

王秋君, 马 艳, 郭德杰, 等. 设施蔬菜土壤养分状况分析及综合评价[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(3): 624-630.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.03.017

设施蔬菜土壤养分状况分析及综合评价

王秋君, 马 艳, 郭德杰, 王光飞, 吴云成

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 综合运用主成分分析和模糊数学相结合的方法, 分析了苏北地区设施蔬菜主产区土壤养分状况, 对其土壤肥力进行综合评价。结果表明, 苏北地区平均土壤有机质含量为 2.6%, 属中等水平, 但盐城市土壤有机质含量不足。苏北地区的土壤 pH 平均值为 7.2, 但有 34.2% 土壤呈碱性, 2.5% 土壤呈酸性, 淮安市的土壤碱化现象较为严重。土壤硝态氮、有效磷和速效钾平均含量分别为 152.5 mg/kg、152.5 mg/kg、386.2 mg/kg, 均存在过量积累现象, 但不同城市土壤中 3 种养分积累程度不同。利用因子分析法确定各土壤指标权重, 结合隶属度计算出土壤综合肥力指数, 发现苏北地区的土壤综合肥力平均指数为 0.5, 处于中等水平, 有 25.2% 的土壤综合肥力 < 0.4, 即土壤肥力差。土壤速效钾为苏北地区土壤肥力的主要限制因子。

关键词: 设施蔬菜; 模糊数学; 土壤养分; 土壤肥力综合评价

中图分类号: S158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)03-0624-07

Analysis and comprehensive evaluation of soil nutrient status for greenhouse vegetable

WANG Qiu-jun, MA Yan, GUO De-jie, WANG Guang-fei, WU Yun-cheng

(Institute of Agricultural Resources and Environments, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Using the combination of principal component analysis and fuzzy mathematics, the status of soil nutrients in the main producing area of greenhouse vegetable in northern Jiangsu was analyzed and the soil fertility was evaluated comprehensively. The results showed that the average soil organic matter content in northern Jiangsu was 2.6%, which belonged to moderate level, but the content of soil organic matter in Yancheng was insufficient. The average soil pH in northern Jiangsu was 7.2, but 34.2% of the soil was alkaline, and 2.5% of the soil was acidic. In particular, soil alkalization in the Huai'an area was more serious. The average contents of soil nitrate, available phosphorus, and available potassium were 152.5 mg/kg, 152.5 mg/kg, and 386.2 mg/kg, respectively. Moreover, there were excessive accumulation phenomenon, but the accumulation extent of soil nutrients in different cities was different. Factor analysis was used to determine the weight of each soil index, and the comprehensive soil fertility index was calculated based on the degree of membership. It was found that the average comprehensive soil fertility index in northern Jiangsu was 0.5, and 25.2% of the total soil fertility was less than 0.4. Soil available potassium is the main limiting factor of soil fertility in northern Jiangsu.

Key words: greenhouse vegetable; fuzzy mathematics; soil nutrient; comprehensive evaluation of soil fertility

收稿日期: 2018-08-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0201007); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(16)1021-6]

作者简介: 王秋君(1983-), 男, 山西万荣人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤连作障碍修复研究。(E-mail) wangqiuju461@163.com

通讯作者: 马 艳, (E-mail) myjaas@sina.com

土壤养分是土壤肥力的主要部分, 由于土壤的不均一性, 土壤中养分的空间分布也具有非均一性^[1]。近年来, 对土壤各养分指标的综合定量研究

已成为研究土壤肥力的主要方法。学者们将模糊数学和多元统计等方法应用到土壤肥力评价中,可得出反映土壤肥力的综合性指标^[2-3]。正确地选择土壤肥力评价指标,是科学揭示土壤肥力的前提,直接影响到土壤肥力评价的准确程度,评价指标需对土壤肥力影响大且稳定性高^[4]。据此,很多研究者将土壤 pH、有机质、硝态氮、有效磷、速效钾作为土壤肥力评价指标来反映土壤综合肥力^[5-8]。

截止 2015 年,江苏省设施蔬菜总面积为 $7.57 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占耕地面积比重达 16.5%,占比居全国首位。设施蔬菜品种主要有番茄、辣椒、黄瓜、茄子、甘蓝、白菜等。江苏省设施蔬菜主要集中在苏北地区(徐州、盐城、淮安、连云港和宿迁),其设施蔬菜总面积为 $4.89 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占全省设施蔬菜面积的 61.2%。苏北地区的蔬菜自给率最高,盐城超过 90%,徐州、连云港和宿迁在 80%以上,淮安在 70%以上^[9]。

近年来,随着设施栽培的大力发展,苏北地区设施蔬菜生产规模化和产业化经营模式日趋成熟。然而,苏北地区设施蔬菜主产区的土壤肥力日益降低,该问题已成为制约该地区设施蔬菜生产可持续发展的瓶颈。大量研究表明,除了长期连作外,不合理施肥也是造成土壤发生障碍的主要原因^[10-11]。为此,本研究基于模糊数学方法对苏北地区设施蔬菜主产区的土壤肥力进行综合评价,以提出适合的肥料施用技术和针对性的土壤肥力培育策略,对推动苏北地区设施蔬菜优质高效生产具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 土壤样品的采集

2016 年 11 月在江苏省淮安市、徐州市、连云港市和盐城市设施蔬菜主产区,采集耕作层(0~20 cm)土壤样品 158 个。土样在实验室进行编号后自然风干,弃除作物残体和杂物,磨细,过筛后进行测

定分析。

1.2 土壤性状分析

在实验室测定土壤 pH、有机质、硝态氮、有效磷和速效钾含量。取过 1 mm 筛的风干土样 10 g,加超纯水 25 ml,振荡 5 min,静置 30 min 后测定 pH。风干土样过 1 mm 筛后采用 KCl 浸提-酚二磺酸比色法测定硝态氮。风干土样过 1 mm 筛后采用 NaHCO_3 浸提-钼蓝比色法测定有效磷。风干土样过 1 mm 筛后采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾。风干土样过 0.149 mm 筛后采用重铬酸钾容量法-稀释热法测定总有机质。

1.3 土壤养分指标权重和隶属度的确定

本研究利用主成分分析法确定各因子权重(表 1)。根据土壤肥力指标与作物生长效应曲线将参评隶属度函数分为 2 种类型,即 S 型和抛物线型^[12-13]。

S 型隶属度函数:属于这类函数的土壤肥力指标有土壤有机质。相应的隶属度函数表达式为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1, & x < x_1 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_2-x_1} + 0.1, & x_1 \leq x < x_2 \\ 1.0, & x \geq x_2 \end{cases}$$

抛物线型:属于这类函数的土壤肥料指标有土壤 pH、硝态氮、有效磷、速效钾。

相应的隶属度函数表达式为:

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x \geq x_4 \\ \frac{0.9(x-x_1)}{x_2-x_1} + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 1.0 - \frac{0.9(x-x_3)}{x_4-x_3} & x_3 < x < x_4 \end{cases}$$

本研究根据苏北地区设施蔬菜土壤肥力特性及相关研究结果,确定各指标的拐点值(表 1)。

表 1 各指标隶属函数曲线转折点取值及权重

Table 1 Values of turning point in membership function and weights of each factor

指标	隶属度函数类型	下限	最优值下限	最优值上限	上限	权重(%)
有机质(g/kg)	S 型	15			45	20.9
硝态氮(mg/kg)	S 型	25	50	100	150	14.6
有效磷(mg/kg)	S 型	25	50	100	150	13.7
速效钾(mg/kg)	S 型	100	150	200	300	18.3
pH	抛物线型	5.5	6.5	7.5	8.0	14.6

1.4 土壤肥力综合评价方法

首先根据文献报道和实践经验建立各肥力指标的隶属函数,计算不同土样各指标的隶属度值,然后采用主成分分析法确定各指标的权重系数,最终计算出各样品土壤综合肥力指数(*IFI*)。计算公式为:

$$IFI = \sum_{i=1}^n F_i \times W_i$$

公式中: n 为参评因子数; W_i 为第 i 个因子的权重; F_i 为第 i 个因子的隶属度值。

1.5 数据分析

数据采用 Microsoft Excel 处理。采用 SPSS statistical 22 进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力描述性统计分析

2.1.1 土壤有机质 从表 2 可以看出,苏北地区的土壤有机质平均含量为 2.5%,淮安、徐州、连云港、盐城的土壤有机质平均含量分别为 2.9%、2.9%、2.4%、1.9%,其变异系数(*CV*)范围为 19.5%~

33.1%。变异系数表示土壤肥力指标变异性的 大小, $CV < 0.1$ 时为弱变异性, $0.1 < CV < 1.0$ 时为中等变异性, $CV > 1$ 时为强变异性^[14]。根据文献[15]对研究区内土壤有机质含量进行分级,发现苏北地区 23.5% 的土壤有机质含量低于临界值(2.0%)。淮安、徐州、连云港、盐城的土壤有机质含量低于临界值的频率分别为 0、13.0%、18.7%、53.4%。

2.1.2 土壤 pH 从表 3 可以看出,苏北地区的土壤 pH 平均值为 7.2,淮安、徐州、连云港、盐城的土壤 pH 平均值分别为 7.6、7.2、7.3、6.8,其变异系数范围为 6.1%~15.6%。根据文献[15]对土壤 pH 值进行分级,结果发现,苏北地区仅 45.6% 的土壤为中性,34.2% 土壤呈碱性,2.5% 土壤呈酸性。淮安、徐州、连云港、盐城的土壤呈中性的占比分别为 3.2%、69.6%、52.6%、46.5%,土壤呈酸性的占比分别为 25.9%、4.3%、18.5%、34.9%,土壤呈碱性的占比分别为 70.9%、26.1%、28.9%、18.6%。

表 2 土壤有机质含量及其分布频率

Table 2 Soil organic matter content and its distribution frequencies

地区	样本数	有机质含量 (%)	平均值 (%)	标准差 (%)	变异系数 (%)	有机质含量分布频率 (%)				
						极低 ($\leq 1.0\%$)	低 (1.1%~2.0%)	中 (2.1%~3.0%)	较高 (3.1%~4.0%)	高 ($> 4.0\%$)
淮安	31	2.0~3.9	2.9	0.5	19.5	0	0	61.3	38.7	0
徐州	46	1.4~5.5	2.9	0.9	33.1	0	13.0	41.3	30.4	15.2
连云港	38	1.2~4.0	2.4	0.6	26.8	0	18.7	41.6	18.7	0
盐城	43	0.8~2.8	1.9	0.4	25.6	4.6	48.8	46.5	0	0

表 3 土壤 pH 值及其分布频率

Table 3 Soil pH value and its distribution frequencies

地点	样本数	pH 值	平均值	标准差	变异系数 (%)	pH 值分布频率 (%)				
						强酸性 (≤ 4.50)	酸性 (4.51~5.50)	微酸性 (5.51~6.50)	中性 (6.51~7.50)	碱性 (> 7.50)
淮安	31	5.0~8.8	7.6	1.2	15.6	0	9.7	16.2	3.2	70.9
徐州	46	6.4~8.1	7.2	0.4	6.1	0	0	4.3	69.6	26.1
连云港	38	5.9~8.9	7.3	0.8	10.9	0	0	18.5	52.6	28.9
盐城	43	5.4~8.2	6.8	0.8	11.1	0	2.3	32.6	46.5	18.6

2.1.3 土壤硝态氮 从表 4 中可以看出,苏北地区的土壤硝态氮平均含量为 152.5 mg/kg,淮安、徐州、连云港、盐城的土壤硝态氮平均含量分别为

175.8 mg/kg、199.2 mg/kg、166.7 mg/kg、74.8 mg/kg,其变异系数范围为 77.0%~110.6%,其中连云港的变异系数最高。根据文献[15]对土壤硝态

氮含量进行分级,结果发现,苏北地区仅 27.8% 的土壤硝态氮含量在正常范围(50.1~100.0 mg/kg)内,53.8%的土壤硝态氮含量高于临界值。淮安、徐

州、连云港、盐城的土壤硝态氮含量高于正常临界值的占比分别为 64.4%、65.1%、52.0%、18.5%。

表 4 土壤硝态氮含量及其分布频率

Table 4 Soil nitrate nitrogen content and its distribution frequencies

地点	样本数	硝态氮含量 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)	硝态氮含量分布频率(%)				
						极低 (≤25.0 mg/kg)	低 (25.1~50.0 mg/kg)	中 (50.1~100.0 mg/kg)	较高 (100.1~150.0 mg/kg)	高 (>150.0 mg/kg)
淮安	31	9.5~558.8	175.8	135.4	77.0	3.2	0	32.2	22.5	41.9
徐州	46	7.0~991.8	199.2	183.9	92.3	10.8	8.6	15.2	4.3	60.8
连云港	38	44.6~1 202.2	166.7	184.3	110.6	0	2.0	25.0	22.9	29.1
盐城	43	11.1~298.0	74.8	65.1	87.0	18.6	25.5	37.2	4.6	13.9

2.1.4 土壤有效磷 从表 5 可以看出,苏北地区的土壤有效磷平均含量为 152.6 mg/kg,淮安、徐州、连云港、盐城的土壤有效磷平均含量分别为 93.3 mg/kg、191.2 mg/kg、194.4 mg/kg、117.1 mg/kg,其变异系数范围为 39.7%~44.9%。根据文献[15]对土壤有效

磷含量进行分级,结果发现,苏北地区仅 22.8% 的土壤有效磷含量在正常范围(50.1~100.0 mg/kg)内,70.8%的土壤有效磷含量高于临界值。淮安、徐州、连云港、盐城的土壤有效磷含量高于正常临界值的占比分别为 32.2%、86.9%、72.8%、62.7%。

表 5 土壤有效磷含量及其分布频率

Table 5 Soil available phosphorus content and its distribution frequencies

地点	样本数	有效磷含量 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)	有效磷含量分布频率(%)				
						极低 (≤25.0 mg/kg)	低 (25.1~50.0 mg/kg)	中 (50.1~100.0 mg/kg)	较高 (100.1~150.0 mg/kg)	高 (>150.0 mg/kg)
淮安	31	16.5~177.6	93.3	40.8	43.8	3.2	3.2	61.2	25.8	6.4
徐州	46	28.9~461.4	191.2	75.9	39.7	0	2.1	10.8	15.2	71.7
连云港	38	40.9~425.3	194.4	87.4	44.9	0	2.0	4.1	20.8	52.0
盐城	43	26.7~248.2	117.1	50.7	43.3	0	11.6	25.5	34.8	27.9

2.1.5 土壤速效钾 从表 6 可以看出,苏北地区的土壤速效钾平均含量为 386.1 mg/kg,淮安、徐州、连云港、盐城的土壤速效钾平均含量分别为 138.4 mg/kg、490.7 mg/kg、608.4 mg/kg、256.4 mg/kg,其变异系数范围为 44.2%~56.4%。根据文献[15]对土壤速效钾含量进行分级,结果发现,苏北地区仅 7.6% 的土壤速效钾含量在正常范围(150.1~200.0 mg/kg)内,68.4%的土壤速效钾含量高于临界值。淮安、徐州、连云港、盐城的土壤速效钾含量高于正常临界值的占比分别为 16.1%、89.0%、79.1%、55.7%。

2.2 土壤肥力综合评价

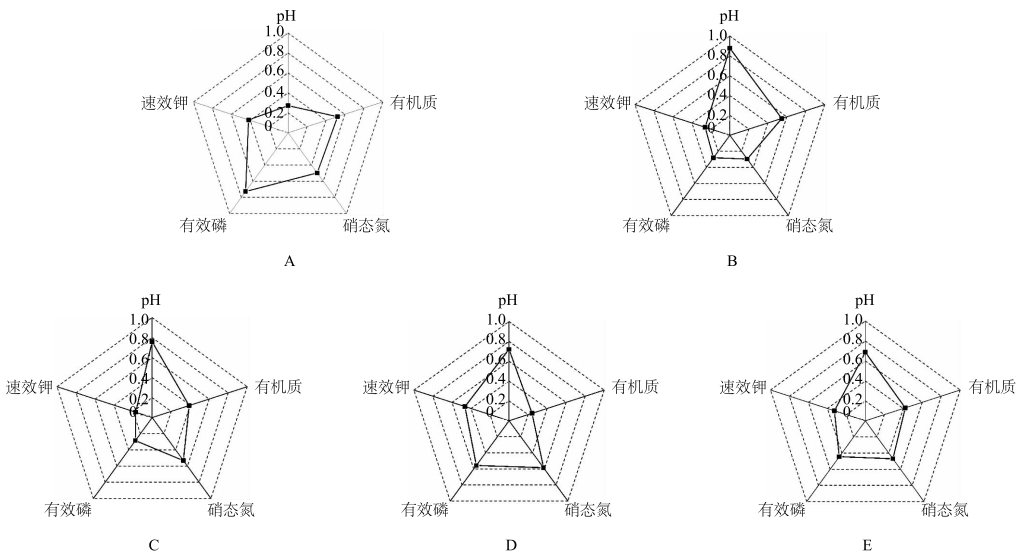
2.2.1 隶属度 土壤肥力指标单位和量纲不同,

为了使各评价指标的测定值能够相互比较,本研究通过计算各指标的隶属度来对各评价指标进行量纲统一化。苏北地区设施蔬菜土壤各指标的状态及土壤肥力的整体状况用各指标的平均隶属度值制成雷达图来反映(图 1)。从图 1 可看出,淮安地区土壤各指标中土壤 pH 平均隶属度最小(0.3)(图 1A),徐州、连云港地区土壤各指标中土壤速效钾平均隶属度均为最小(0.3、0.2)(图 1B、图 1C),盐城地区土壤有机质平均隶属度最小(0.2)(图 1D)。总体来看,苏北地区设施蔬菜土壤各指标中土壤速效钾平均隶属度最小(0.3)(图 1E)。

表 6 土壤速效钾含量及其分布频率

Table 6 Soil available potassium content and its distribution frequencies

地点	样本数	速效钾含量 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)	速效钾含量分布频率(%)				
						极低 (≤100.0 mg/kg)	低 (100.1~150.0 mg/kg)	中 (150.1~200.0 mg/kg)	较高 (200.1~300.0 mg/kg)	高 (>300.0 mg/kg)
淮安	31	46.9~362.5	138.4	66.7	48.2	25.8	48.3	9.6	12.9	3.2
徐州	46	100.1~1 128.0	490.7	263.6	53.7	0	4.3	6.5	19.5	69.5
连云港	38	217.2~1 187.5	608.4	269.3	44.2	0	0	0	10.4	68.7
盐城	43	77.8~711.7	256.4	144.6	56.4	4.6	25.5	13.9	23.2	32.5



A: 淮安; B: 徐州; C: 连云港; D: 盐城; E: 苏北地区。

图 1 土壤肥力指标隶属度值的雷达图

Fig.1 Radar plot of membership degree values of soil fertility factors

2.2.2 土壤综合肥力指数 本研究综合考虑了土壤肥力各指标的权重系数和隶属度,计算土壤综合肥力指数(*IFI*)。苏北地区设施蔬菜主产区 *IFI* 及其分布频率见表 7。从表 7 中可看出,苏北地区的平均 *IFI* 为 0.5,淮安、徐州、连云港、盐城的平均 *IFI* 分别为 0.5、0.5、0.4、0.5。参考文献 [13],将土壤综合肥力指数按照标准把研究区土壤分为 5 个等级。即优(>0.80),良(0.61~0.80),中等(0.41~0.60),差(0.21~0.40),很差(≤0.20)。*IFI* 分级结果表明,苏北地区 25.3%的 *IFI* 低于 0.40。淮安、徐州、连云港、盐城的 *IFI* 低于 0.40 的占比分别为 22.6%、26.1%、39.5%、13.9%。

3 讨论

3.1 土壤养分状况分析

通过对苏北设施蔬菜主产区土壤化学性状进行测定分析,发现苏北地区设施蔬菜土壤养分和肥力状况仍存在较多问题。苏北地区有 23.5%的土壤有机质含量低于临界值(2.0%),其中盐城地区的土壤有机质平均含量最低,有 53.5%的土壤有机质含量低于 2.0%,这说明盐城设施蔬菜主产区的大多数土壤有机质含量未达到设施蔬菜种植所要求,需增施有机肥。苏北地区设施蔬菜主产区的土壤存在碱化和酸化现象,有 34.2%的土壤 pH 值大于 7.5,有 20.2%的土壤 pH 值小于 6.5,这说明苏

北设施蔬菜主产区的土壤碱化重于酸化。本研究在调研过程中发现农户施用有机肥用量较大,且大多为未腐熟的农家粪,这可能是造成土壤发生碱化的原因。有研究者认为,施用有机肥可提高土壤

pH^[16],而长期大量施用有机肥,尤其是施用未腐熟的农家肥,则导致土壤发生碱化,其原因可能是有机肥中官能团加强了对 H⁺ 和 Al³⁺ 的吸附作用,从而提高土壤 pH 值。

表 7 土壤综合肥力指数及其分布频率

Table 7 Comprehensive soil fertility index and its distribution frequencies

地点	范围值	平均值	标准差	各等级土壤的分布频率(%)				
				极低(≤0.20)	低(0.21~0.40)	中(0.41~0.60)	较高(0.61~0.80)	高(>0.80)
淮安	0.2~0.8	0.5	0.1	6.5	16.1	67.7	6.5	3.2
徐州	0.2~0.9	0.5	0.2	2.2	23.9	58.7	10.9	4.3
连云港	0.2~0.7	0.4	0.1	0	39.5	52.6	7.9	0
盐城	0.1~0.8	0.5	0.1	2.3	11.6	53.5	32.6	0

有研究者认为,设施蔬菜土壤中硝态氮和有效磷含量高于 100 mg/kg,且速效钾含量高于 200 mg/kg时才能满足设施蔬菜高产需要^[15]。本研究结果表明,苏北地区 53.8%土壤硝态氮含量和 70.8%的土壤有效磷含量高于 100 mg/kg,且 68.4%的土壤速效钾含量高于 200 mg/kg,这可能是由于部分农户过量施用氮、磷、钾肥所致。本研究采集土样过程中调研了农户施肥状况,发现很多农户在施肥中并未针对土壤养分状况和蔬菜养分需求规律进行施肥,存在盲目性,且为了保证设施蔬菜产量的稳定,过量施用化肥。土壤中硝态氮和有效磷积累不仅会形成土壤盐渍化,影响蔬菜生长,同时也增加对水体环境污染的风险。由于不同地区土壤肥力差异及施肥习惯的不同,使得土壤有效养分在不同地区的积累程度不同。根据土壤养分等级分类标准,发现本研究区域内只有淮安地区的有效磷含量(93.3 mg/kg)、速效钾含量(138.44 mg/kg)及盐城地区的硝态氮含量(74.8 mg/kg)的平均值属于正常范围,而徐州地区和连云港地区的硝态氮、有效磷和速效钾含量的平均值都高于临界值,这说明徐州和连云港地区的土壤有效养分积累程度重于淮安和盐城地区,徐州和连云港地区的设施蔬菜种类以日光温室番茄为主,淮安地区的设施蔬菜种类以大棚辣椒为主,盐城地区的设施蔬菜种类以大棚辣椒和番茄为主。大棚辣椒和日光温室番茄的氮磷钾养分需求量差异较大,据文献报道,666 m²辣椒整个生育期中所需氮磷钾养分总量为15.6~37.3 kg^[17-18],而日光温室番茄 666 m²的氮磷钾养分需求量为30.7~80.2

kg^[19-21],这使得日光温室番茄栽培中施肥量要大于大棚辣椒所施肥料量,且由于徐州和连云港地区的日光温室番茄多为长季节栽培,揭棚期较短,更加剧了土壤养分的积累。

3.2 土壤综合肥力评价

目前对土壤肥力的评价指标主要包括:作物产量或生长指标、单一土壤养分指标、土壤综合肥力指标^[22-24]。在区域尺度条件下采用作物产量评价土壤肥力难以操作,采用单一土壤养分指标难以反映出土壤的综合肥力。对多种土壤肥力指标进行综合评价时要处理大量的指标数据,需借助数学方法从多因素角度对土壤肥力进行综合评价^[25]。本研究基于模糊数学方法对苏北地区设施蔬菜主产区的土壤肥力状况进行了总体评价。参照文献[11],将土壤的综合肥力指数按照标准把研究区土壤分为5个等级。即优(>0.80),良(0.61~0.80),中等(0.41~0.60),差(0.21~0.40),很差(≤0.20)。结果表明苏北地区的土壤综合肥力指数平均值为0.5,即土壤肥力属于中等,然而有25.2%的土壤综合肥力指数低于0.4,即土壤综合肥力差。各指标隶属度结果可表明苏北地区土壤肥力的主要限制因子为土壤速效钾,即土壤速效钾积累现象普遍。不同地区的土壤肥力限制因子并不相同,淮安土壤肥力限制因子为土壤 pH(土壤碱化现象严重),徐州和连云港土壤肥力限制因子为速效钾(速效钾积累过多),盐城土壤肥力限制因子为土壤有机质(有机质含量低)。据此,在淮安设施蔬菜主产区应减少农家肥的施用或者以适量的商品有机肥替代农家

肥,在徐州和连云港应减少钾肥施用,在盐城应增施有机肥以提高土壤有机质含量。

参考文献:

- [1] 阮梦蝶,范贵娟. 土壤养分空间的变异性研究[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(18): 48-51.
- [2] 李梅,张学雷. 基于GIS的农田土壤肥力评价及其与土体构型的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 129-136.
- [3] 陶睿,王子芳,高明,等. 重庆市丰都县紫色土养分空间变异及土壤肥力评价[J]. 土壤, 2017, 49(1): 155-161.
- [4] 吕新,寇金梅,李宏伟. 模糊评判方法在土壤肥力综合评价中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3): 56-59.
- [5] 江彬,毕银丽,申慧慧,等. 氮营养与AM真菌协同对玉米生长及土壤肥力的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(2): 327-332.
- [6] 李超,李文峰. 高原耕地土壤养分空间分布与影响因子相关性研究[J]. 土壤通报, 2014, 45(5): 1113-1118.
- [7] 张彬,杨联安,杨粉莉,等. 苹果主产区土壤养分空间分布特征及其影响因素——以陕西省礼泉县为例[J]. 土壤, 2016, 48(4): 777-784.
- [8] 黄艺,黄红燕,刘昔辉,等. 不同连作年限桑园土壤肥力变化及其与桑叶产量的关系[J]. 南方农业学报, 2017, 48(4): 628-632.
- [9] 夏礼如,李岩,孟力力. 江苏设施蔬菜产业发展主要风险因子分析及应对措施[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 332-333.
- [10] CHEN D, LAN Z, HU S, et al. Effects of nitrogen enrichment on belowground communities in grassland: Relative role of soil nitrogen availability vs. soil acidification[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 89: 99-108.
- [11] 缪进,马夏彬,温天彩. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 现代农业科技, 2016(14): 189.
- [12] 吕小娜,庞凤,李廷轩,等. 四川省凉山州新植烟区土壤养分状况分析及综合评价[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 691-697.
- [13] 王建宇,王超,王菲,等. 基于田间尺度的压砂地土壤肥力评价[J]. 土壤通报, 2015, 46(1): 36-41.
- [14] 李小刚,马友华,王强,等. 县域耕地土壤养分的时空变化及区域施肥研究——以肥东县为例[J]. 土壤, 2014, 46(6): 976-983.
- [15] 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.
- [16] 肖辉,潘洁,程文娟,等. 不同有机肥对设施土壤全盐累积与pH值变化的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2): 248-252.
- [17] 汤宏,张杨珠,侯金权,等. 不同施肥条件下夏季辣椒的生长发育与养分吸收规律研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 890-895.
- [18] 刘彬,王孝忠,管西林,等. 膜下滴灌条件下温室秋延辣椒养分吸收及分配规律[J]. 中国蔬菜, 2017(5): 50-57.
- [19] 贾宋楠,范凤翠,刘胜尧,等. 施肥量对温室滴灌番茄干物质累积、产量及水肥利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(5): 21-29.
- [20] 李银坤,郭文忠,薛绪掌,等. 不同灌溉施肥模式对温室番茄产量、品质及水肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3757-3765.
- [21] 王秀康,邢英英,张富仓. 膜下滴灌施肥番茄水肥供应量的优化研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1): 141-150.
- [22] 薛红霞,何江华. 广东省耕地分等中的土壤肥力评价指标体系[J]. 生态环境学报, 2004, 13(3): 461-462.
- [23] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. GIS支持下乡镇域土壤肥力评价与分析[J]. 生态环境学报, 2000, 9(2): 99-102.
- [24] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 生态环境学报, 2002, 11(2): 202-205.
- [25] 包耀贤,徐明岗,吕粉桃,等. 长期施肥下土壤肥力变化的评价方法[J]. 中国农业科学, 2012, 45(20): 4197-4204.

(责任编辑:陈海霞)