

中国三大薯区土壤养分状况及土壤肥力质量评价

许仙菊¹, 张永春^{1*}, 汪吉东¹, 张 辉¹, 唐忠厚², 张爱君², 李 欢³, 刘 庆³

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 农业农村部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014; 2. 江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 江苏 徐州 221121; 3. 青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 客观评价薯区农田土壤肥力是甘薯合理施肥的依据。以长江中下游薯区、北方薯区和南方薯区为研究区域, 分析了 2009 ~ 2015 年采集的 1245 个表层土壤样品肥力指标, 采用传统统计法和改进后的内梅罗综合指数法相结合的方法对中国 3 大薯区表层土壤肥力质量进行了评价。结果表明: (1) 北方薯区土壤 pH 接近中性, 河北和河南土壤 pH 偏碱, 安徽和山东土壤 pH 偏酸; 长江中下游薯区和南方薯区土壤整体偏酸, 其中湖南、江西和浙江薯区土壤 pH 已接近于 4.5, 酸化较为严重。(2) 南方薯区土壤有机质含量 (16.9 ~ 21.9 g/kg) 处于较丰富水平, 长江中下游薯区 (10.5 ~ 21.1 g/kg) 次之, 北方薯区 (8.45 ~ 21.1 g/kg) 相对较低, 其中河北和山东土壤有机质含量低于 10 g/kg, 处于缺乏水平。(3) 对于土壤碱解氮含量, 长江中下游薯区 (96.8 ~ 185.1 mg/kg) 和南方薯区 (113.0 ~ 135.0 mg/kg) 整体处于较丰富水平, 而北方薯区 (56.5 ~ 97.8 mg/kg) 整体适量, 其中河北和山西两省土壤碱解氮含量低于 60 mg/kg, 处于缺乏水平;(4) 中国 3 大薯区土壤有效磷含量整体处于较丰富水平, 长江中下游薯区 (8.89 ~ 31.0 mg/kg) 和北方薯区 (9.61 ~ 24.3 mg/kg) 土壤有效磷含量处于较丰富水平, 南方薯区 (14.8 ~ 40.7 mg/kg) 处于丰富水平;(5) 中国 3 大薯区土壤速效钾含量整体处于适量水平, 长江中下游薯区 (84.79 ~ 125.0 mg/kg) 和北方薯区 (75.2 ~ 170.4 mg/kg) 土壤速效钾含量处于较丰富水平, 南方薯区 (57.0 ~ 117.0 mg/kg) 处于适量水平, 其中广东土壤速效钾含量最低, 为 57.0 mg/kg, 陕西土壤速效钾含量最高, 为 170.4 mg/kg;(6) 中国 3 大薯区的土壤内梅罗指数均低于 1.8, 属于三级水平, 土壤肥力质量水平一般, 南方薯区土壤肥力质量相对较高。上述基于传统统计法和内梅罗综合指数法相结合的方法, 较为全面地评价了中国薯区土壤肥力状况, 为有针对性地指导我国甘薯施肥提供了参考。

关键词: 土壤肥力; 甘薯; 评价方法; 养分分级指标

土壤肥力是土壤为植物生长提供和协调营养条件和环境条件的能力, 是土壤生产力的基础。土壤肥力高低直接影响作物的生长、产量、农产品品质以及农业可持续发展等^[1]。科学、合理、实用地评价土壤肥力水平对指导农田施肥具有重要意义。目前国内外评价土壤肥力水平的方法有很多, 如模糊数学法、平均值法、加权平均法、内梅罗综合指数法、主成分分析和聚类分析等^[2-10]。有些土壤肥力评价方法受人为主观因素影响较大, 不同专家有不同的认识, 专家的知识领域、经验、水平等存在

各种差异; 采用改进后的内梅罗指数法评价土壤肥力, 可以最大程度地减少人为的主观性^[11]。另外, 土壤肥力评价指标包括物理、化学和生物等多类指标, 各个指标的测定值会受到取样和分析技术的影响^[9]。指标的选择、取样方法、测定技术、评价方法的差异经常导致不同的土壤肥力评价结果。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。

我国是主要的甘薯生产国, 2011 年甘薯年产量达 7560 万 t, 占世界甘薯产量的 76.1%。甘薯在我国粮食作物中排名第 4^[12], 但目前对于我国主要薯区土壤养分状况和土壤肥力质量缺乏整体认识和系统了解。本研究以中国 3 大薯区 (长江中下游薯区、北方薯区和南方薯区) 为研究区域, 以田块为评价单元, 2009 ~ 2015 年对这些薯区进行了土

收稿日期: 2020-05-28; 录用日期: 2020-06-20

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 [CX (20) 3083]; 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-10-B9)。

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

通讯作者: 张永春, E-mail: yczhang66@sina.com。

壤调查、取样,共采集 1245 个土壤样品,分析了 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾 5 项土壤肥力指标,获得数据项 6047 个,建立了甘薯土壤养分数据库。在此基础上,采用改进后的内梅罗指数法与传统统计方法相结合,对中国 3 大薯区土壤肥力质量进行了评价,以期客观地评价我国甘薯农田土壤肥力现状,为指导甘薯合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

根据 2011 ~ 2015 年农业部甘薯产业体系的建议,本研究区域分为长江中下游薯区、北方薯区和南方薯区 3 大薯区,其中长江中下游薯区包括湖北、湖南、江苏、江西、浙江、四川、重庆和贵州 8 省;北方薯区包括安徽、河北、河南、山东、山西和陕西 6 省;南方薯区包括福建、广东和广西 3 省。

1.2 样品的采集与分析

2009 ~ 2015 年,在中国 3 大薯区选择主要土壤类型和不同肥力水平的甘薯农田进行调查,并用 GPS 定点,对土层 (0 ~ 20 cm) 进行多点“S”形混合采集土样样品共 1245 个 (其中长江中下游薯区 679 个,北方薯区 406 个,南方薯区 160 个),样品采集后及时摊开、风干,并研磨分别过 1 和 0.149 mm 筛,以备分析。

参照《土壤农业化学分析方法》^[13]。pH 按 2.5:1 水土比,用 pH 计测定;有机质用 $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ 容量法测定;碱解氮用碱解扩散法测定;有效磷 (本研究中以 Olsen-P 含量表示) 用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 溶液 (pH 8.5) 浸提-钼锑抗比色法 (755 b 型分光光度计) 测定;速效钾用 1 mol/L 中性醋酸铵浸提-火焰光度法 (FP640 型火焰光度计) 测定。

1.3 土壤养分分级

土壤 pH 是评价土壤酸碱程度的重要指标,直接影响土壤养分的有效性,是评价土壤肥力指标之一。土壤有机质与土壤肥力密切相关,影响土壤的物理性状,是土壤可持续利用的重要指标之一。通常在其他条件相同或相近的情况下,在一定含量范围内,有机质含量与土壤肥力水平呈正相关。土壤碱解氮是土壤中无机态氮和可被植物直接利用的有机态氮的总和,是土壤氮素有效性的指标。土壤有效磷是指土壤中可被植物吸收利用的磷的总称,包

括全部水溶性磷、部分吸附态磷、一部分微溶性的无机磷和易矿化的有机磷等。土壤速效钾是指土壤中易被作物吸收利用的钾素,包括土壤溶液钾及土壤交换性钾,速效钾含量是表征土壤钾素供应状况的重要指标之一。土壤养分分级常用指标包括 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、中量元素和微量元素的有效形态等,但 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾是土壤肥力评价代表性的 5 大指标,能够很好地反映土壤的肥力水平。土壤养分分级指标^[14]见表 1。

表 1 土壤 pH 及养分分级指标

养分指标	极贫乏	贫乏	适量	较丰富	丰富
pH	<5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.5	7.5 ~ 8.5	>8.5
有机质 (g/kg)	<6	6 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	>30
碱解氮 (mg/kg)	<30	30 ~ 60	60 ~ 90	90 ~ 120	>120
有效磷 (mg/kg)	<3	3 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 20	>20
速效钾 (mg/kg)	<30	30 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 150	>150

注:极贫乏、贫乏、适量、较丰富、丰富主要指养分指标,对应 pH 表征的土壤酸碱度分别为酸、偏酸、适量、偏碱、碱。

1.4 数据处理

1.4.1 数据计算与分析

利用 SPSS 17.0 统计软件的描述统计进行平均值、标准差分析。

1.4.2 综合评价指数的计算

内梅罗指数是一种兼顾极值或突出最大值的计权型多因子环境质量指数,特别考虑了影响最大的因子。根据“木桶理论”,土壤整体肥力取决于含量最缺的养分指标。所以改进后的内梅罗指数计算公式如下^[15]:

$$P = \sqrt{\frac{(P_i)^2 + (P_{i_{\min}})^2}{2}} \times \frac{n-1}{n}$$

式中, P 为土壤质量指数, P_i 为样品中单质量指数的平均值; $P_{i_{\min}}$ 为各种样品单质量指数的最小值; n 为参与评价因子的个数。

改进后的内梅罗指数突出了土壤属性最差一个对肥力的影响,反映了作物生长的最小因子律;另一方面增加了修正项之后,反映了该评价结果的可信度。

2 结果与分析

2.1 中国 3 大薯区土壤 pH 及养分状况

2.1.1 长江流域薯区

长江中下游薯区土壤基础性质状况见表 2(0 ~ 20 cm)。与土壤 pH 及养分分级指标(表 1)比较得出:(1)长江中下游薯区土壤整体偏酸,其中湖南、江西和浙江薯区土壤 pH 小于 5.5,酸化较为严重。贵州、湖北和重庆薯区土壤 pH 为 5.5 ~ 6.5,轻度偏酸。江苏和四川薯区土壤 pH 接近于 7.0,中性;(2)长江中下游薯区土壤有机质含量整体适量,其中江苏和四川薯区土壤有机质含量为 10.5 ~ 11.1 g/kg,最小。浙江、湖北和重庆薯区土壤有机质含量为 10 ~ 20 g/kg,处于适量水平。贵

州、湖南和江西薯区土壤有机质含量 17.7 ~ 19.7 g/kg,处于较丰富水平;(3)长江中下游薯区土壤碱解氮含量整体处于较丰富水平,其中贵州、浙江和江西土壤碱解氮含量高于 120 mg/kg,处于丰富水平,其他 6 个省市为 90 ~ 120 mg/kg,处于较丰富水平;(4)长江中下游薯区土壤有效磷含量整体也处于较丰富水平,其中浙江土壤有效磷含量较高,为 31.0 mg/kg,四川土壤有效磷含量较低,为 8.89 mg/kg,其他 6 个省市的有效磷为 10 ~ 20 mg/kg,处于较丰富水平;(5)长江中下游薯区土壤速效钾含量整体也处于较丰富水平,湖北、江苏和四川 3 省薯区土壤速效钾为 50 ~ 100 mg/kg,处于适量水平,其他 6 个省市都为 100 ~ 150 mg/kg,处于较丰富水平。

表 2 长江中下游薯区 0 ~ 20 cm 土壤样品基础性质

省份	样本数	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
贵州	83	5.71 ± 0.67	21.1 ± 6.3	185.1 ± 114.7	12.8 ± 9.9	120.9 ± 77.0
湖北	48	6.46 ± 1.31	13.9 ± 4.6	96.8 ± 28.0	10.3 ± 10.2	96.8 ± 78.6
湖南	91	4.79 ± 0.86	19.7 ± 8.0	152.8 ± 53.4	22.8 ± 15.8	125.0 ± 82.8
江苏	181	7.03 ± 1.33	10.5 ± 6.5	101.2 ± 92.6	17.4 ± 27.5	95.8 ± 64.2
江西	42	4.60 ± 0.62	19.6 ± 9.2	142.8 ± 73.6	22.5 ± 21.3	119.3 ± 87.8
四川	81	6.92 ± 1.00	11.1 ± 4.1	103.7 ± 36.2	8.9 ± 7.8	84.8 ± 30.0
浙江	40	4.57 ± 0.58	17.7 ± 9.0	162.1 ± 108.9	31.0 ± 25.2	103.5 ± 74.8
重庆	106	5.68 ± 1.17	16.9 ± 6.5	119.0 ± 55.5	20.6 ± 19.2	111.8 ± 86.1
长江中下游薯区	679	6.00 ± 1.41	15.4 ± 7.8	127.0 ± 83.1	17.7 ± 20.4	105.6 ± 73.6

2.1.2 北方薯区

北方薯区土壤基础性质状况见表 3。与土壤 pH 及养分分级指标(表 1)比较得出:(1)北方薯区土壤 pH 整体平均接近中性,其中山西、陕

西土样 pH 未测定,河北和河南土壤 pH 偏碱,安徽和山东土壤 pH 偏酸;(2)北方薯区土壤有机质含量整体适量,其中山西、陕西土样有机质未测定,河北和山东土壤有机质含量低于 10 g/kg,

表 3 北方薯区 0 ~ 20 cm 土壤样品基础性质

省份	样品数	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
安徽	80	6.37 ± 0.94	12.00 ± 4.47	97.8 ± 20.2	12.4 ± 10.1	82.1 ± 53.5
河北	64	8.11 ± 0.08	8.45 ± 0.70	56.5 ± 24.7	15.9 ± 15.2	98.2 ± 47.2
河南	67	8.21 ± 0.68	14.40 ± 5.35	97.3 ± 34.6	9.61 ± 7.44	89.4 ± 41.7
山东	106	5.60 ± 0.92	9.06 ± 3.35	70.6 ± 22.4	22.3 ± 15.5	75.2 ± 51.6
山西	61	—	—	57.9 ± 14.1	12.6 ± 9.4	168.1 ± 50.0
陕西	28	—	—	76.5 ± 19.2	24.3 ± 13.2	170.4 ± 65.6
北方薯区	406	6.78 ± 1.33	11.85 ± 4.84	76.7 ± 29.0	15.9 ± 13.3	103.1 ± 61.7

注:—表示未测定。

处于缺乏水平,安徽和河南土壤有机质含量处于适量水平;(3)北方薯区土壤碱解氮含量整体适量,其中河北和山西两省土壤碱解氮含量低于 60 mg/kg,处于缺乏水平,其次为山东和陕西,低于 80 mg/kg,处于适量水平,安徽和河南两省土壤碱解氮含量接近 100 mg/kg,处于较丰富水平;(4)北方薯区土壤有效磷含量整体也处于较丰富水平,其中山东和陕西有效磷含量较高,均大于 20 mg/kg,处于丰富水平,河南有效磷含量较低,为 9.61 mg/kg,处于适量水平,安徽、河北和山西 3 省为 10 ~ 20 mg/kg,处于较丰富水平;(5)北方薯区土壤速效钾含量整体平均处于较丰富水平,安徽、河南、山东和河北 4 省薯区土壤速效钾低于 100 mg/kg,其中山东土壤速效钾含量最低,处于适量水平,山西和陕西两省的土壤速效钾含量均高于 150 mg/kg,处于丰富水平。

2.1.3 南方薯区

南方薯区甘薯地土壤样品基础性质状况见

表 4。与土壤 pH 及养分分级指标(表 1)比较得出:(1)南方薯区土壤整体偏酸,广东、福建和广西土壤 pH 为 5.11 ~ 5.58,土壤酸化均较严重,其中广西酸化最严重;(2)南方薯区土壤有机质含量整体较丰富,其中福建土壤有机质含量最高,达 21.9 g/kg,处于较丰富水平;广东和广西薯区土壤有机质含量分别为 17.7 和 16.9 g/kg,处于适量水平;(3)南方薯区土壤碱解氮含量整体处于较丰富水平,其中广东、福建和广西土壤碱解氮含量为 113 ~ 135 mg/kg,处于较丰富及以上水平;(4)南方薯区土壤有效磷含量整体也处于丰富水平,其中福建有效磷含量较高,为 40.7 mg/kg,广东和广西都为 10 ~ 20 mg/kg,处于较丰富水平;(5)南方薯区土壤速效钾含量整体也处于适量水平,其中广东薯区土壤速效钾含量分别为 57.0 mg/kg,处于缺乏水平。福建土壤速效钾含量 76.7 mg/kg,处于适量水平,广西为 117.0 mg/kg,处于较丰富水平。

表 4 南方薯区 0 ~ 20 cm 土壤样品基础性质

省份	样本数	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
广东	5	5.58 ± 0.25	17.7 ± 6.9	122.0 ± 28.5	14.8 ± 8.6	57.0 ± 18.5
福建	140	5.46 ± 0.69	21.9 ± 11.7	113.0 ± 54.5	40.7 ± 37.3	76.7 ± 43.0
广西	15	5.11 ± 0.66	16.9 ± 2.3	135.0 ± 16.9	15.6 ± 2.4	117.0 ± 36.1
南方薯区	160	5.42 ± 0.68	21.3 ± 11.4	115.8 ± 55.2	37.5 ± 36.0	79.9 ± 59.2

2.2 中国 3 大薯区土壤肥力质量评价

土壤肥力质量评价选择的因子主要有: pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾。各因子的分级标准参照第二次全国土壤普查标准资料,并根据不同评价因子有所提高(表 5)。

表 5 土壤质量评价因子分级标准

参评因子	最大	中值	最小
碱解氮 (mg/kg)	150	100	60
有效磷 (mg/kg)	30	15	5
速效钾 (mg/kg)	150	100	40
有机质 (g/kg)	20	15	8
pH (<7)	5.5	6	6.5
pH (>7)	8.5	8	7.5

从表 6 可以看出:中国 3 大薯区的 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量变异很大,变异系数范围分别为:12.7% ~ 23.7%、41.4% ~ 62.3%、37.7% ~ 65.3%、83.8% ~ 115.9% 和 59.9% ~ 74.1%。

根据表 6 描述性统计中的肥力指标,先对上述土壤肥力指标参数进行标准化,以消除各参数之间的量纲差别,标准化处理用公式: $P_i = C_i / S_i$,式中: P_i 为土壤单质量指数; C_i 为 i 属性土壤质量的实测值; S_i 为 i 属性的临界标准; i 为某种土壤质量属性。用改进后的内罗梅指数公式求出土壤肥力质量指数(表 7)。表 7 结果表明,长江中下游薯区的土壤肥力质量指数为 1.35,北方薯区的土壤肥力质量指数为 1.22,南方薯区的土壤肥力质量指数为 1.76。

表 6 不同薯区 0 ~ 20 cm 土壤肥力指标的描述性统计

薯区	参评指标	平均值	中值	最小值	最大值	标准差	变异系数 (%)
长江中下游薯区	碱解氮 (mg/kg)	127.0	119.1	7.7	733.8	83.3	65.3
	有效磷 (mg/kg)	17.7	11.0	1.0	173.7	20.5	115.9
	速效钾 (mg/kg)	105.6	87.4	13.1	608.0	73.8	69.5
	有机质 (g/kg)	15.44	14.87	1.06	59.40	7.89	51.10
	pH	6.0	5.8	3.6	8.7	1.4	23.7
北方薯区	碱解氮 (mg/kg)	76.7	72.8	7.1	239.9	29.0	37.7
	有效磷 (mg/kg)	15.9	12.1	0.3	79.8	13.4	83.8
	速效钾 (mg/kg)	103.1	94.8	12.1	370.7	61.8	59.9
	有机质 (g/kg)	11.85	11.79	1.73	28.99	4.91	41.40
	pH	6.78	6.68	4.74	8.97	1.31	19.30
南方薯区	碱解氮 (mg/kg)	115.8	103.0	10.0	337.0	55.2	47.7
	有效磷 (mg/kg)	37.5	27.3	1.3	244.8	36.0	95.8
	速效钾 (mg/kg)	79.9	69.0	12.0	539.0	59.3	74.1
	有机质 (g/kg)	21.3	21.0	2.2	108.0	13.3	62.3
	pH	5.4	5.3	4.3	8.23	0.7	12.7

表 7 不同薯区 0 ~ 20 cm 土壤肥力指数的描述性统计

薯区	参评指标	平均值	中值	最小值	最大值	标准差	变异系数 (%)
长江中下游薯区	碱解氮 (mg/kg)	2.13	1.99	0.13	12.23	1.39	65.28
	有效磷 (mg/kg)	3.54	2.21	0.20	34.73	4.10	115.86
	速效钾 (mg/kg)	2.65	2.19	0.33	15.20	1.85	69.60
	有机质 (g/kg)	1.93	1.86	0.13	7.42	0.99	51.09
	pH	1.09	1.05	0.66	1.58	0.26	23.73
	内梅罗指数	1.35	1.41	0.88	1.57	0.28	20.96
北方薯区	碱解氮 (mg/kg)	1.28	1.21	0.12	4.00	0.48	37.74
	有效磷 (mg/kg)	3.20	2.42	0.06	15.97	2.68	83.69
	速效钾 (mg/kg)	2.58	2.37	0.30	9.27	1.54	59.94
	有机质 (g/kg)	1.48	1.47	0.22	3.62	0.61	41.41
	pH	0.91	0.89	0.63	1.20	0.17	19.32
	内梅罗指数	1.22	1.06	0.77	1.71	0.45	37.11
南方薯区	碱解氮 (mg/kg)	1.92	1.72	0.00	5.62	0.93	48.50
	有效磷 (mg/kg)	7.52	5.45	0.26	48.96	7.20	95.85
	速效钾 (mg/kg)	2.00	1.73	0.30	13.48	1.48	74.11
	有机质 (g/kg)	2.75	2.64	0.28	13.50	1.66	60.29
	pH	0.72	0.71	0.57	1.10	0.09	12.67
	内梅罗指数	1.76	1.23	0.64	3.84	1.24	70.70

根据土壤质量指数及土壤普查资料, 可将土壤质量分为 4 级 (表 8)。总体来看, 南方薯区土壤肥力质量最优, 其次为长江中下游薯区, 北方薯区土壤肥力质量较差。3 个薯区土壤肥力质量指数均低于 1.8, 均属于三级水平, 土壤肥力质量水平一般。

表 8 土壤质量等级划分标准

项目	质量等级			
	一级	二级	三级	四级
质量评语	很肥沃	肥沃	一般	瘦瘠
肥力质量指数范围	≥2.7	1.8 ~ 2.7	0.9 ~ 1.8	<0.9

3 讨论

甘薯在中国种植面积较大,但多种植在丘陵瘠薄地方^[16],种植区域主要包括长江中下游薯区、北方薯区和南方薯区3大薯区。由于本次甘薯样品调查时,中国3大薯区中某些省份的样品量较少,有些甘薯种植省份土样可能没有调查到,多少会影响到调查评价的结果。但整体来说,调查评价对甘薯以后的施肥指导有一定的指导意义。

从中国3大薯区的土壤pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾5项土壤肥力指标来看,有明显的地域特征。北方薯区土壤接近中性,长江中下游薯区和南方薯区土壤整体偏酸,与以前的报道^[16-17]较为一致。这与北方薯区降水量少,淋溶少有关,也与北方碳酸盐型母质有关。其中湖南、江西和浙江薯区土壤pH已接近4.5,酸化严重,这与降水量大、降水强度大、淋溶强度大有关,造成硝态氮淋溶,而使土壤中游离 H^+ 增加,土壤pH降低。南方薯区土壤有机质含量相对较高,长江中下游薯区次之,而北方薯区土壤有机质含量整体相对较低,这可能与南方薯区^[18]施用有机肥和秸秆还田后,降水较多,腐解速度较快;长江中下游薯区有机肥与秸秆还田后,降水较南方少;北方薯区施用有机肥和秸秆还田后,降水量少,腐解速度较慢有关。长江中下游薯区和南方薯区土壤碱解氮含量相对较高,而北方薯区土壤碱解氮含量相对较低,这可能因为长江中下游薯区和南方薯区中氮肥的施入较多,而北方薯区施氮量少。长江中下游薯区和北方薯区土壤有效磷含量相对较低,南方薯区有效磷含量相对较高,南方薯区可能因为土壤酸化,磷的有效性升高。与有效磷相反,长江中下游薯区和北方薯区土壤速效钾含量相对较高,南方薯区速效钾含量相对较低,这可能与南方降水多有关,造成钾养分的淋洗和流失较多,提高南方薯区钾肥供应有一定必要性。

本研究采用改进后的内梅罗指数,评价了薯区土壤肥力,可以最大程度地减少人为的主观性。长江中下游薯区的土壤肥力质量指数为1.35、北方薯区的土壤肥力质量指数为1.22,南方薯区的土壤肥力质量指数为1.76。从中国3大薯区整体来看,土壤肥力水平偏低,这是因为甘薯多种植在各省的山地或丘陵地,而这些地块的土壤肥力质量水平相对较低。3大薯区比较来看,南方薯区土壤肥力质量水平最好,接近肥沃,而长江中

下游和北方薯区土壤肥力质量相近,3大薯区土壤肥力质量都属于三级水平,土壤肥力质量水平一般。这个评价结果与传统土壤养分分级评价结果相一致。

4 结论

客观地评价薯区农田土壤肥力和诊断其限制因子是甘薯合理施肥的依据,本研究以中国3大薯区为研究区域,以田块为评价单元,于2009年到2015年调查和采集了中国3大薯区的1245个甘薯农田土壤样品,并分析了5项代表性土壤肥力指标,建立了甘薯土壤养分数据库;基于传统统计方法和内梅罗指数法相结合的方法,较为全面地评价了中国3大薯区土壤肥力状况。主要结论如下:

(1) 北方薯区土壤接近中性,长江中下游薯区和南方薯区土壤整体偏酸;南方薯区土壤有机质含量整体偏高,长江中下游薯区次之,北方薯区土壤有机质含量整体偏低;长江中下游薯区和南方薯区土壤碱解氮含量整体处于较丰富水平,而北方薯区土壤碱解氮含量整体适量。

(2) 中国3大薯区中土壤有效磷含量均处于较丰富水平,长江中下游薯区和北方薯区土壤有效磷含量相对较低,南方薯区有效磷含量相对较高。

(3) 中国3大薯区中土壤速效钾含量均处于适量水平,长江中下游薯区和北方薯区土壤速效钾含量相对较高,南方薯区速效钾含量相对较低。

(4) 南方薯区土壤肥力质量水平最好,长江中下游和北方薯区土壤肥力质量相近,3个薯区土壤的内梅罗指数均低于1.8,属于三级水平,土壤肥力质量水平一般。

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 V G, Rossiter D G. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 86: 84-98.
- [4] 梁淑敏,谢瑞芝,李朝苏,等. 成都平原不同耕作模式的农田效应研究 II. 土壤综合质量评价[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 738-744.
- [5] 王晶,任丽,杨联安,等. 基于云模型的西安市蔬菜区土壤肥力综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10): 183-189.
- [6] 许仙菊,马洪波,陈杰,等. 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[J]. 土壤, 2013, 45(3):

- 470–476.
- [7] 陈留美, 桂林国, 吕家珑, 等. 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.
- [8] 范茂攀, 周锋, 吴开贤, 等. 滇中东部典型岩溶区农田土壤肥力评价[J]. 土壤, 2019, 51 (6): 1093–1099.
- [9] 郑立臣, 宇万太, 马强, 等. 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.
- [10] Chen S, Lin B W, Li Y Q, et al. Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China [J]. Geoderma, 2020, 357: 113937.
- [11] 耿庆龙, 李娜, 赖宁, 等. 基于修正内梅罗指数法的果园土壤肥力评价[J]. 新疆农业科学, 2019, 56 (11): 2104–2111.
- [12] FAO. Food and agricultural commodities production [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [13] 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.
- [14] 全国土壤普查办公室. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [15] 张永春, 汪吉东, 俞美香, 等. 南京地区典型农业试验基地土壤肥力、环境质量调查与评价[J]. 江苏农业学报, 2006, 22 (4): 415–420.
- [16] 王菲, 冉烈, 吕慧峰, 等. 重庆甘薯土壤养分分级研究[J]. 西南农业学报, 2012, 25 (2): 580–583.
- [17] 冉圆圆, 刘洪斌. 重庆市不同地貌甘薯土壤养分丰缺指标及施肥方案[J]. 中国土壤与肥料, 2017 (5): 44–50, 72.
- [18] 杨帆, 徐洋, 崔勇, 等. 近 30 年中国农田耕层土壤有机质含量变化[J]. 土壤学报, 2017, 54 (5): 1047–1056.

Soil nutrient status and soil fertility evaluation of farmland in three main sweet potato regions in China

XU Xian-ju¹, ZHANG Yong-chun^{1*}, WANG Ji-dong¹, ZHANG Hui¹, TANG Zhong-hou², ZHANG Ai-jun², LI Huan³, LIU Qing³ [1. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/ Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Jiangsu), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing Jiangsu 210014; 2. Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Xuhuai District of Jiangsu, Xuzhou Jiangsu 221121; 3. College of Resources & Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong 266109]

Abstract: Objective evaluation of farmland soil fertility in sweet potato area is the basis for rational fertilization of sweet potato. This study collected 1245 farmland surface (0 ~ 20 cm) soil samples from the three main sweet potato regions (northern China, southern China, middle and lower reaches of the Yangtze River) in China from 2009 to 2015, and analyzed their soil fertility indexes. The traditional statistic method and improved Nemero Index method were used to evaluate the soil fertility quality of farmland in the three main sweet potato areas in China. The results indicated: (1) The soil of the northern sweet potato region in China was close to neutral, of which soils were relatively alkaline in Henan and Hebei provinces and relatively acid in Anhui and Shandong provinces; the soils in the middle and lower reaches of the Yangtze River and the southern sweet potato region were generally acid, of which soil pH in Hunan, Jiangxi and Zhejiang provinces was close to 4.5, and became very acid. (2) Soil organic matter content was higher overall in the southern sweet potato region (16.9 ~ 21.9 g/kg), and was lower overall in the middle and lower reaches of the Yangtze River (10.5 ~ 21.1 g/kg) and the northern sweet potato region (8.45 ~ 21.1 g/kg), of which soil organic matter content in Hebei and Shandong provinces was lower than 10 g/kg. (3) Soil alkali-hydrolyzed nitrogen content was generally at relatively rich level in the middle and lower reaches of the Yangtze River (96.8 ~ 185.1 mg/kg) and the southern sweet potato region (113.0 ~ 135.0 mg/kg), while it was at moderate level in the northern sweet potato region (56.5 ~ 97.8 mg/kg), of which soil alkali-hydrolyzed nitrogen content in Hebei and Shanxi provinces was lower than 60 mg/kg and very deficient. (4) Soil available phosphorus content was overall at a rich level, of which soil available phosphorus content was relatively richer in the middle and lower reaches of the Yangtze River (8.89 ~ 31.0 mg/kg) and the northern sweet potato region (9.61 ~ 24.3 mg/kg), much richer than that in the southern potato region (14.8 ~ 40.7 mg/kg). (5) Soil available potassium content was moderate overall, whereas it was relatively higher in the middle and lower reaches of the Yangtze River (84.79 ~ 125.0 mg/kg) and the northern sweet potato region (75.2 ~ 170.4 mg/kg) than in the southern sweet potato region (57.0 ~ 117.0 mg/kg); soil available potassium content was the lowest in Guangdong province (57.0 mg/kg) and the highest in Shaanxi province (170.4 mg/kg). (6) The Nemero Index of the soil in the three potato regions was lower than 1.8, belonging to the third general level, while the soil quality level of the southern sweet potato region was relatively higher. Based on the combination of Nemero Index method and traditional statistical method, the soil fertility of Chinese main sweet potato regions was evaluated comprehensively, providing references for instructing fertilization of sweet potato in China.

Key words: soil fertility; sweet potato; evaluation methodology; nutrient grading index