

基于养分丰缺诊断和主成分分析相结合的 桑园土壤肥力评价^①

许仙菊¹, 马洪波¹, 陈杰¹, 张永春^{1*}, 陈斌², 丁华萍², 钱钧²,
罗春燕³, 孙慧斌⁴, 顾用群⁴

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2 江苏省海安县土壤肥料技术指导站, 江苏海安 226600;

3 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066; 4 江苏省海安县蚕种场, 江苏海安 226634)

摘要: 如何客观地评价桑园土壤肥力和诊断其限制因子是桑园合理施肥的依据。本研究以海安县为研究区域, 以田块尺度为评价单元, 采集 25 个代表性桑园的表层(0~20 cm)和亚表层(20~40 cm)土样, 并分析 14 个土壤肥力指标, 运用养分丰缺诊断和主成分分析相结合的方法, 对该区域桑园土壤肥力进行了评价。养分丰缺诊断结果表明: 调查点桑园土壤肥力整体较高, 表层土壤肥力高于亚表层, 但不同桑园之间肥力变异很大, 部分桑园有机质、氮、钾较为缺乏, 个别桑园磷、镁、锰、锌、钙出现缺乏。采用主成分分析的方法, 将 14 个土壤肥力指标提取为 4 个主成分, 可反映桑园土壤全部信息的 84.88%。第 1 主成分为养分综合因子, 贡献率为 44.41%; 第 2 主成分为 pH 因子, 贡献率为 24.03%; 第 3 主成分和第 4 主成分主要反映了锌的正负效应, 贡献率分别为 8.92% 和 7.52%。将 25 个桑园聚为 4 类, 每一类代表不同的土壤肥力状况。基于养分丰缺诊断和主成分分析相结合的方法, 可较为全面评价桑园土壤肥力状况。

关键词: 土壤肥力; 主成分分析法; 养分分级指标; 桑园

中图分类号: S155.4

土壤肥力高低直接影响作物的生长。如何科学、合理、实用地评价土壤肥力在指导农业生产中显得尤为重要^[1]。评价土壤肥力的方法有很多, 如平均值法、加权平均法、聚类分析法、因子加权综合法、内梅罗综合指数法等^[1-4]。土壤肥力评价指标也是多种多样的, 包括物理的、化学的和生物的, 各个指标的测定值会受到取样和分析技术的影响^[5]。由于指标的选择、取样方法、测定技术、评价方法的差异, 经常得到不同的土壤肥力评价结果, 所以不知道应该怎么选择这些评价结果为农业生产服务。因此, 需要建立一套合理的、规范的土壤肥力评价体系来为农业服务部门和土地管理机构服务。

土壤肥力是一个多因子构成的复杂体系, 且这些因子之间存在或多或少的相关性。主成分分析方法可以对多个因子进行降维分析, 抽取主成分, 并赋予不同主成分不同的得分, 被用于多指标体系的综合评价。主成分分析常用于土壤综合质量^[6-7]、土壤肥力质量^[4,8]、土地利用生态^[9]等方面的评价。虽然主成分分析在土壤肥力评价上已有应用, 但这些研究大都仅

仅对所调查的肥力指标进行主成分分析, 而没有将主成分分析的结果与实践相联系, 所以缺少对主成分分析结果可靠性的评价。生物量或产量是反映土壤肥力最直接的指标, 但是由于测定生物量和产量需要田间试验, 所以实际中经常采用建立的养分分级标准, 来判断土壤养分的丰缺和评价土壤肥力。

海安县地处江苏省东部的苏中地区, 是全国著名的“茧丝绸之乡”。桑园土壤为桑树生长提供必需营养和水分, 桑园土壤质量的好坏直接关系到桑叶产量和蚕茧的数量和质量, 其中土壤肥力是土壤质量的本质属性。目前已有一些对江苏省部分蚕区桑园土壤有效微量元素含量和土壤肥力的调查报道^[10-11], 但是这些报道只是对少数肥力指标进行了调查, 且调查结果没有系统地与桑园土壤养分分级指标进行比较, 更没有利用统计学的原理进行分析评价, 因此难以给出确切合理的桑园施肥建议。本研究以海安县为调查区域, 调查了 25 个代表性桑园的表层和亚表层土样, 分析了与肥力有关的一些指标, 并将养分丰缺诊断方法和主成分分析方法相结合, 对海安县桑园土

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-22-ZJ0307)资助。

* 通讯作者 (yczhang66@sina.com)

作者简介: 许仙菊(1976—), 女, 山西绛县人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤质量和农业面源污染方面研究。E-mail: xuxianju76@163.com

壤肥力进行了评价, 以期为指导桑园施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域为海安县, 县域地理坐标位于 32°32′ ~ 32°43′ N, 120°12′ ~ 120°53′ E。海安县属北亚热带海洋季风性湿润气候区, 年平均气温 14.5℃; 七八月最热, 平均 27℃。年均降水 1 025 mm, 79% 的年份在 800 mm 以上; 夏季降水最多, 占全年的 47%, 冬季最少, 占 9%。土壤类型有沿江、沿海潮土及潮盐土、里下河水稻土等。

1.2 样品的采集与分析

在江苏省海安县选择主要土壤类型和不同肥力水平的 25 个代表性桑园进行调查, 并用 GPS 定位, 每个样点分表层(0 ~ 20 cm)和亚表层(20 ~ 40 cm)2 个层次, 进行多点“S”型混合采集土样样品共 50 个。采样时间是 2010 年 6 月 28 日至 7 月 4 日, 六七月是桑树的夏伐期, 也是夏肥期, 土壤取样都是在夏伐后、施肥前进行的。样品采集后及时摊开、风干, 并研磨分别过 1 mm 和 0.149 mm 筛, 以备分析。

土壤理化性质分析参照参考文献[12]。pH 按 1:1 水土比, 用 pH 计测定; 电导率按 2.5:1 水土比, 用电导率仪测定; 盐分含量根据电导率, 用经验公式换算; 有机质用 K₂Cr₂O₇-H₂SO₄ 容量法测定, 速效钾、交换性钠采用 1 mol/L 中性醋酸铵浸提-火焰光度法(FP640 型火焰光度计)测定, Olsen-P 用 0.5 mol/L (pH 8.5) NaHCO₃ 溶液浸提-钼锑抗比色法(755b 型分光光度计)测定; 交换性钙、镁用 NH₄OAc 浸提后, 原子吸收法(仪器型号: Perkin Elmer AA700)测定; 微量元素(Cu、Fe、Zn、Mn)经 DTPA 浸提后, 用原子吸收法(仪器型号: Perkin Elmer AA700)测定。

1.3 桑园土壤养分分级指标

桑园土壤养分分级指标见表 1。

1.4 数据处理

数据计算与分析用 SPSS 17.0 统计软件的描述统计(descriptive statistics)进行平均值、标准差分析。主成分分析利用 SPSS 17.0 软件的因子分析(factor analysis)进行。

2 结果与分析

2.1 桑园土壤肥力的丰缺诊断

首先对所调查的 25 个桑园土壤肥力状况进行了整体评价(表 2)。从平均值可以看出, 除 pH、钙、镁外, 其他指标在表层土壤(0 ~ 20 cm)的值均高于亚表

表 1 桑园土壤养分分级指标^[13]

Table 1 Classification indices of soil nutrients in mulberry orchard

项目	极缺	缺乏	适量	高量	过量
pH	<4.5		6.5 ~ 7.5		>9.5
有机质(g/kg)	<5	5 ~ 15	15 ~ 30	>30	
碱解氮(mg/kg)	<50	50 ~ 100	100 ~ 200	>200	
Olsen-P(P ₂ O ₅ , mg/kg)	<5	5 ~ 15	15 ~ 80	>80	
速效钾(K ₂ O, mg/kg)	<50	50 ~ 100	100 ~ 200	>200	
交换性钠(mg/kg)	-	-	-	-	-
电导率(dS/m) ^[14]	<2	2 ~ 4	4 ~ 8	8 ~ 16	>16
盐分含量(g/kg) ^[14]	<1.0	1.0 ~ 3.0	3.0 ~ 5.0	5.0 ~ 10.0	>10.0
有效钙(g/kg)	<0.2	0.2 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0	>3.0
有效镁(g/kg)	<0.08	0.08 ~ 0.15	0.15 ~ 0.30	0.30 ~ 0.50	>0.50
有效铁(mg/kg)	<5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 50	>50
有效锰(mg/kg)	<2	2 ~ 5	5 ~ 20	20 ~ 50	>50
有效铜(mg/kg)	<0.3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	>2.0
有效锌(mg/kg)	<0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 5.0	5.0 ~ 10.0	>10.0

注: 极缺、缺乏、适量、高量、过量主要指养分指标, 对于 pH 适用偏酸、适量和偏碱评价, 对于电导率和盐分含量适用非盐渍化土壤、盐渍化土、中度盐土、重盐土和极重盐土来评价。

层(20 ~ 40 cm), 表层 pH 和有效钙含量略低于亚表层, 有效镁含量在表层和亚表层相近。这与前人^[11]在江苏桑园上的调查结果相一致, 说明桑园土壤养分主要集中在表层。

桑园表层土壤平均值(表 2)与桑园土壤养分分级指标相比(表 1), 被调查桑园表层土壤 pH、有机质、碱解氮、有效钙、镁、锰、锌处于适宜水平, 而 Olsen-P、速效钾、有效铜含量过高, 有效铁含量较高, 电导率、盐分含量较低。说明被调查桑园表层土壤肥力水平整体上处于适宜甚至较高水平, 没有酸化和盐渍化现象发生。

但是从表 2 也可以看出, 土壤各养分指标的标准误差较大, 最大值与最小值之间相差几倍到几十倍。说明不同桑园之间土壤肥力特征差异较大, 不能笼统地总结为桑园土壤肥力水平较高, 需对不同肥力因子进一步细分 25 个被调查桑园土壤肥力指标的具体分布情况。表 3 结果也表明多数桑园的大部分肥力指标处于适宜、高量、甚至过量情况, 但也有少数地块的少许肥力指标处于缺乏、甚至极缺状况。据表 3 可将其肥力特征大致分为 3 类: 较严重缺乏指标: 有机质、碱解氮、速效钾, 这些指标在较多桑园上缺乏; 个别缺乏指标: Olsen-P、有效镁、锰、锌、钙, 这些指标在个别桑园上缺乏; 过量指标: 有效铁和

表 2 被调查桑园土壤养分整体状况
Table 2 Status of soil fertility in mulberry orchard investigated

项目	n	0 ~ 20 cm				20 ~ 40 cm			
		平均值	标准误差	最小值	最大值	平均值	标准误差	最小值	最大值
pH	25	7.56	0.12	5.87	8.21	7.86	0.08	7.02	8.46
有机质(g/kg)	25	18.10	1.60	8.20	44.40	12.25	1.55	3.00	31.10
碱解氮(mg/kg)	25	128.48	10.31	23.87	267.96	77.32	10.18	16.94	255.64
Olsen-P(mg/kg)	25	85.53	74.97	5.67	303.37	36.20	56.83	5.00	262.34
速效钾(mg/kg)	25	257.61	54.07	41.30	1 003.60	205.02	40.76	35.40	794.40
电导率(μS/cm)	25	257.22	24.89	95.00	448.00	248.36	22.04	86.00	411.00
盐分含量(g/kg)	25	0.70	0.06	0.32	1.15	0.68	0.05	0.30	1.07
交换性钠(mg/kg)	25	111.53	18.07	13.18	391.45	102.51	13.84	17.20	230.48
有效钙(g/kg)	25	1.65	0.08	0.84	2.93	1.80	0.09	0.99	2.92
有效镁(g/kg)	25	0.20	0.01	0.10	0.33	0.20	0.01	0.09	0.34
有效铁(mg/kg)	25	33.26	3.81	12.70	83.20	18.66	2.38	6.82	57.60
有效锰(mg/kg)	25	9.26	1.64	3.47	42.80	6.31	0.69	2.32	17.76
有效铜(mg/kg)	25	2.35	0.21	0.90	4.78	1.70	0.31	0.53	8.55
有效锌(mg/kg)	25	3.10	0.53	0.80	11.98	1.04	0.30	0.12	7.18

表 3 被调查桑园土壤肥力指标分布情况(%)
Table 3 Distribution of soil nutrients in mulberry orchard investigated

项目	极缺	缺乏	适量	高量	过量
pH	8	0	32	0	60
有机质	0	44	52	4	—
碱解氮	4	24	68	4	—
Olsen-P	0	20	36	44	—
速效钾	8	24	36	32	0
交换性钠	—	—	—	—	—
电导率	40	40	20	0	0
盐分含量	76	24	0	0	0
有效钙	0	8	84	8	0
有效镁	0	24	72	4	0
有效铁	0	0	24	64	12
有效锰	0	20	72	8	0
有效铜	0	0	12	24	64
有效锌	0	20	68	8	4

有效铜,这两个指标在许多桑园甚至高量和过量。因此,从区域特征来看,目前江苏省海安县桑园土壤肥力调控的重点仍是补充有机肥,适当增施氮钾肥,中微量元素一般不缺,个别金属元素甚至过高,有可能对桑树生长产生毒害。

2.2 桑园土壤肥力状况的主成分分析

通过对桑园土壤养分指标的丰缺诊断可以看出桑园土壤肥力的整体特征,也可以诊断出其限制因子。然而经常需要针对不同地块土壤肥力状况进行分类或分级,对诸多土壤肥力因子进行区分和归纳。由于

影响土壤肥力的因素很多,且诸因素间存在一定的相关性,致使反映土壤肥力状况的若干指标信息发生大部分重叠。主成分分析方法可在复杂的土壤肥力指标体系中筛选出若干个彼此不相关的综合性指标,这些综合指标能反映出原来全部指标所提供的大部分信息^[15]。因此,本文选取桑园表层土壤的 pH、有机质、碱解氮、Olsen-P、速效钾、交换性钠、有效钙、有效镁、电导率、盐分含量、有效铁、有效锰、有效铜和有效锌 14 个因子(下文图表及文中依次用 $X_1, X_2, X_3, X_4, \cdots, X_{14}$ 表示),运用主成分分析对桑园土壤肥力进行了评价。

为避免计算结果受变量量纲和数量级不同的影响,保证其客观性和科学性,需先对原始数据矩阵进行标准化处理,再得出各指标的相关系数结果(表 4),这一步由 SPSS 软件自动完成。土壤肥力的多个指标之间表现出显著或极显著相关性(表 4),说明这些土壤肥力评价指标存在大量的重叠信息,从而表明采用主成分分析进行土壤肥力评价的可行性和必要性。

进一步求出矩阵的特征值、特征向量、贡献率和累积贡献率(表 5)。根据特征值 ≥ 1 的原则,提取了 4 个主成分。由表 5 可以看出,第 1 主成分对于总方差的贡献率是 44.41%,第 2 主成分对于总方差的贡献率是 24.03%,第 3 主成分对于总方差的贡献率是 8.92%,第 4 主成分对于总方差的贡献率是 7.52%,四者之和约 85%,即前 4 个主成分能把土壤全部肥力指标提供信息的 85% 反映出来。

表 4 各指标的相关系数矩阵
Table 4 Correlation coefficient matrix of indices

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
X_1	1	-0.270	-0.058	-0.182	0.024	-0.423*	-0.423*	-0.913**	-0.821**	-0.544*	-0.057	0.141	0.678**	-0.187
X_2		1	0.760**	0.785**	0.632**	0.661**	0.661**	0.251	0.118	0.681**	0.362	0.449*	-0.054	0.743**
X_3			1	0.695**	0.593**	0.415*	0.415*	0.146	-0.240	0.501*	0.331	0.480*	-0.039	0.547**
X_4				1	0.846**	0.620**	0.621**	0.095	0.018	0.633**	0.563**	0.644**	0.041	0.536**
X_5					1	0.583*	0.584*	-0.028	-0.061	0.495*	0.420*	0.856**	0.211	0.568**
X_6						1	1.000	0.316	0.324	0.665**	0.208	0.568**	-0.011	0.696**
X_7							1	0.316	0.324	0.666**	0.208	0.568**	-0.011	0.696**
X_8								1	0.805**	0.505**	-0.041	-0.068	-0.543**	0.253
X_9									1	0.432*	0.097	-0.054	-0.297	0.134
X_{10}										1	0.440*	0.387	-0.275	0.679**
X_{11}											1	0.325	0.047	0.167
X_{12}												1	0.464*	0.505**
X_{13}													1	0.053
X_{14}														1

注: $n = 23$, $r_{0.05} = 0.396$, $r_{0.01} = 0.505$; * 表在 $P < 0.05$ 水平显著相关; ** 表示在 $P < 0.01$ 水平极显著相关。

表 5 主成分分析表
Table 5 Results of principal component analysis

项目	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
X_1	-0.404	0.895	0.026	-0.022
X_2	0.863	0.069	-0.142	-0.257
X_3	0.703	0.265	-0.336	-0.433
X_4	0.861	0.242	-0.281	0.076
X_5	0.788	0.417	-0.058	0.159
X_6	0.686	0.494	0.219	0.265
X_7	-0.039	0.720	0.437	0.316
X_8	0.658	0.185	0.338	-0.394
X_9	0.857	-0.089	0.351	0.054
X_{10}	0.843	-0.09	0.364	0.02
X_{11}	0.381	-0.839	0.051	-0.056
X_{12}	0.277	-0.797	0.19	0.414
X_{13}	0.826	-0.281	-0.131	0.038
X_{14}	0.446	0.159	-0.606	0.513
特征值	6.217	3.364	1.248	1.053
贡献率(%)	44.41	24.03	8.92	7.52
累积贡献率(%)	44.41	68.44	77.36	84.88

由表 5 可以看出,在第 1 主成分上,有机质、碱解氮、Olsen-P、速效钾、电导率、盐分、有效铜有较大的正值。在第 2 主成分上,土壤 pH 和有效钙有较大的正值,有效铁和锰有较大的负值。第 3 主成分上有效锌有较大的负值,第 4 主成分上有效锌有较大的正值。

主成分是原 p 个指标的线性组合,各指标的权数为特征向量 r_{ij} ;它能代表各单项指标对于主成分的重

要程度并决定了该主成分的实际意义。根据主成分计算公式,可得到 4 个主成分与原 14 项指标的线性组合如下:

$$\begin{aligned} Z_1 = & -0.404X_1 + 0.863X_2 + 0.703X_3 + 0.861X_4 + \\ & 0.788X_5 + 0.686X_6 - 0.039X_7 + 0.658X_8 + \\ & 0.857X_9 + 0.843X_{10} + 0.381X_{11} + 0.277X_{12} \\ & 0.826X_{13} + 0.446X_{14} \\ Z_2 = & 0.895X_1 + 0.069X_2 + 0.265X_3 + 0.242X_4 + \\ & 0.417X_5 + 0.494X_6 + 0.72X_7 + 0.185X_8 - \end{aligned}$$

(1)

$$0.089X_9 - 0.09X_{10} - 0.839X_{11} - 0.797X_{12} - 0.281X_{13} + 0.159X_{14} \quad (2)$$
$$Z_3 = 0.026X_1 - 0.142X_2 - 0.336X_3 - 0.281X_4 - 0.058X_5 + 0.219X_6 + 0.437X_7 + 0.338X_8 + 0.351X_9 + 0.364X_{10} + 0.051X_{11} + 0.19X_{12} - 0.131X_{13} - 0.606X_{14} \quad (3)$$
$$Z_4 = -0.022X_1 - 0.257X_2 - 0.433X_3 + 0.076X_4 + 0.159X_5 + 0.265X_6 + 0.316X_7 - 0.394X_8 + 0.054X_9 + 0.02X_{10} - 0.056X_{11} + 0.414X_{12} + 0.038X_{13} + 0.513X_{14} \quad (4)$$

把标准化的数据代入(1)~(4)式,可得到 25 个被调查点分别在 4 个主成分上的得分。再根据 $F = \sum b_j Z_j = b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + \cdots + b_k Z_k$,得 $F = 0.444 1Z_1 + 0.240 3Z_2 + 0.089 2Z_3 + 0.075 2Z_4$,从而求得综合得分 F 。表 6 是各个主成分的得分及综合得分。

表 6 各主成分得分及综合得分
Table 6 Scores and general scores of principal components of different mulberry orchards investigated

被调查点	F_1	F_2	F_3	F_4	F	排序	等级
1	-0.84	0.932	2.294	1.569	0.173	8	三等
2	2.343	0.904	-1.036	-0.668	1.115	1	一等
3	1.217	0.641	0.857	-0.349	0.745	3	二等
4	-0.142	1.019	2.007	0.91	0.429	5	三等
5	1.433	0.352	-0.145	0.237	0.726	4	二等
6	0.186	-0.124	0.576	-0.797	0.044	12	三等
7	0.158	0.406	-0.15	-0.305	0.131	9	三等
8	0.062	-2.373	-1.058	0.173	-0.624	25	四等
9	1.699	1.183	-0.894	1.791	1.094	2	一等
10	-0.718	0.624	-2.462	2.433	-0.205	15	四等
11	-1.27	0.128	-0.131	-0.125	-0.554	22	四等
12	-1.43	0.349	0.116	0.195	-0.526	21	四等
13	-0.666	-0.536	-0.832	-0.782	-0.558	23	四等
14	-1.352	0.133	-0.454	0.008	-0.608	24	四等
15	-0.818	-0.058	-0.14	0.198	-0.375	19	四等
16	-0.953	0.487	-0.31	-0.482	-0.37	18	四等
17	-0.376	0.082	-0.689	-0.033	-0.211	16	四等
18	0.249	-1.118	0.228	-0.876	-0.204	14	四等
19	-0.78	-0.185	-0.51	-1.174	-0.525	20	四等
20	0.279	0.553	0.843	-0.297	0.31	6	三等
21	0.28	0.267	0.453	-1.48	0.118	10	三等
22	1.023	-0.559	0.243	-0.71	0.288	7	三等
23	-0.739	0.163	0.233	-0.852	-0.332	17	四等
24	0.418	-0.037	-0.302	-0.433	0.117	11	三等
25	0.738	-3.232	1.263	1.85	-0.197	13	四等

2.3 土壤肥力等级的聚类分析结果

各被调查点土壤肥力状况排列顺序为 2>9>3>5>4>...>8(表 6)。这些排序对于土地的分等定级和施肥指导均有重要意义。以各被调查点的综合得分(表 6)

作为评价其肥力的新指标,以欧式距离作为衡量各被调查点肥力差异大小的依据,采用最短距离法对各处理进行系统聚类^[15](图 1)。将 25 个桑园被调查点归为四类,第一类为 2 号和 9 号;第二类为 3 号和 5 号;第三类 1、4、6、7、20、21、22 和 24 号;第四类为 10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、23 和 25 号。

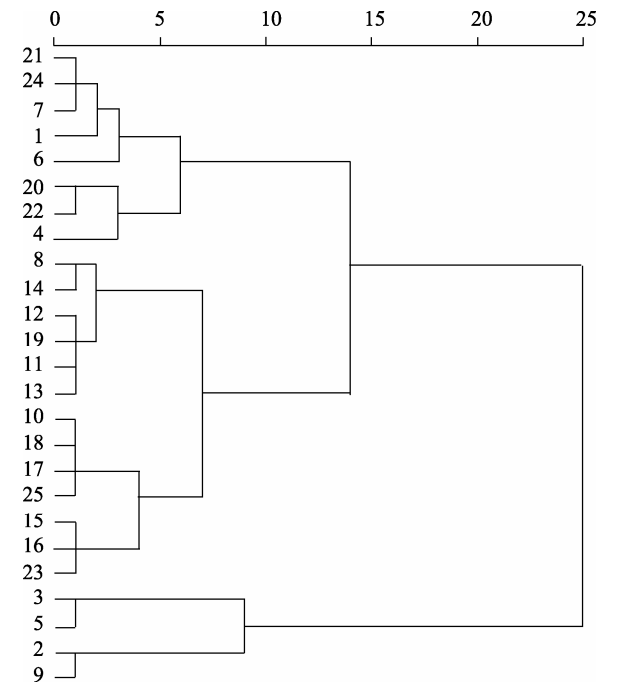


图 1 被调查桑园土壤肥力综合评价得分聚类图
Fig. 1 Classification of mulberry orchards investigated based on soil fertility

3 讨论

本研究表明海安县桑园土壤肥力整体较高,但是不同桑园的不同土壤肥力指标之间差别也较大。多数桑园土壤的有机质、氮、钾缺乏,而磷仅在少数桑园土壤缺乏,接近一半的桑园土壤磷含量过高,最高的 Olsen-P 含量达 300 mg/kg,这么高的土壤磷含量可能会对周边环境造成风险^[16]。也有一些报道认为,江苏省桑园土壤有机质供应大部分地区不足,磷总体供应不足,而钾总体较为充足^[11]。陈学根和韦巧珍^[17]对江苏沿海桑园土壤肥力研究表明沿海桑园土壤钾素含量较高,而氮磷含量低。本研究与上述报道不完全一致。可能是近几年来,农民加大了磷肥的施用,而忽略了钾肥的施用。而磷不易移动,且当季利用率低,所以施用的磷肥容易富集于土壤。相反,一些地区由于不重视钾肥的施用,导致了一些桑园钾的缺

乏。钾在不同桑园之间差异很大,有些桑园速效钾含量可以达到 1 000 mg/kg(表 2),约 1/3 的桑园钾处于高量状态(表 3)。对于磷钾肥,桑园测土施肥显得尤为重要;对于氮肥,每年都要适量施用,有机肥也需要加大补充。

本研究表明,钙、镁、锌、锰在江苏省海安县个别桑园缺乏,铁、铜大部分桑园不缺,甚至过高。前人对江苏省如东县桑园土壤调查结果表明,铁、锰、铜处于中上等水平,而锌低于临界值^[10]。王波等^[11]通过对江苏不同地区 36 个桑园调查结果表明,桑园土壤锰、铜供应尚可,而铁、锌可能缺乏。总之推测锌在江苏省桑园缺乏的范围较大,而其他中微量元素一般不缺。

本文通过主成分分析,将 14 个土壤肥力指标归纳为 4 个综合指标。主成分 1 包括有机质、碱解氮、Olsen-P、速效钾、电导率、盐分含量、有效铜等,统称为养分综合因子。该主成分实质上是对土壤供给作物营养元素能力大小的整体体现。

主成分 2 包括 pH、有效钙、铁、锰。土壤 pH 是土壤酸碱性的一个重要指标之一,土壤酸碱度对养分的有效性影响也很大。如石灰性土壤 pH 较高,钙含量较高,而酸性土壤 pH 较低,铝、铁、锰含量较高,进而证明该主成分分析是可靠的。因此将第二主成分称为 pH 因子。主成分 3 和 4 主要指锌,表明锌元素是独立于其他金属元素的一个因子。其中第 3 主成分有较大的负值,第 4 主成分有较大的正值,将分别称之为锌负因子和锌正因子,这可能与锌在土壤中的化学性质不同于其他金属元素有关。适量的锌对植物有利,但过量的锌会抑制植物生长。第 3 主成分主要体现了锌的毒害作用,第 4 主成分体现了锌的有益性。第 3 主成分和第 4 主成分贡献率也很接近,表明锌的正负作用对桑树的影响贡献大体一致,进一步验证了上述主成分分析的可靠性。

4 结论

(1) 调查点桑园土壤肥力整体较高,表层土壤肥力高于亚表层,但不同桑园之间肥力变异很大,部分桑园有机质、氮、钾较为缺乏,个别桑园磷、镁、锰、锌、钙出现缺乏,铁和铜不缺、甚至过高。

(2) 14 个土壤肥力指标提取为 4 个主成分,可反映桑园土壤全部信息的 84.88%,其中第 1 主成分为养分综合因子,贡献率为 44.41%,第 2 主成分为 pH 因子,贡献率为 24.03%;第 3 主成分和第 4 主成分主要反映了锌的正负效应,贡献率分别为 8.92% 和

7.52%。

(3) 25 个调查桑园可聚为四类,每一类代表不同的土壤肥力状况。

(4) 土壤肥力的常规诊断方法和主成分分析方法各有优缺点。常规诊断方法可以细致地诊断出某一个肥力限制因子,给出具体的施肥指导;主成分分析方法可从复杂的土壤肥力因素中提炼出综合规律,可较宏观地比较不同桑园地块土壤肥力的差异,如能将二者结合起来进行土壤肥力评价,得到的结果会更客观和细致。该评价体系对于其他农田类型土壤肥力的评价也有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202-205
- [2] 王建国,杨林章,单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 176-183
- [3] Yemefack M, Jetten VG, Rossiter DG. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86: 84-98
- [4] 陈留美,桂林国,吕家珑,王重光,李政中,王增,孙榕. 应用主成分分析和聚类分析评价不同施肥处理条件下新垦淡灰钙土土壤肥力质量[J]. 土壤, 2008, 40(6): 971-975
- [5] 郑立臣,宇万太,马强,王永宝. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 156-161
- [6] 陈吉,赵炳梓,张佳宝,沈林林,王芳,钦绳武. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2010, 42(3): 415-420
- [7] 梁淑敏,谢瑞芝,李朝苏,杨锦忠,李朝苏,王灵便,吴春,李少昆. 成都平原不同耕作模式的农田效应研究——土壤综合质量评价[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 738-744
- [8] 聂艳,周勇,于婧,何佑勇. 土壤基础生态位适宜度模型在耕地土壤肥力综合评价中的应用[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 223-227
- [9] 张杰,陈立新,寇士伟,乔璐,黄兰英. 大庆地区不同利用方式下土壤盐碱化特征分析及评价[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 171-175, 179
- [10] 赵学锋,王波,李树德,曹石贵,吴健. 如东县桑园土壤有效态微量元素含量的调查[J]. 江苏蚕业, 1994(1): 16-19
- [11] 王波,陆小平,丁悦. 江苏省种茧育桑园土壤肥力状况调查[J]. 蚕业科学, 2003, 29(3): 303-307

- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [13] 鲁剑巍, 熊建平, 陈防, 徐有海, 万运帆, 刘冬碧, 张竹青, 余常兵. 湖北省桑园养分状况研究 I .土壤养分含量及丰缺分级[J]. 湖北农业科学, 2003(6): 45-49
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 183-187
- [15] 区靖祥, 邱建德. 多元数据的统计分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002: 63-79
- [16] Liang LZ, Shen RF, Yi XY, Zhao XQ, Chen ZC, Chen RF, Dong XY. The phosphorus requirement of *Amaranthus mangostanus* L. exceeds the 'change point' of P loss[J]. Soil Use and Management, 2009, 25(2): 152-158
- [17] 陈学根, 韦巧珍. 江苏沿海桑园土壤肥力特性研究[J]. 土壤, 1998, 30(5): 280-280

Assessment of Soil Fertility of Mulberry Orchards Based on Combined Soil Nutrient Grades and Main Component Analysis

XU Xian-ju¹, MA Hong-bo¹, CHEN Jie¹, ZHANG Yong-chun^{1*}, CHEN Bin², DING Hua-ping²,
QIAN Jun², LUO Chun-yan³, SUN Hui-bin⁴, GU Yong-qun⁴

(1 Institute of Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2 Soil and Fertilizer Technology Guidance Station, Hai'an, Jiangsu 226600, China; 3 Soil and Fertilizer Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 4 Silkworm Egg Production Farm of Hai'an, Jiangsu, Hai'an, Jiangsu 226634, China)

Abstract: Soil fertility is synthetically expressed by various soil factors and can greatly affect the yield and quality of crops. Identifying soil fertility and the limiting factors are the basis of fertilizer application in mulberry orchard. In this study, 14 soil fertility indexes were analyzed from 50 soil samples from 25 mulberry orchards in Hai'an County of Jiangsu Province, and then soil fertility was assessed by using the combining method of soil fertility grade and main component analysis. The results showed that soil fertility was high generally in the investigated orchards and the fertility of top layer (0 – 20 cm) was higher than that of lower (20 – 40 cm). However, considerable differences in soil fertility existed among different orchards, organic matter, nitrogen and potassium were partially deficient, phosphorus, magnesium, manganese and zinc were deficient only in several orchards, but iron and copper were higher in all orchards. Four main components were isolated and they reflected about 85% of all soil information of orchard, and the first main component was integrative nutrient factor, contributing to 44.41%; the second main component was pH factor, contributing to 24.03%; the third and fourth main component were related to the negative and positive function of zinc, contributing to 8.92% and 7.52%, respectively. Furthermore, the total 25 orchards were classified into four varieties representing different fertility conditions. These results suggested that the method of soil nutrient grades was detailed but the method of main component analysis was integrative, they were complementary and their combination could better assess soil fertility of mulberry orchard.

Key words: Soil fertility, Main component analysis, Nutrient grade indices, Mulberry orchard