetable field. Taking the soil in a grain field as control, the soil fertilizers of greenhouse and open vegetable fields were evaluated by using the membership model and principal component analysis. Our results showed that the comprehensive soil fertility evaluation parameters of the greenhouse vegetable field were significantly higher than those of the open vegetable field. Taking the fertility index of a grain field as control, the content of soil organic matter, available phosphorus (P), potassium (K), iron (Fe), copper (Cu), and zinc (Zn) were significantly higher, but the soil pH and the content of available manganese (Mn) was significantly lower in the greenhouse vegetable field than in the grain field. The available K and Fe content was significantly higher, but the soil pH and available Mn content were significantly lower in the open vegetable field than in the grain field. The content of soil organic matter in the vegetable field was higher than that in the grain field; however, it was still in the low-to-medium level. Moreover, the proportions of soil with organic matter content exceeding 30.00 g·kg⁻¹ accounted only for 17.12% and 0.65% in the greenhouse and open vegetable fields, respectively. The available P content in the vegetable soil was significantly enriched, and its

收稿日期: 2019-05-01 录用日期: 2019-06-20

作者简介: 王倩姿(1993—), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 从事植物营养与高效施肥研究。E-mail: 1045234435@qq.com

*通信作者: 孙志梅 E-mail: sunzhm2002@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200403)

Project supported: The National Key Research and Development Program of China(2016YFD0200403)

<http://www.aed.org.cn>

proportion exceeding $80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ reached 63.41% in the greenhouse vegetable field and 40.00% in the open vegetable field. In addition, the content of soil available K was generally high in the greenhouse vegetable field, and the percentage of soil samples with available K content above $300.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ reached 56.45%, while the soil samples with both high and low available K content could be found in the open vegetable field. The content of trace elements was generally in the medium-to-high level. Our study showed that the content of nutrients was significantly enriched, but the content of organic matter and total N were significantly low in the vegetable field. Therefore, it is necessary to increase the application of organic fertilizers and reduce the amount of chemical fertilizer, especially P and K nutrients, to fluvo-aquic soils in vegetable production.

Keywords: fluvo-aquic soil; greenhouse vegetable field; soil fertility; distribution

土壤基础肥力是决定作物能否高产、稳产的关键因子,也是合理施肥的依据。一般基础地力高的土壤作物获得高产的潜力大,而基础地力低的土壤只有在较高施肥水平下才能获得较高的产量^[1-2]。徐春雨等^[3]对贵州、重庆、四川3省(市)508个试验点研究发现,随着基础地力的提升,作物产量提高,施肥产量差降低,产量的稳定性和可持续性提升。因此,在了解土壤肥力的基础上,合理施肥不仅可以保障作物的高产、稳产,还能降低作物对肥料的依赖性,更好地培肥地力。

持续高量的养分投入有助于提高土壤肥力和作物产量^[4],但不合理施肥会导致养分资源浪费、生产成本增加,以及对生态环境的污染,特别是对土壤质量的破坏已成为制约现代农业绿色发展的瓶颈。刘兆辉等^[5]研究发现,山东寿光菜田土壤硝态氮的平均含量是粮田的6.5倍,土壤有效磷含量比粮田高出几倍甚至几十倍。辽宁省海城市38个种植年限在3~30年之间的设施蔬菜大棚土壤有效磷和速效钾平均含量分别高达 $363 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $637 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[6],天津市菜田土壤硝态氮和有效磷含量分别是农田土壤的4~10倍和20倍以上^[7],不仅造成了土壤硝态氮的严重淋溶损失,甚至有效磷也出现了明显的下移倾向^[5]。

潮土是我国北方农业适种土壤的重要类型,对其肥力和生产力的研究已得到了广泛的关注。魏猛等^[8]通过35年长期定位试验发现,随着种植年限的增加,小麦-玉米轮作体系潮土土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量均有所增加。王乐等^[9]对分布在全国12个省(市、区)的51个种植小麦/玉米的潮土肥力长期监测基地研究发现,土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾呈上升的趋势,pH呈下降趋势。但目前相关研究多集中于粮田,而潮土区菜田土壤肥力状况研究相对较少。为此,本研究以河北省保定市潮土区典型的蔬菜种植大户及生产基地为研究对象,应用隶属度模型和主成分分析法对菜田土壤综合肥力进行评价,旨在为潮土区菜田土壤养分管理和科学施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集及测定方法

以河北省保定市清苑、涿州等潮土分布区的蔬菜主产区为研究区域,对典型的蔬菜种植大户及生产基地进行设施菜田(Greenhouse vegetable field,简称为GVF)和露地菜田(Open vegetable field,简称为OVF)土壤样品的采集,同时采集菜田附近冬小麦/夏玉米轮作的粮田土壤(Grain filed,简称为GF)作为对照。设施菜田以种植番茄、黄瓜、茄子等果菜类蔬菜为主;露地菜田种植的蔬菜品种多样化,且一年2~3茬轮作。采样时间为蔬菜种植前。采样方法是在地块内按S型布点,用不锈钢土钻采集0~20 cm耕层土壤样品。设施菜田、露地菜田和粮田土壤样本采集量分别为262、161、80个。

土壤样品测试指标为pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效锌和有效铜。土壤pH按水土比2.5:1的比例用pH计测定;有机质含量采用重铬酸钾-浓硫酸氧化(外加热法),硫酸亚铁滴定法测定;全氮含量测定采用凯氏消煮-凯氏定氮法;碱解氮含量测定采用碱解扩散法;土壤有效磷含量测定采用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提,钼锑抗比色法;土壤速效钾含量测定采用 NH_4OAc 浸提,火焰光度法。有效铁、有效锰、有效铜、有效锌含量测定采用DTPA浸提,原子吸收分光光度法^[10]。

1.2 土壤肥力指标分级标准

参考文献[11-13],并结合河北省菜田土壤肥力总体情况,确定菜田土壤酸碱度和养分丰缺分级参考标准如表1和表2所示。

表1 菜田土壤pH分级标准

Table 1 Criteria of soil pH grade for vegetative soil

强酸性 Strong acidity	弱酸性 Weak acidity	中性 Neutrality	弱碱性 Aalkalescence	碱性 Alkalinity
<5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	7.5~8.0	>8.0

表2 菜田土壤肥力及养分含量分级标准

Table 2 Criteria of soil fertility and nutrient content grade for vegetative soil

指标 Index	缺乏 Lack	较缺乏 Relatively lack	中等 Medium	较丰富 Relatively rich	丰富 Rich
有机质 Organic matter(OM)/(g·kg ⁻¹)	<10	10~20	20~30	30~40	>40
全氮 Total N(TN)/(g·kg ⁻¹)	<0.8	0.8~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	>2.0
碱解氮 Alkali-hydrolyzed N(AHN)/(mg·kg ⁻¹)	<50	50~80	80~120	120~150	>150
有效磷 Available P/(mg·kg ⁻¹)	<25	25~50	50~80	80~120	>120
速效钾 Available K/(mg·kg ⁻¹)	<100	100~150	150~200	200~300	>300
有效铁 Available Fe/(mg·kg ⁻¹)	<5	5~10	10~15	15~25	>25
有效锰 Available Mn/(mg·kg ⁻¹)	<2.5	2.5~5.0	5.0~10.0	10.0~20.0	>20.0
有效铜 Available Cu/(mg·kg ⁻¹)	<0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~4.0	>4.0
有效锌 Available Zn/(mg·kg ⁻¹)	<1	1~2	2~3	3~5	>5

1.3 土壤肥力质量评价

首先根据相关文献和专家建议总结确定本研究土壤肥力质量评价的主要影响因子,共10项指标,分别为pH、有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效铜和有效锌^[14]。

对上述10项土壤指标的测定结果采用隶属度模型计算隶属度值,同时运用主成分分析法对土壤指标进行降维,累积贡献率大于85%作为选择主成分的条件,并求得各指标的权重和载荷,以主成分因子负荷量值的正负来确定隶属度函数分布的升降获取主成分因子型^[15]。最后计算各处理土壤综合肥力指数(FQI),作为评价土壤肥力的依据。

升型分布函数:

$$Q(x_i)=(x_{ij}-x_{imin})/(x_{imax}-x_{imin}) \quad (1)$$

降型分布函数:

$$Q(x_i)=(x_{imax}-x_{ij})/(x_{imax}-x_{imin}) \quad (2)$$

式中: $Q(x_i)$ 表示土壤属性的隶属度值; x_{ij} 表示各因子属性值; x_{imax} 表示第*i*项因子中因子属性最大值; x_{imin} 表示第*i*项因子中因子属性最小值。

运用SPSS进行主成分分析并获取各评价因子在各主成分上的负荷量、方差贡献率和累积方差贡献率^[14],进而确定各属性相应的权重向量:

$$\omega_i=c_i/\sum c_i \quad (3)$$

式中: ω_i 表示土壤各属性的权重向量; c_i 表示第*i*项土壤肥力因子的因子负荷量。

根据模糊数学中的加乘法获得相应的土壤肥力指数:

$$FQI=\sum_j K_j[\sum_{i=1}^n \omega_i Q(x_i)] \quad (4)$$

式中: n 表示评价指标的个数; m 表示所选主成分个

数; K_j 表示第*j*个主成分的方差贡献率。

1.4 数据处理

试验数据用Excel 2017和Sigmaplot 12.5软件进行处理和绘图,SPSS 17.0软件进行相关性分析及显著性检验。

2 结果与分析

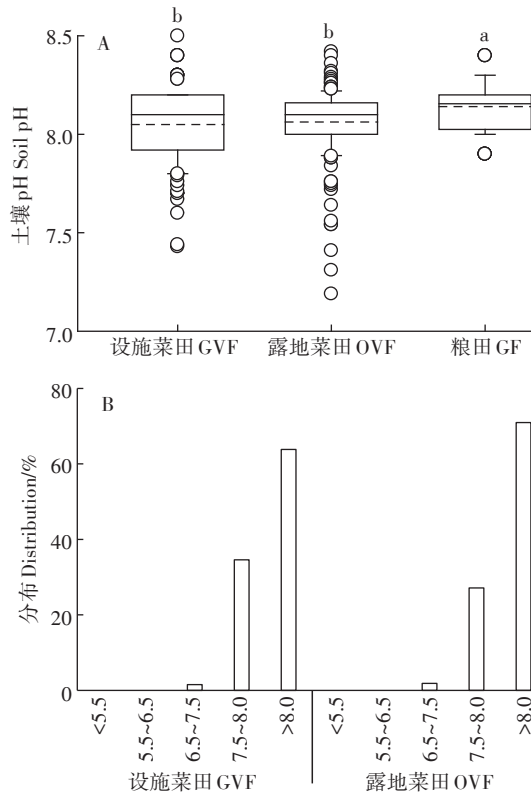
2.1 菜田土壤养分现状分析

2.1.1 土壤pH

土壤酸碱度是影响土壤肥力的重要属性。对土壤pH进行分析,结果(图1)发现,设施菜田和露地菜田土壤pH平均值分别为8.05和8.06,差异不显著,但均显著低于粮田土壤。设施菜田和露地菜田土壤尽管均以pH>8的碱性土壤为主,但pH<8的弱碱性土壤(7.5~8.0)占比也分别达到了34.62%和27.16%。说明与粮田土壤相比,设施菜田和露地菜田土壤已呈现出酸化的趋势。

2.1.2 土壤有机质含量及其分布

以粮田土壤为对照,对菜田土壤有机质含量进行分析。结果(图2)发现,设施菜田和露地菜田土壤有机质平均含量分别为23.60 g·kg⁻¹和19.31 g·kg⁻¹,是粮田土壤的1.26倍和1.04倍;同时,设施菜田显著高于露地菜田,是露地菜田的1.22倍。设施菜田和露地菜田土壤有机质含量最高值分别为38.30 g·kg⁻¹和30.50 g·kg⁻¹,是粮田土壤平均含量的2.06倍和1.64倍。设施菜田达到肥沃菜田土壤有机质含量标准(>30.00 g·kg⁻¹)的样本量占总样本量的17.12%,而露地菜田仅占0.65%。由此可见,菜田土壤有机质含量高于粮田,而设施菜田又显著高于露地菜田。但根据菜田土壤养分丰缺标准,设施菜田和露地菜田土壤有机质含量分别仅为中等和较缺乏水平。



不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。盒式图下边缘线和上边缘线分别代表全部数据的5%和95%,上下空点为异常值;矩形盒上、下边缘分别代表上四分位数和下四分位数,分别代表全部数据的75%和25%;盒中实线代表中值,虚线代表平均值。下同

Different small letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$); The lower and upper edge lines represent the 5% and 95% of the data; The hollow points represent the vertical outliers. The lower and upper quantiles of the boxplots represent 25% and 75% of data, and the solid lines represent the median values and the dash lines represent the average values. The same below

图1 菜田土壤pH及其分布

Figure 1 The value and distribution of soil pH in vegetable soil

2.1.3 土壤全氮含量及其分布

从图3可以看出,设施菜田和露地菜田土壤全氮平均含量分别为 $1.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,均为中等水平,与粮田土壤平均含量基本相当;但设施菜田和露地菜田土壤全氮含量最高值分别为 $2.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别是粮田土壤平均含量的2.03倍和1.55倍。从分布频率来看,设施菜田土壤全氮含量达到肥沃菜田土壤全氮含量标准($>1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)的样本量占总样本量的19.42%,而露地菜田仅占1.34%。

2.1.4 土壤碱解氮含量及其分布

设施菜田和露地菜田土壤碱解氮平均含量分别为 $120.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $98.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,为较丰富和中等水平。设施菜田显著高于露地菜田,最高值分别达 $224.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $148.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是粮田土壤平均含

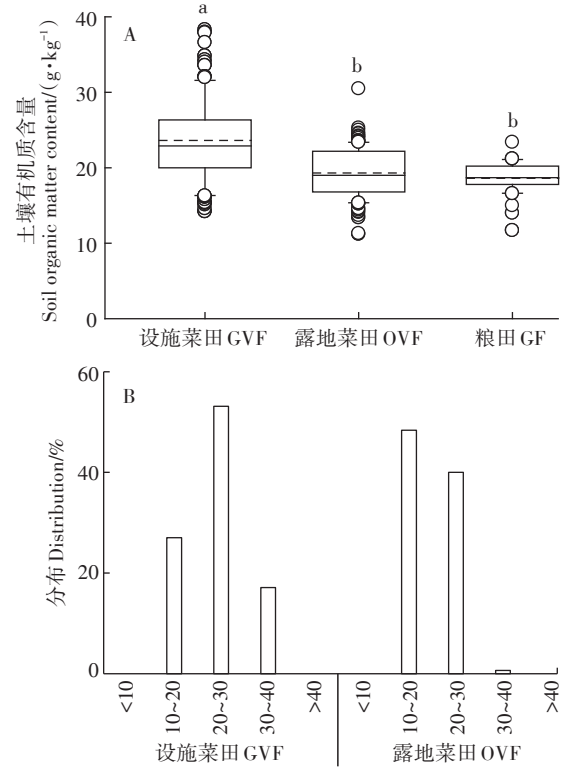


图2 菜田土壤有机质含量及其分布

Figure 2 The content and distribution of soil organic matter in vegetable soil

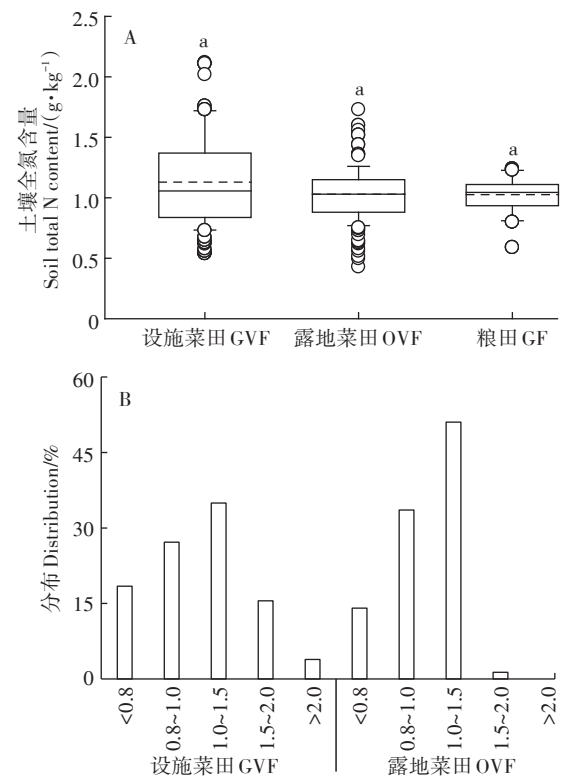


图3 菜田土壤全氮含量及其分布

Figure 3 The content and distribution of soil total N in vegetable soil

量的2.01倍和1.33倍,达到肥沃菜田标准($>120.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的土壤样本量分别占总样本量的40.30%和16.80%(图4)。

2.1.5 土壤有效磷含量及其分布

图5结果表明,设施菜田和露地菜田土壤有效磷平均含量分别为 $193.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $88.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是粮田土壤的5.35倍和2.45倍,为丰富和较丰富水平;设施菜田土壤有效磷显著高于露地菜田;设施菜田有效磷含量最高值为 $616.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,已超出粮田土壤含量的10倍以上。设施菜田和露地菜田有效磷含量超过 $80.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的样本量分别占总样本量的63.41%和40.00%,处于丰富水平的样本量分别占56.91%和19.33%。由此可见,菜田土壤磷素富集现象已非常突出,特别是设施菜田。

2.1.6 土壤速效钾含量及其分布

设施菜田和露地菜田土壤速效钾平均含量分别为 $415.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $202.70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是粮田土壤的4.74倍和2.31倍,分别达到了丰富和较丰富水平,设施菜田显著高于露地菜田;设施菜田和露地菜田速效钾含量最高值分别达 $1\,088.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $908.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

kg^{-1} ,是粮田土壤平均含量的12.39倍和10.34倍,设施菜田土壤最低值也达到了粮田土壤最低值的2.3倍。设施菜田土壤速效钾含量高于 $300.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的样本占总样本量的56.45%。而露地菜田速效钾含量变化较大,高低并存,处于丰富水平的样本占总样本量的19.11%,缺乏水平样本量也占到32.48%(图6)。可见设施菜田土壤钾素富集现象也比较突出。

2.1.7 土壤微量元素含量

由表3可知,设施菜田和露地菜田土壤有效铁平均含量分别为 $13.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $15.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别达到中等和较丰富水平,是粮田土壤的1.15倍和1.27倍;但设施菜田有效铁含量低于露地菜田10.08%。设施菜田土壤有效锰含量与露地菜田基本相当,均显著低于粮田。设施菜田和露地菜田土壤有效铜平均含量均为较丰富水平,分别是粮田土壤的1.70倍和1.41倍,且设施菜田有效铜含量高于露地菜田20.15%。设施菜田和露地菜田土壤有效铜含量最高值分别达到了粮田土壤平均含量的8.75倍和10.12倍。设施菜田和露地菜田土壤有效锌平均含量均达到了较丰富水平,分别是粮田土壤的2.77倍和1.78

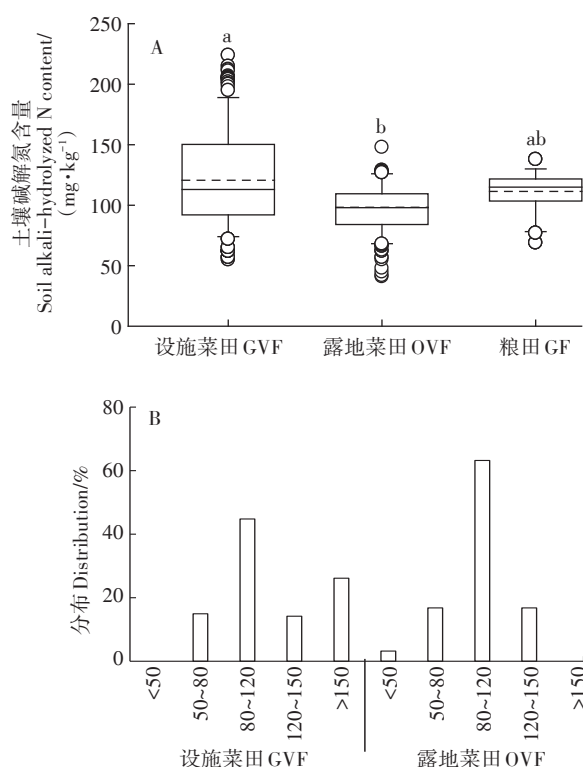


图4 菜田土壤碱解氮含量及其分布

Figure 4 The content and distribution of soil alkali-hydrolyzed N in vegetable soil

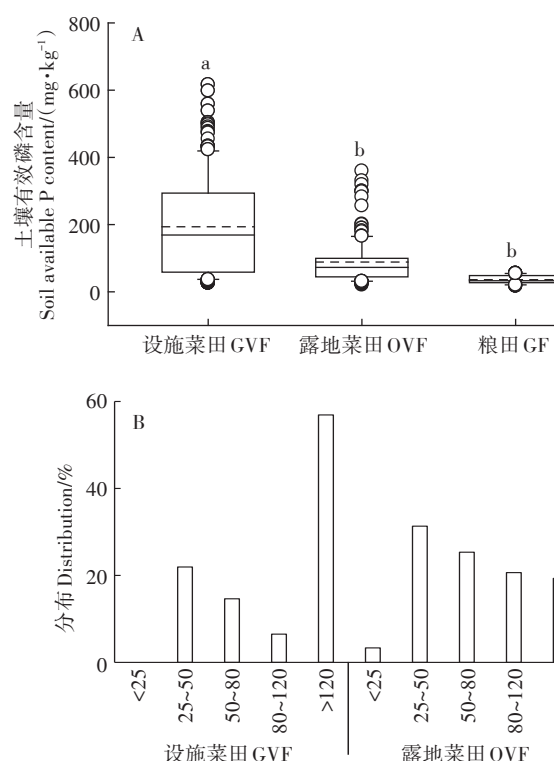


图5 菜田土壤有效磷含量及其分布

Figure 5 The content and distribution of soil available P in vegetable soil

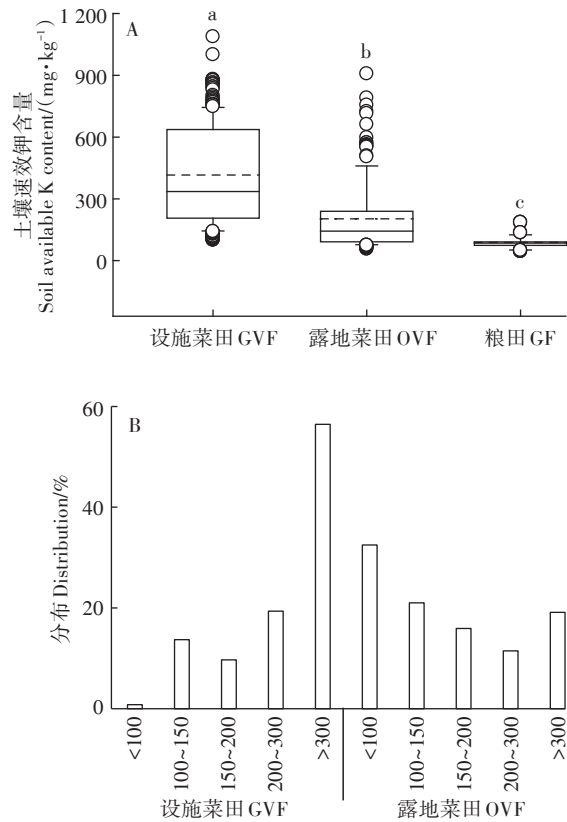


图6 菜田土壤速效钾含量及其分布

Figure 6 The content and distribution of soil available K in vegetable soil

倍,设施菜田高出露地菜田 55.13%,设施菜田和露地菜田土壤有效钾含量最高值分别达到了粮田土壤平均含量的 9.70 倍和 8.95 倍。但菜田土壤有效铜、锌的

变异系数均较大。

2.2 菜田土壤综合肥力质量评价

2.2.1 土壤化学指标隶属度计算及土壤指标权重的确定

根据公式(1)和公式(2)对上述土壤指标计算不同种植类型的农田隶属度值,结果见表4。利用主成分分析法对土壤化学指标进行因子分析,特征值大于1且累积贡献率大于85.00%选取为主成分,共提取了3个主成分,3个主成分的累积贡献率为86.16%,并通过公式(3)计算得出各因子的权重(表5)。

2.2.2 土壤肥力质量的数值化评价

根据上述各指标的隶属度及各因子的权重结果计算菜田土壤综合肥力指数 FQI 值。结果表明,设施菜田、露地菜田和粮田的土壤综合肥力指数 FQI 值分别为 0.69、0.38 和 0.28。设施菜田土壤比露地菜田和粮田土壤分别提高了 0.82 倍和 1.46 倍,露地菜田土壤 FQI 值高于粮田 35.71%(图7)。

3 讨论

国际长期定位试验结果表明在土壤肥力低且不施肥条件下,作物产量逐年下降,而在土壤肥力高且不施肥的情况下,50年后仍可以保持较高的产量水平^[1]。因此,明确土壤肥力状况对于提高蔬菜产量、降低蔬菜对肥料的依赖以及指导科学施肥至关重要。

土壤酸化是土壤质量退化和土壤环境恶化的重要表现形式之一,pH下降导致的土壤保蓄能力降低

表3 土壤微量元素含量

Table 3 Content of trace elements in soil

指标 Index	设施菜田 GVF			露地菜田 OVF			粮田 GF		
	平均值	变幅	变异系数	平均值	变幅	变异系数	平均值	变幅	变异系数
	Mean/(mg·kg ⁻¹)	Range/(mg·kg ⁻¹)	CV/%	Mean/(mg·kg ⁻¹)	Range/(mg·kg ⁻¹)	CV/%	Mean/(mg·kg ⁻¹)	Range/(mg·kg ⁻¹)	CV/%
有效铁	13.56b	5.30~28.10	33.22	15.08a	4.20~33.50	38.69	11.83c	6.40~15.60	18.43
有效锰	10.60b	2.80~27.20	46.51	10.68b	1.90~27.00	47.60	16.00a	8.70~24.10	25.41
有效铜	3.16a	0.51~16.27	90.88	2.63ab	0.57~18.83	76.70	1.86b	0.79~4.89	53.86
有效锌	4.84a	0.43~16.98	93.47	3.12b	0.43~15.67	77.11	1.75b	0.78~3.15	41.96

注:同行不同小写字母表示农田类型间差异显著($P<0.05$)。

Notes: Different small letters in the same line indicate significant difference among field types($P<0.05$).

表4 土壤指标隶属度

Table 4 Membership degree of soil indexes

种植模式 Field types	pH	有机质 OM	全氮 TN	碱解氮 AHN	有效磷 Available P	速效钾 Available K	有效铁 Available Fe	有效锰 Available Mn	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn
设施菜田 GVF	0.29	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.53	0	1.00	1.00
露地菜田 OVF	0.45	0.14	0.03	1.00	0.28	0.35	1.00	0.02	0.59	0.44
粮田 GF	1.00	0	0	0.59	0	1.00	0	1.00	0	0

表5 菜田土壤因子主成分的特征根、方差贡献率、负荷量和权重

Table 5 The characteristic root, variance contribution rate, load and weight of principal components of soil indexes

土壤指标 Soil index	第一主成分 First component		第二主成分 Second component		第三主成分 Third component	
	负荷量 Capacity	权重 Weight	负荷量 Capacity	权重 Weight	负荷量 Capacity	权重 Weight
pH	0.72	0.10	0.02	0.01	0.30	0.12
有机质 OM	0.69	0.10	0.47	0.13	0.16	0.06
全氮 TN	0.46	0.06	0.45	0.13	0.67	0.27
碱解氮 AHN	0.69	0.10	-0.50	0.14	0.13	0.05
有效磷 Available P	0.81	0.11	-0.40	0.11	-0.01	0
速效钾 Available K	0.81	0.11	-0.38	0.11	0.03	0.01
有效铁 Available Fe	0.70	0.10	0.52	0.15	-0.22	-0.09
有效锰 Available Mn	0.61	0.09	-0.41	0.12	0.11	0.05
有效铜 Available Cu	0.73	0.10	0.12	0.03	-0.52	-0.21
有效锌 Available Zn	0.86	0.12	0.26	0.07	-0.32	-0.13
特征根 Characteristic root	5.12		2.49		1.01	
方差贡献率 Variance contribution rate/%	51.23		24.86		10.07	
累积方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	51.23		76.09		86.16	

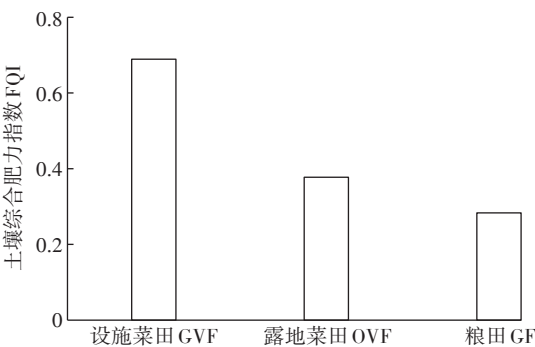


图7 土壤综合肥力指数

Figure 7 Index of soil comprehensive fertility quality

又会进一步增加水体营养化和水质恶化的风险^[16]。土壤自然酸化是一个需要几百年甚至几千年的漫长过程,但在人为干扰的情况下,菜田土壤在10~20年,甚至更短的时间内就会出现酸化现象^[17]。本研究调查发现,设施和露地菜田土壤虽然基本处于弱碱性或碱性水平,但pH值显著低于对照粮田。此现状与长期大量的施用氮肥密不可分^[18]。由此可见,菜田土壤酸化现象不容忽视。在保障蔬菜高产稳产的前提下,减少氮肥施用量,同时配施适量的有机肥,是延缓菜田土壤酸化的重要途径。

蔬菜生产中菜农普遍重视肥料的施用,特别是设施菜田。本研究结果表明,设施菜田和露地菜田土壤有机质含量总体处于中低水平,全氮含量均为中等水平。陈伦寿等^[19]指出,理想的菜田土壤有机质含量应该在30.00 g·kg⁻¹以上,相比之下,潮土区设施菜田和

露地菜田达到此水平的样本分别仅占总样本量的17.12%和0.65%,土壤有机质含量总体水平偏低。此结果可能与调研区域菜田有机肥多以鸡粪为主有关,鸡粪速效养分含量虽然高,但碳和纤维素含量低,分解速度较快^[20]。进一步分析土壤C/N发现,设施菜田、露地菜田和粮田的C/N分别为5.83~18.66、4.83~28.18和8.83~11.50。可见,3种植植模式的土壤C/N均明显偏低。因此,在实际生产中,仅施用含氮量高、含碳量低的有机肥不利于土壤培肥。在今后的蔬菜生产中,应注意在合理施用有机肥的基础上,增施作物秸秆、牛马粪等碳和纤维素含量较高的有机物料,以协调土壤养分和能量间的平衡,提升土壤肥力。

土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量是土壤供肥能力的重要指标。当前菜田土壤碱解氮含量处于中高水平,尤其是设施菜田。已有研究表明,当施用纯N量为450 kg·hm⁻²时,氮肥对蔬菜硝酸盐累积的贡献率可超过85%,而人体摄入的硝酸盐约有81%来自蔬菜^[21]。因此氮肥超量施用不但不会维持作物高产量,还可能会降低蔬菜品质,带来食品安全问题。当前菜田土壤有效磷含量普遍高于粮田,特别是设施菜田。土壤中磷素累积可以增加土壤供磷能力,但是累积到一定程度也会在土壤剖面中明显下移或随径流流失,不仅造成水体污染^[22],而且还会影响土壤其他养分的有效性^[23]。在保障环境安全的基础上兼顾蔬菜高产的菜田土壤有效磷含量80 mg·kg⁻¹定义为水体污染的临界值^[24]。而本研究结果显示,63.41%的设施菜田

和40.00%的露地菜田土壤有效磷含量均超过80 mg·kg⁻¹。设施菜田和露地菜田土壤速效钾含量分别达到了粮田土壤的4.74倍和2.31倍。蔬菜是喜钾作物,但是土壤中钾素的过量累积,也会影响作物对其他金属元素的吸收,破坏养分平衡,进而影响蔬菜产量和品质^[25]。菜田土壤中较高的速效养分含量与菜农长期盲目过量的施肥习惯密切相关。因此,今后的蔬菜生产中,应在了解土壤肥力和蔬菜目标产量对养分需求的基础上,适当控制化肥施用量,特别是磷钾养分的投入,以实现高产、优质、高效、环保的蔬菜生产目标。

土壤中适宜的微量元素含量可以提高蔬菜产量,但含量过高不仅会对蔬菜正常的生长发育产生负面影响,同时可能会由于重金属的累积影响蔬菜的营养品质和食用安全^[26]。全国菜地土壤中Cu和Zn的平均含量分别为29.97 mg·kg⁻¹和99.86 mg·kg⁻¹,远超过标准含量几倍甚至几十倍^[27]。本研究结果表明,菜田土壤有效Fe、Mn、Cu、Zn含量均已处于中等偏上水平,平均含量是标准含量的1.36~3.16倍。这一方面与畜禽粪便中Cu、Fe、Zn等微量元素含量普遍较高有关^[28],另一方面也可能与种植业不少杀菌剂均为含铜制剂有关^[29]。此外,商品有机肥原料来源复杂,尤其含有生活垃圾和污泥的堆肥,也存在一定数量的重金属,即使达到国家规定的限量标准,但长期大量施用也必然造成土壤中金属元素的累积。因此,今后潮土菜田应重视有机肥的施用,但要严格控制重金属含量偏高的有机肥料的施用。

4 结论

(1)潮土区土壤综合肥力指数表现为设施菜田显著高于露地菜田,露地菜田高于粮田。

(2)与粮田土壤相比,潮土区设施菜田和露地菜田土壤速效养分含量显著提高,但土壤pH显著降低,表现出明显的土壤酸化趋势。

(3)根据菜田土壤养分含量分级标准,目前潮土区设施菜田和露地菜田土壤有机质和全氮含量总体处于中等偏下水平,而有效磷和速效钾含量总体处于偏高水平。

参考文献:

- [1] Hejman M, Kunzová E. Sustainability of winter wheat production on sandy-loamy cambisol in the Czech Republic: Results from a long-term fertilizer and crop rotation experiment[J]. *Field Crops Research*, 2009, 115(2):191-199.
- [2] 高静, 马常宝, 徐明岗, 等. 我国东北黑土区耕地施肥和玉米产量的变化特征[J]. *中国土壤与肥料*, 2009(6):28-31, 56.
- [3] GAO Jing, MA Chang-bao, XU Ming-gang, et al. Change characteristic of fertilization and maize yield on black soil in the northeast China[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2009(6):28-31, 56.
- [4] 徐春丽, 谢军, 王珂, 等. 中国西南地区玉米产量对基础地力和施肥的响应[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(1):129-138.
- [5] XU Chun-li, XIE Jun, WANG Ke, et al. The response of maize yield to inherent soil productivity and fertilizer in the southwest China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(1):129-138.
- [6] 黄兴成, 李渝, 白怡婧, 等. 长期不同施肥下黄壤综合肥力演变及作物产量响应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(6):1484-1491.
- [7] HUANG Xing-cheng, LI Yu, BAI Yi-jing, et al. Evolution of yellow soil fertility under long-term fertilization and response of crop yield[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(6):1484-1491.
- [8] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. *土壤学报*, 2008, 45(2):296-303.
- [9] LIU Zhao-hui, JIANG Li-hua, ZHANG Wen-jun, et al. Evolution of fertilization rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shangdong[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2):296-303.
- [10] 韩巍, 赵金月, 李豆豆, 等. 设施蔬菜大棚土壤氮磷钾养分富集降低土壤钙素的有效性[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(4):1019-1026.
- [11] HAN Wei, ZHAO Jin-yue, LI Dou-dou, et al. Accumulation of NPK nutrients tend to decrease the effectiveness of calcium in greenhouse soil in the long term[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(4):1019-1026.
- [12] 高伟, 朱静华, 高宝岩, 等. 天津市设施蔬菜不同种植年限土壤及地下水养分特征[J]. *华北农学报*, 2010, 25(2):206-211.
- [13] GAO Wei, ZHU Jing-hua, GAO Bao-yan, et al. Characteristic of soil and groundwater nutrient in different age greenhouse vegetable cultivation in Tianjin[J]. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 2010, 25(2):206-211.
- [14] 魏猛, 张爱君, 诸葛玉平, 等. 长期不同施肥对黄潮土区冬小麦产量及土壤养分的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(2):304-312.
- [15] WEI Meng, ZHANG Ai-jun, ZHUGE Yu-ping, et al. Effect of different long-term fertilization on winter wheat yield and soil nutrient contents in yellow fluvo-aquic soil area[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2017, 23(2):304-312.
- [16] 王乐, 张淑香, 马常宝, 等. 潮土区29年来土壤肥力和作物产量演变特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2018, 24(6):1435-1444.
- [17] WANG Le, ZHANG Shu-xiang, MA Chang-bao, et al. Characteristics of soil fertility and crop yield evolution in fluvo-aquic soil area in the past 29 years[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(6):1435-1444.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [19] BAO Shi-dan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [20] 余海英, 李廷轩, 张锡洲. 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.
- [21] YU Hai-ying, LI Ting-xuan, ZHANG Xi-zhou. Nutrient budget and

- soil nutrient status in greenhouse system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(3):514-522.
- [12] 张永起,李淑仪,廖新荣,等. 华南主要露地蔬菜土壤的供氮指标[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19):149-154.
- ZHANG Yong-qi, LI Shu-yi, LIAO Xin-rong, et al. Study on nitrogen supply index of main open field vegetables in south China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(19):149-154.
- [13] 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(3):68-72.
- GAO Jun-ling, SONG Chao-yu, HUANG Shao-wen, et al. Status of fertilizer application and soil nutrients in greenhouse vegetables in Qingdao City[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2011(3):68-72.
- [14] 张新星. 不同种植年限山药田土壤肥力时空变化特征研究[D]. 保定:河北农业大学, 2017.
- ZHANG Xin-xing. Study on temporal and spatial variation of soil fertility in yam fields with different planting years[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2017.
- [15] 赵娜,孟平,张劲松,等. 华北低丘山地不同退耕年限刺槐人工林土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2):351-358.
- ZHAO Na, MENG Ping, ZHANG Jin-song, et al. Soil quality assessment of *Robinia pseudoacacia* plantations with various ages in the Grain-for-Green Program in hilly area of north China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(2):351-358.
- [16] Duan L, Huang Y M, Hao J M, et al. Vegetation uptake of nitrogen and base cations in China and its role in soil acidification[J]. *Science of the Total Environment*, 2004, 330(1/2/3):187-198.
- [17] 文方芳. 种植年限对设施大棚土壤次生盐渍化与酸化的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(4):49-53.
- WEN Fang-fang. Effect of planting years on soil secondary salinity and soil acidification in greenhouse[J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2016(4):49-53.
- [18] 曹文超,张运龙,严正娟,等. 种植年限对设施菜田土壤pH及养分积累的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(18):134-141.
- CAO Wen-chao, ZHANG Yun-long, YAN Zheng-juan, et al. Effect of planting years on soil pH and nutrient accumulation in greenhouse vegetable fields[J]. *China Vegetables*, 2012(18):134-141.
- [19] 陈伦寿,陆景陵. 蔬菜营养与施肥[M]. 北京:中国农业出版社, 2002.
- CHEN Lun-shou, LU Jing-ling. Nutrition and fertilization of vegetables[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [20] Qiu S J, Ju X T, Ingwersen J, et al. Changes in soil carbon and nitrogen pools after shifting from conventional cereal to greenhouse vegetable production[J]. *Soil and Tillage Research*, 2010, 107(2):80-87.
- [21] 黄绍文,唐继伟,张怀志,等. 基于发育阶段设施果菜滴灌专用肥的研制及应用[J]. 中国果菜, 2017, 37(7):34-36, 40.
- HUANG Shao-wen, TANG Ji-wei, ZHANG Huai-zhi, et al. The development and application of drip irrigation special-purpose fertilizer based on management strategy at different growth stages in greenhouse fruit vegetable production[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2017, 37(7):34-36, 40.
- [22] 曾招兵,李盟军,姚建武,等. 习惯施肥对菜地氮磷径流流失的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5):34-38, 43.
- ZENG Zhao-bing, LI Meng-jun, YAO Jian-wu, et al. Impacts of custom fertilization on N and P losses by runoff in vegetable fields[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(5):34-38, 43.
- [23] 伊田,梁东丽,王松山,等. 不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(7):111-117.
- YI Tian, LIANG Dong-li, WANG Song-shan, et al. Effect of different cultivation years on nutrients accumulation and environmental impacts of facilities cultivation soil[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2010, 38(7):111-117.
- [24] Zhang Y C, Li R N, Wang L Y, et al. Threshold of soil Olsen-P in greenhouses for tomatoes and cucumbers[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2010, 41(20):2383-2402.
- [25] 叶小霖. 广西右江河谷冬种番茄减量优化施肥研究[D]. 南宁:广西大学, 2017.
- YE Xiao-lin. Study on reduced fertilization and optimized fertilization on winter tomato in Youjiang River valley of Guangxi[D]. Nanning: Guangxi University, 2017.
- [26] Zhang Y G, Jiang Y, Liang W J. Accumulation of soil soluble salt in vegetable greenhouses under heavy application of fertilizers[J]. *Agricultural Journal*, 2006, 1(3):123-127.
- [27] 曾希柏,李莲芳,梅旭荣. 中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11):2507-2517.
- ZENG Xi-bai, LI Lian-fang, MEI Xu-rong. Heavy metal content in soils of vegetable-growing lands in China and source analysis[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(11):2507-2517.
- [28] 茹淑华,苏德纯,张永志,等. 河北省集约化养殖场畜禽粪便中重金属含量及变化特征[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(6):533-539.
- RU Shu-hua, SU De-chun, ZHANG Yong-zhi, et al. Contents and characteristics of heavy metals in the livestock and poultry manure from the large-scale farms in Hebei Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(6):533-539.
- [29] Franzluebbers A J, Wilkinson S R, Stuedemann J A. Bermudagrass management in the southern piedmont USA: VIII Soil pH and nutrient cations[J]. *Agronomy journal*, 2004, 96(5):1390-1399.