

广西蔗区土壤肥力和叶片养分状况调查研究

孟 博, 周一帆, 战 健, 杨林生, 邓 燕*

(长江经济带农业绿色发展研究中心 / 西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘 要: 广西是我国第一大甘蔗产地, 了解广西蔗区土壤肥力及叶片养分丰缺状况, 可对广西蔗区提出针对性的施肥建议。对广西南宁、崇左、来宾、百色、柳州、河池、贵港、玉林和防城港等主要甘蔗产区进行土壤和叶片调研, 各采集了 110 份样品进行养分测定分析。结果表明: (1) 广西蔗区调研土壤 pH 值平均为 5.21, pH 值 <4.5 的强酸性地块占比为 40.91%; 土壤有机质含量平均为 24.43 g/kg, 低于 20 g/kg 的缺乏地块占比为 35.46%; 碱解氮、有效磷、速效钾、交换性钙和交换性镁含量平均值分别为 102.70、22.79、158.45、637.98 和 93.33 mg/kg, 各自处于缺乏水平的地块占比分别为 26.36%、30.91%、4.63%、45.46% 和 41.82%。(2) 叶片大中量营养元素氮、磷、钾、钙和镁含量范围分别为 14.80 ~ 25.50、1.30 ~ 2.50、9.90 ~ 19.70、1.30 ~ 7.50 和 0.40 ~ 2.80 g/kg, 氮、磷和镁含量处于缺乏水平的地块占比分别为 60%、91.82% 和 82.72%, 而钾、钙含量普遍处于适宜或丰富水平; 叶片微量元素铁、锰、铜、锌和硼含量范围分别为 15.90 ~ 175.80、15.20 ~ 238.10、1.00 ~ 6.70、4.90 ~ 38.80 和 1.10 ~ 27.70 mg/kg, 铁、锰、铜含量大多处于适宜或丰富水平, 而锌和硼含量缺乏的地块占比分别高达 50.09% 和 89.09%。(3) 土壤 pH 值与土壤交换性钙和交换性镁含量呈极显著正相关关系, 与土壤碱解氮含量呈显著负相关关系; 土壤有机质含量与土壤碱解氮、速效钾、交换性钙和交换性镁含量均呈极显著的正相关关系。(4) 土壤 pH 值与叶片钙含量呈极显著正相关关系, 与叶片锰含量呈极显著负相关关系; 土壤有机质含量与叶片磷、叶片钾含量呈显著正相关关系, 与叶片锰含量呈显著负相关关系; 土壤交换性镁含量与叶片钙含量呈极显著正相关关系。针对调研结果, 提出的广西蔗区养分管理策略是重视土壤酸化治理, 合理施用氮磷钾肥, 增施有机肥和补施镁、锌、硼等中微量肥料。

关键词: 广西; 土壤养分; 叶片养分; 甘蔗

广西是我国第一大甘蔗产区, 甘蔗种植面积和产量占全国甘蔗生产的 60% 以上。据《广西统计年鉴 2019》^[1] 数据, 2018 年广西甘蔗种植面积为 88.64 万 hm^2 , 产量达 7292.76 万 t。广西蔗区主要分布在西南部和中部, 其中种植面积最大的是崇左市, 其次为南宁、来宾、柳州等地。吴多广等^[2] 对中国蔗区进行了比较优势分析, 结果表明, 广西具有绝对的规模和综合比较优势, 需要进一步提高单产水平来发展甘蔗产业。合理施肥是保证甘蔗高产的重要措施; 土壤养分状况影响土壤供肥能力和肥料利用率, 叶片养分则反映植株对土壤和肥料养分的吸收利用情况, 了解土壤和植株叶片养分状况, 结合养分分级标准进行施肥推荐是指导作物合理

施肥常用的方法之一^[3]。近 20 年来, 不同学者对广西蔗区的土壤和植株养分进行了调查报道。1998 年吴圣进等^[4] 对广西主要甘蔗产区土壤和植株养分进行了调查分析, 提出了广西甘蔗生产的施肥建议; 2004 年谢如林等^[5] 对广西兴宾蔗区的土壤养分状况进行了调研分析, 提出了在甘蔗生产中需重视氮、磷、钾肥施用的建议; 2006 年黄绍富等^[6] 对广西南宁和崇左蔗区进行土壤抽样调查, 分析了土壤养分状况, 提出了蔗田土壤改良、平衡氮磷钾施肥、补充中量元素的建议; 2014 年曾艳等^[7] 对广西桂南蔗区土壤养分状况进行了调研, 发现广西桂南蔗区土壤肥力总体水平不高、有机质偏低等养分问题; 2015 年雷崇华等^[8] 对广西金光农场甘蔗土壤肥力进行调查, 提出了南宁高产甘蔗产区的土壤养分指标; 2017 年 Zeng 等^[9] 采用肥力综合指数法对广西蔗区土壤进行了综合评价, 得出广西蔗区处于低肥力水平的结论。由前人研究可知, 广西蔗区土壤养分状况调查研究较多, 而将土壤和植株养分结合进行分析的调研较少, 两者结合更能说明养分供应和吸收是否匹配。因此, 本研究旨在通过调

收稿日期: 2020-11-06; 录用日期: 2021-01-01

基金项目: 财政部和农业农村部; 国家现代农业产业技术体系资助项目 (CARS-170210)。

作者简介: 孟博 (1997-), 在读硕士研究生, 研究方向为作物养分管理。E-mail: mengbo7@email.swu.edu.cn。

通讯作者: 邓燕, E-mail: dyan0907@swu.edu.cn。

研取样了解当前广西不同甘蔗产区土壤肥力和叶片养分特征并做出评价,为广西甘蔗产区的科学施肥管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 调研地区

本次调研于2019年8月在广西主要蔗区开展。

调研区域包括南宁市金光农场和良圻农场,崇左市宁明、江州、扶绥、大新、龙州5县(区),来宾市武宣、兴宾、象州、忻城4县(区),百色市平果、田东、右江、田林、田阳5县(区),柳州柳城实验站和柳城、柳江2县(区),河池市金城江、宜州、罗城3县(区),贵港市西江农场,玉林市龙安县和防城港市昌菱农场。调查取样点如图1所示。

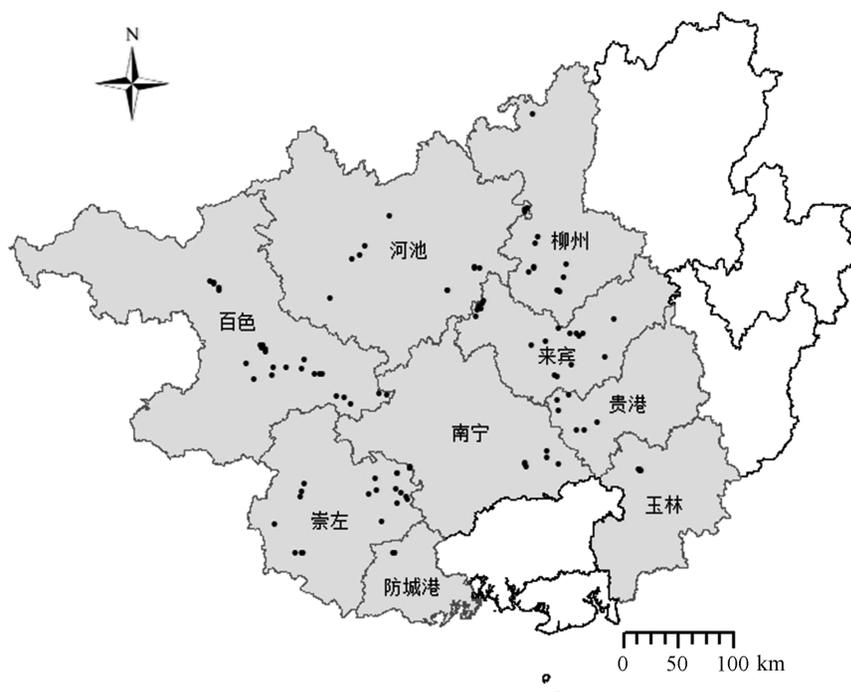


图1 广西蔗区调查取样点分布

1.2 取样方法

土壤样品:本次调研一共采集110份土壤样品。在每个调研区域每个代表性地块上采集0~30 cm土层的土壤样品,避开施肥点按照“S”形路线随机选择5点取样,样品混合后,用四分法取1 kg左右的样品带回实验室处理分析。

叶片样品:本次调研一共采集110份甘蔗植株的叶片样品,植株选择是在与采集土壤样品的点相对应的地块。每个地块采集甘蔗+1叶(最高可见肥厚带叶)5片,混合为一个样品,带回实验室处理分析。

1.3 样品处理

土壤样品:土样放在阴凉通风的样品室内风干,去掉植物根系、小石块等,用橡胶锤粉碎后过2 mm筛、瓷研钵磨碎后过0.149 mm筛,放样品室保存待测。

叶片样品:甘蔗叶片样品带回实验室用去离子

水洗净,放入105℃烘箱中杀青30 min,再在75℃下烘干至恒重;烘干的叶片用不锈钢粉碎机粉碎,放样品室保存待测。

1.4 测定方法

土壤样品:依据鲍士旦主编的《土壤农化分析(第3版)》^[10]对土壤样品进行理化性质及养分含量的检测。测试项目及方法如下:土壤pH值(土水比1:2.5)采用电位计法测定;有机质含量采用重铬酸钾容量法(外加加热法)测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;有效磷含量采用0.5 mol/L碳酸氢钠浸提,紫外分光光度法测定;速效钾含量采用乙酸铵提取,火焰光度法测定;交换性钙和交换性镁含量采用乙酸铵浸提,原子吸收光谱法测定。

叶片样品:叶片样品总氮含量采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮法制备待测液,凯氏定氮法测定^[11];叶片样品总磷、钾、钙、镁、铁、锰、铜、锌、硼含量采

用 HNO₃-H₂O₂ 消煮法制备待测液, ICP-OES 法测定^[12]。

1.5 数据统计及土壤叶片养分状况评价标准

数据采用 Excel 2016、SPSS 21.0 进行整理分

析。土壤 pH 值分级及土壤养分分级参照 Zeng 等^[9]介绍的甘蔗土壤 pH 值分级标准及广西土壤养分分级标准, 详见表 1、表 2。甘蔗叶片养分分级参照美国的标准^[11], 详见表 3。

表 1 土壤 pH 值分级标准

	强酸性	酸性	弱酸性	中性	碱性	强碱性
pH 值	<4.5	4.5 ~ 5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.5	7.5 ~ 8.5	>8.5

表 2 广西土壤养分分级标准

土壤养分	丰富	中等	缺乏	极缺乏
有机质 (g/kg)	>30	20 ~ 30	10 ~ 20	<10
碱解氮 (mg/kg)	>120	80 ~ 120	40 ~ 80	<40
有效磷 (mg/kg)	>20	10 ~ 20	5 ~ 10	<5
速效钾 (mg/kg)	>100	50 ~ 100	30 ~ 50	<30
交换性钙 (mg/kg)	>700	500 ~ 700	300 ~ 500	<300
交换性镁 (mg/kg)	>150	70 ~ 150	30 ~ 70	<30

表 3 甘蔗叶片养分分级标准

叶片养分	丰富	适量	较缺乏	缺乏
氮 (g/kg)	>26	20 ~ 26	18 ~ 20	<18
磷 (g/kg)	>3	2.2 ~ 3	1.9 ~ 2.2	<1.9
钾 (g/kg)	>16	10 ~ 16	9 ~ 10	<9
钙 (g/kg)	>4.5	2 ~ 4.5	—	<2
镁 (g/kg)	>3.2	1.5 ~ 3.2	1.3 ~ 1.5	<1.3
铁 (mg/kg)	>105	55 ~ 105	50 ~ 55	<50
锰 (mg/kg)	>100	20 ~ 100	16 ~ 20	<16
铜 (mg/kg)	>8	4 ~ 8	3 ~ 4	<3
锌 (mg/kg)	>32	17 ~ 32	15 ~ 17	<15
硼 (mg/kg)	>20	15 ~ 20	4 ~ 15	<4

注: “—” 表示没有此级。

2 结果与分析

2.1 蔗区土壤肥力状况

2.1.1 土壤 pH 值

从表 4 可知, 广西蔗区调研土壤 pH 值的变幅为 3.02 ~ 8.37, 平均值为 5.21。其中偏酸性的土壤占比高达 78.18%, 而且 40.91% 属于 pH 值 <4.5 的

强酸性土壤; 中性和碱性土样占比仅约五分之一。

2.1.2 土壤有机质及养分元素含量

由表 5 可知, 调研地块土壤有机质含量变幅为 8.03 ~ 60.40 g/kg, 平均水平为 24.43 g/kg。有机质含量为 20 ~ 30 g/kg 的中等水平土样比例最大, 达 46.36%, 丰富等级土样占 18.18%, 缺乏的土样占比约为 35%; 总体处于中等水平。

表 4 广西蔗区土壤 pH 值分析

范围	均值 ± 标准差	变异系数 (%)	样品分布 (%)					
			强酸性	酸性	弱酸性	中性	碱性	强碱性
3.02 ~ 8.37	5.21 ± 1.37	26.31	40.91	18.18	19.09	13.64	8.18	0.00

表 5 广西蔗区土壤有机质和养分状况分析

指标	范围	均值 \pm 标准差	变异系数 (%)	样品分布 (%)			
				丰富	中等	缺乏	极缺乏
有机质 (g/kg)	8.03 ~ 60.40	24.43 \pm 8.03	36.74	18.18	46.36	34.55	0.91
碱解氮 (mg/kg)	38.22 ~ 197.37	102.70 \pm 37.05	36.30	25.45	48.18	25.45	0.91
有效磷 (mg/kg)	1.01 ~ 56.13	22.79 \pm 16.32	71.60	54.55	14.55	11.82	19.09
速效钾 (mg/kg)	8.00 ~ 509.00	158.45 \pm 95.53	60.29	67.59	27.78	2.78	1.85
交换性钙 (mg/kg)	7.83 ~ 1744.67	637.98 \pm 432.02	67.72	40.00	14.55	21.82	23.64
交换性镁 (mg/kg)	4.50 ~ 256.75	93.33 \pm 60.08	64.37	17.27	40.91	29.09	12.73

调研地块土壤碱解氮含量范围为 38.22 ~ 197.37 mg/kg, 变异相对较小, 平均含量达到中等水平 (102.7 mg/kg) (表 5)。从分级情况来看, 处于缺乏状态 (<80 mg/kg) 的土样占比 26.36%, 中等样品占比 48.18%, 处于丰富状态 (>120 mg/kg) 的土样占比 25.45%, 总体处于中等偏上水平。

土壤有效磷含量变异大, 范围为 1.01 ~ 56.13 mg/kg, 平均值为 22.79 mg/kg (表 5)。从分级情况来看, 处于缺乏状态 (<10 mg/kg) 的土样占比 30.91%, 中等样品占比 14.55%, 处于丰富状态 (>20 mg/kg) 的土样占比 54.55%, 总体处于较丰富水平。

土壤速效钾含量的变幅也较大, 为 8.00 ~ 509.00 mg/kg, 平均含量达 158.45 mg/kg (表 5)。从分级情况来看, 处于缺乏状态 (<50 mg/kg) 的土样占比仅为 4.63%, 中等样品占比 27.78%, 处于丰富状态 (>100 mg/kg) 的土样比例高达 67.59%, 总体处于较丰富水平。

土壤交换性钙、镁含量范围分别为 7.83 ~

1744.67、4.50 ~ 256.75 mg/kg, 平均值分别为 637.98、93.33 mg/kg。交换性钙含量从分级情况来看, 近一半的土样 (45.46%) 处于缺乏状态 (<500 mg/kg), 中等样品占比 14.55%, 处于丰富状态 (>700 mg/kg) 的土样比例为 40%, 总体处于中等水平。交换性镁含量从分级情况来看, 处于缺乏状态 (<70 mg/kg) 的土样占比为 41.82%, 中等样品占比 40.91%, 处于丰富状态 (>150 mg/kg) 的土样占比 17.27%, 总体处于中等偏下水平。

2.1.3 土壤 pH 值、有机质与养分元素之间的相关性

从表 6 可知, 调研土壤 pH 值与交换性钙和交换性镁含量均呈极显著的正相关关系 ($r=0.517^{**}$ 、 $r=0.470^{**}$), 与土壤碱解氮含量呈显著的负相关关系 ($r=-0.215^*$), 对土壤有效磷和速效钾含量的影响不显著。土壤有机质含量与土壤碱解氮、速效钾、交换性钙和交换性镁含量均呈极显著的正相关关系 ($r=0.481^{**}$ 、 $r=0.357^{**}$ 、 $r=0.267^{**}$ 、 $r=0.297^{**}$), 对土壤有效磷含量影响不显著。

表 6 广西蔗区土壤 pH、有机质及养分相关性分析

指标	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	交换性钙	交换性镁
pH 值	0.013	-0.215*	0.039	-0.069	0.517**	0.470**
有机质		0.481**	0.015	0.357**	0.267**	0.297**

注: ** 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关, * 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。下同。

2.2 蔗区叶片养分状况

与土壤养分含量相比, 叶片养分含量的分析更能直接反映甘蔗植株养分的丰缺情况。如表 7 所示, 调研甘蔗叶片样品的大量和中量养分元素氮、磷、钾、钙、镁含量范围分别为 14.80 ~ 25.50、1.30 ~ 2.50、9.90 ~ 19.70、1.30 ~ 7.50、0.40 ~ 2.80 g/kg, 其中钙、镁含量变异较大, 氮、磷、钾含量变异较小, 平均含量分别为 19.50、1.80、14.60、3.70、1.20 g/kg。微量元素铁、锰、铜、锌、硼含量范围分别为 15.90 ~ 175.80、15.20 ~ 238.10、1.00 ~

6.70、4.90 ~ 38.80、1.10 ~ 27.70 mg/kg, 其中锰、锌、硼含量的变异系数明显高于铁、铜, 各元素平均含量分别为 84.30、116.40、4.40、16.20、8.60 mg/kg。

根据参考的美国标准, 广西蔗区叶片中的氮、磷、镁、锌和硼这 5 种养分元素含量大多表现为较缺乏或缺乏状态, 低于适宜含量的样品占比分别为 60.00%、91.82%、82.73%、50.09% 和 89.09%。而叶片中钾、钙、铁、锰、铜这 5 种养分元素含量大多处于适宜或者丰富的状态, 分别占样品的 99.09%、94.55%、91.82%、99.09% 和 65.45%。

表 7 广西蔗区叶片养分分布状况分析

指标	范围	均值 ± 标准差	变异系数 (%)	样品分布 (%)			
				丰富	适量	较缺乏	缺乏
氮 (g/kg)	14.80 ~ 25.50	19.50 ± 2.30	12.00	0	40.00	37.27	22.73
磷 (g/kg)	1.30 ~ 2.50	1.80 ± 0.30	13.81	0	8.18	32.73	59.09
钾 (g/kg)	9.90 ~ 19.70	14.60 ± 2.10	14.04	25.45	73.64	0.91	0
钙 (g/kg)	1.30 ~ 7.50	3.70 ± 1.20	32.50	22.73	71.82	—	5.45
镁 (g/kg)	0.40 ~ 2.80	1.20 ± 0.40	35.58	0	17.27	15.45	67.27
铁 (mg/kg)	15.90 ~ 175.80	84.30 ± 27.80	32.94	18.18	73.64	3.64	4.55
锰 (mg/kg)	15.20 ~ 238.10	116.40 ± 57.50	49.39	61.82	37.27	0	0.91
铜 (mg/kg)	1.00 ~ 6.70	4.40 ± 0.90	21.24	0	65.45	31.82	2.73
锌 (mg/kg)	4.90 ~ 38.80	16.20 ± 7.20	44.16	3.64	37.27	11.82	47.27
硼 (mg/kg)	1.10 ~ 27.70	8.60 ± 5.20	60.14	7.27	3.64	80.91	8.18

2.3 蔗区土壤养分与叶片养分的相关性

由表 8 可知, 广西蔗区土壤 pH 值与叶片钙含量呈极显著正相关 ($r=0.349^{**}$), 与叶片锰含量呈极显著负相关 ($r=-0.596^{**}$)。土壤有机质含量与叶片磷、钾含量显著正相关 ($r=0.243^*$ 、 $r=0.211^*$), 与叶片锰含量显著负相关 ($r=-0.234^*$)。土壤碱解氮含量与叶片磷、铁含量显著正相关 ($r=0.215^*$ 、 $r=0.223^*$)。土壤有效磷含量与叶片中钾、铜含量均

呈显著负相关 ($r=-0.202^*$ 、 $r=-0.191^*$), 但与叶片锌含量呈极显著正相关 ($r=0.287^{**}$)。土壤速效钾含量与叶片钙含量呈极显著负相关 ($r=-0.253^{**}$)。土壤交换性钙含量与叶片锰含量呈极显著负相关 ($r=-0.337^{**}$)。土壤交换性镁含量与叶片磷含量呈显著正相关 ($r=0.201^*$), 与叶片镁含量呈极显著正相关 ($r=0.300^{**}$), 与叶片锰含量呈极显著负相关 ($r=-0.331^{**}$)。

表 8 广西蔗区土壤养分与叶片养分间相关性分析

指标	pH 值	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	交换性钙	交换性镁
氮	-0.018	0.086	0.160	0.066	-0.006	-0.073	0.018
磷	0.082	0.243*	0.215*	-0.186	-0.083	0.160	0.201*
钾	-0.017	0.211*	0.177	-0.202*	0.139	0.034	0.103
钙	0.349**	-0.071	-0.013	-0.047	-0.253**	0.173	0.123
镁	0.136	-0.01	-0.035	0.097	-0.109	0.013	0.300**
铁	-0.086	0.068	0.223*	0.024	0.002	-0.081	-0.163
锰	-0.596**	-0.234*	-0.007	-0.010	-0.152	-0.337**	-0.331**
铜	0.02	0.092	0.014	-0.191*	-0.139	0.078	-0.086
锌	-0.158	-0.045	-0.051	0.287**	0.126	-0.116	-0.110
硼	0.005	-0.093	-0.037	0.105	-0.030	0.175	0.060

3 讨论

土壤酸碱性是土壤理化性状的基础, 对土壤养分有效性、土壤微生物活性以及甘蔗的生长发育均有明显的影响^[13]。甘蔗适宜生长的 pH 值范围是 5.5 ~ 8.0^[14]。1998 年吴圣进等^[4]对广西主要蔗区调研结果表明土壤 pH 值基本在 5.0 以上, pH 值为

5.0 ~ 5.5 的占比为 40%、6.0 ~ 7.0 的占比为 45%; 2006 年黄绍富等^[6]在南宁和崇左采集了 1733 个地块样品分析, 发现 pH 值 <5.5 的地块占 58.7%, 但 pH 值 <4.5 的地块只占 9.2%; 2014 年曾艳等对桂南蔗区进行了调研, pH 值 <5.5 的地块占比 84.3%, 且 pH 值 <4.5 的占比达 26.5%^[7]; 本次调研结果发现 pH 值 <4.5 的强酸性地块占比高达 40.91%。虽

然这些不同时期的调研取样点不一样,但覆盖了广西主要蔗区,反映出来的土壤酸化加剧的趋势是明显的。Guo等^[15]分析了1980年以来不同因素对中国主要农田土壤酸化的贡献,发现过量施用氮肥是土壤酸化的主要贡献因素,其次是盐基阳离子的吸收。有调查表明,广西蔗区的蔗农每生产1 t原料蔗会施用超过4.0 kg的纯氮肥,而实际上每生产1 t原料蔗一般只需要1.0~1.2 kg纯氮^[16]。由此可以推测,广西蔗区土壤酸化加剧很大程度上与近年来大量施用氮肥有关。本研究发现土壤pH值与土壤碱解氮含量呈显著的负相关关系即证明了这一点。甘蔗生物量大,收获带走的养分也多,包括钾、钙、镁等盐基阳离子。但生产中蔗农往往只施氮磷钾肥,忽视钙、镁肥料投入,加之广西地区多降雨的气候条件也容易导致土壤中盐基阳离子的流失^[9],这进一步加剧了蔗区土壤的酸化。本研究中发现土壤pH值与土壤交换性钙、交换性镁含量呈极显著正相关关系,也印证了这点。土壤过酸不仅容易使甘蔗遭受缺磷、缺钙、缺镁等胁迫,也会增加甘蔗遭受酸害、铝毒、锰毒胁迫的风险,诱发病害,影响甘蔗生产^[17]。本调研发现,随着土壤pH值下降,甘蔗叶片锰含量明显增加,高于适宜范围,可能造成锰毒害。因此,广西蔗区土壤酸化问题亟需重视,除注意氮肥的合理施用,还应重视施用有机肥、石灰、土壤改良剂等进行调节^[18-19]。

土壤有机质是衡量土壤肥力的重要指标,除了为植物生长提供全面的营养元素,还可改善土壤物理性状,增强土壤保水保肥能力^[20]。本次调研表明,广西蔗区土壤有机质含量处于中等水平,与2014年曾艳等^[7]的调研结论基本一致。本研究发现,土壤有机质含量与土壤碱解氮、速效钾、交换性钙、交换性镁含量均呈极显著的正相关关系,与叶片磷、钾含量呈显著正相关关系,与叶片锰含量呈显著负相关关系。以上结果表明,土壤有机质含量增加有助于提高土壤速效养分含量,促进甘蔗对磷、钾的吸收,降低对锰的吸收,以降低甘蔗遭受锰毒害的风险。当前国家大力推广有机肥部分替代化肥的施肥策略,广西蔗区可以结合蔗叶还田、糖厂制糖废弃物资源化再利用等措施,培肥地力,提高土壤有机质含量^[21]。

前人的调研结果表明,广西蔗区土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量处于中等偏下水平^[6-7, 22-23]。经样品分析,本次调研发现广西蔗区土壤碱解氮

含量处于中等水平,土壤有效磷和速效钾含量处于中等偏上水平,与前人研究相比,养分水平有所上升。上升的原因可能是近年来氮磷钾肥的大量施用。调查表明,当前我国甘蔗氮、磷、钾肥的施用量分别为400~800 kg/hm²(N)、150~300 kg/hm²(P₂O₅)和250~500 kg/hm²(K₂O),而巴西甘蔗氮肥的施用量为60~100 kg/hm²^[24],印度甘蔗氮、磷、钾肥的平均施用量分别为225 kg/hm²(N)、33 kg/hm²(P₂O₅)和100 kg/hm²(K₂O)^[25],澳大利亚甘蔗氮肥的施用量为170 kg/hm²^[26],比较可知,我国在甘蔗上的肥料投入远高于世界其他甘蔗主产国^[27]。氮磷钾肥过量施用增加了种植的成本,也加大了环境污染的风险,不符合可持续发展的要求。广西不同蔗区应根据当前土壤氮磷钾养分含量水平,针对性制定进一步提升或维持养分水平的施肥推荐策略,并且基于“4R”的施肥原则从施肥量、施肥时期、肥料形态和施肥位置这4个方面探索氮磷钾肥高效利用的途径。需要注意的是,虽然土壤氮磷钾速效养分含量有所上升,但调研发现土壤交换性钙镁含量偏低。当前生产中蔗农对施用中微量元素肥料普遍忽视,而偏施氮磷钾肥又加剧了土壤养分的不平衡。因此,在土壤交换性钙镁含量缺乏的蔗区,应考虑钙镁肥的施用。

此次调研的广西蔗区大部分叶片中氮、磷、镁、锌、硼含量为较缺乏或缺乏状态,而大部分叶片的钾、钙、铁、锰、铜含量处于适宜或者丰富状态。吴圣进等^[4]对广西蔗区甘蔗叶片的分析结果也表明,甘蔗叶片氮、磷含量大多低于适宜水平标准,而钾、钙、镁含量大多处于或高于适宜水平标准。虽然蔗区土壤碱解氮含量大多已达中等水平,生产中施氮量也很高,但仍有大部分调研地块的甘蔗叶片氮含量低于适宜水平,表明甘蔗植株并没有高效的吸收利用土壤和肥料提供的氮。究其原因,可能主要是因为不合理的氮肥施用方法导致氮素供应在时间和空间上与甘蔗根系吸收不匹配,肥料供应的氮大量损失而导致养分利用率不高^[28]。同样,尽管土壤有效磷含量大多已较丰富且生产中重视磷肥施用,但甘蔗叶片缺磷的比例却很高,这可能主要与土壤酸化加剧导致酸性土壤对磷的吸附固定作用加强而降低了磷对甘蔗的生物有效性有关^[17]。土壤和植株氮磷养分不匹配的问题说明氮磷肥的合理施用要综合考虑甘蔗生长需求和土壤中氮磷供应

的时空特性, 增强甘蔗根系对养分的吸收利用, 减少损失或固定, 而不只是以单纯提升土壤氮磷养分为施肥参考。在检测的营养元素中, 只有土壤交换性镁含量与叶片镁含量呈极显著正相关关系, 当前蔗区土壤中缺镁的比例较大, 意味着土壤交换性镁缺乏是导致叶片镁含量低的主要原因。调研结果也表明, 土壤交换性镁含量增加, 有助于提高叶片中磷的含量, 降低叶片中锰的含量。因此, 可以推测镁肥施用将有助于改善甘蔗镁和磷营养, 降低酸性土壤上甘蔗遭受锰毒害的风险。本次土壤调研未测定微量元素含量, 但植株锌和硼的含量处于缺乏状态的占比很高, 尤其是硼。黄奕伦等^[29]结合第二次全国土壤普查调研分析了广西耕地土壤锌含量, 发现低锌面积占总耕地面积的 49.2%, 主要集中在广西中部和南部地区。郑丹等^[30]调研了广西耕地土壤有效硼含量现状, 发现 82.54% 的耕地处于缺硼状态。由此可以推测, 土壤有效锌和有效硼缺乏是造成甘蔗叶片锌和硼含量低于适宜范围的主要原因, 生产中应重视锌肥和硼肥的施用。

本次调查对广西主要甘蔗产区的土壤和叶片养分状况有了一定的了解, 分析的结果对指导广西甘蔗科学平衡施肥具有参考意义。广西蔗区甘蔗种植面积大, 本次调研虽涉及了不同产区, 但每个产区内调研取样地块数量仍较少, 不足以准确代表整个广西蔗区土壤养分及叶片养分现状。同时, 本次调研叶片取样未能区分种植品种、新植和宿根年限, 不能反映品种和种植年限差异。今后的工作中需要继续推进针对不同蔗区土壤养分与叶片养分的调查, 考虑调研取样的时期、样点的布局、土壤类型、种植品种、新植与宿根年限、对应产量等因素, 建立完善的蔗区土壤和叶片养分数据库, 来更好地指导广西蔗区的科学施肥。

4 结论

从调研结果来看, 广西蔗区土壤以酸性为主, 土壤酸化加剧; 有机质、碱解氮含量中等; 有效磷、速效钾、交换性钙含量多处于中等或者丰富状态; 交换性镁含量多处于中等偏下水平。广西蔗区叶片中的氮、磷、镁、锌和硼元素含量多处于缺乏状态, 而叶片中钾、钙、铁、锰和铜元素含量多处于适宜或丰富状态。土壤养分含量受土壤有机质含量和土壤 pH 值影响较大, 而土壤养分含量与对应叶片养分含量的相关性较弱。建议广西蔗区重视土

壤酸化的治理, 合理施用氮、磷、钾肥料, 增施有机肥, 补充施用镁、锌、硼等中微量元素肥料。

参考文献:

- [1] 广西省统计局. 广西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [2] 吴多广, 吴建涛, 谢静, 等. 中国甘蔗生产发展趋势分析[J]. 广东农业科学, 2017, 44(7): 154-160.
- [3] 曹胜, 欧阳梦云, 周卫军, 等. 湖南省柑橘园土壤营养状况及其对叶片养分的影响[J]. 土壤, 2019, 51(4): 665-671.
- [4] 吴圣进, 蓝福生, 罗洁, 等. 广西主要蔗区土壤和植株养分状况的调查研究[J]. 广西植物, 1998(3): 100-106.
- [5] 谢如林, 谭宏伟, 周柳强, 等. 广西兴宾蔗区土壤养分状况分析[J]. 中国糖料, 2004(1): 22-25.
- [6] 黄绍富, 黄杰基. 蔗区土壤肥力现状与甘蔗测土配方施肥[J]. 广西蔗糖, 2006(4): 10-12.
- [7] 曾艳, 黄金生, 周柳强, 等. 广西桂南蔗区土壤养分状况调查分析[J]. 南方农业学报, 2014, 45(12): 2198-2202.
- [8] 雷崇华, 李廷化, 韦金凡, 等. 金光农场甘蔗土壤养分含量状况研究[J]. 甘蔗糖业, 2015(3): 10-13.
- [9] Zeng Y, Zhou L Q, Huang J S, et al. Characteristics and evaluation of soil fertility in sugarcane region in Guangxi[J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(3): 443-448.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析(3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002. 22-162.
- [11] Mccray J M, Ronald W R, Ezenwa L V, et al. Sugarcane plant nutrient diagnosis[M]. America: University of Florida, 2009.
- [12] Havlin J L, Soltanpour P N. A nitric acid plant tissue digest method for use with inductively coupled plasma spectrometry[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1980, 11(10): 969-980.
- [13] 胡启山. 土壤的酸碱性对土壤肥力及作物生长的影响[J]. 科学种养, 2010(10): 63.
- [14] 郭家文, 张跃彬, 刘少春, 等. 云南甘蔗主产区土壤有机质和速效养分分布研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 872-876.
- [15] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.
- [16] Kwong K, 唐其展. 广西甘蔗肥料需用量[J]. 广西糖业, 2017(2): 8-11.
- [17] 秦胜金, 刘景双, 王国平. 影响土壤磷有效性变化作用机理[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 1012-1016.
- [18] 敖俊华, 黄振瑞, 江永, 等. 石灰施用对酸性土壤养分状况和甘蔗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 266-269.
- [19] 郑超, 谭中文, 廖宗文. 雷州半岛甘蔗的营养状况[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(4): 54-58.
- [20] 黄婷. 基于支持向量机的土壤基础肥力评价和土壤有机质含

- 量预测研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [21] 文少白, 葛畅, 李明, 等. 甘蔗叶不同还田方式对土壤养分的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38 (8): 1423-1426.
- [22] 江永, 黄忠兴. 我国蔗区土壤主要养分的分析研究[J]. 甘蔗糖业, 2001 (5): 5-10.
- [23] 张跃彬, 刘少春. 南方蔗作土壤与养分状况分析[J]. 西南农业学报, 2004 (S1): 130-133.
- [24] Robinson N, Brackin R, Vinall K, et al. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane [J]. Plos One, 2011, 6 (4): e19045.
- [25] Hartemink A E. Sugarcane for bioethanol: Soil and environmental issues[J]. Advances in Agronomy, 2008, 99: 125182.
- [26] 宗桦. 中澳甘蔗产业中氮肥利用率(FNUE)的研究现状与比较分析[J]. 世界农业, 2017 (1): 185-193.
- [27] Wu Q, Zhou W, Chen D, et al. Optimizing soil and fertilizer phosphorus management according to the yield response and phosphorus use efficiency of sugarcane in Southern China [J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2020, 20 (2): 1655-1664.
- [28] 樊仙, 郭家文, 邓军, 等. 云南不同生态蔗区甘蔗施肥现状分析与评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (1): 245-254.
- [29] 黄奕伦, 林楚珊, 朱树标. 广西土壤锌含量及不同土壤类型施锌效应研究——I、广西土壤含锌量及分布[J]. 广西农业科学, 1987 (1): 25-30.
- [30] 郑丹, 李少泉, 梁运献. 广西区耕地土壤有效硼含量现状分析与生产对策[J]. 广西农学报, 2015, 30 (4): 33-37.

Investigation on soil and sugarcane leaf nutrient status in Guangxi

MENG Bo, ZHOU Yi-fan, ZHAN Jian, YANG Lin-sheng, DENG Yan* (Interdisciplinary Research Center for Agriculture Green Development in Yangtze River Basin, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: Guangxi is the largest sugarcane production area in China. Understanding the nutrient abundance and deficiency status of soil and sugarcane leaf can provide rational nutrient management recommendations for Guangxi sugarcane production. This field survey was conducted in major sugarcane producing areas in Guangxi, including Nanning, Chongzuo, Laibin, Baise, Liuzhou, Hechi, Guigang, Yulin and Fangchenggang. 110 paired samples were taken for soil and leaf, and nutrient contents were assayed. The results were as follows: (1) The average soil pH value was 5.21, with 40.91% of the samples having a pH value below 4.5. The average soil organic matter (SOM) content was 24.43 g/kg, and 35.46% of the samples was less than 20 g/kg. The average contents of alkaline hydrolysis nitrogen (AN), available phosphorus (AP), available potassium (AK), exchangeable calcium (ECa) and exchangeable magnesium (EMg) were 102.70, 22.79, 158.45, 637.98 and 93.33 mg/kg, respectively, with the deficiency percentage being 26.36%, 30.91%, 4.63%, 45.46% and 41.82%, respectively. (2) The contents of leaf N, P, K, Ca and Mg were 14.80 ~ 25.50, 1.30 ~ 2.50, 9.90 ~ 19.70, 1.30 ~ 7.50 and 0.40 ~ 2.80 g/kg, respectively; while the deficiency percentage of leaf N, P and Mg accounted for 60%, 91.82% and 82.72%, and most leaf K and Ca status were abundant. The content range of leaf Fe, Mn, Cu, Zn, B were 15.90 ~ 175.80, 15.20 ~ 238.10, 1.00 ~ 6.70, 4.90 ~ 38.80 and 1.10 ~ 27.70 mg/kg, respectively; while most leaf Fe, Mn and Cu status were abundant, and deficient leaf Zn and B accounted for 50.09% and 89.09%, respectively. (3) The soil pH value showed significantly positive correlations with soil ECa and EMg, but a significantly negative correlation with soil AN. SOM was positively correlated with content of soil AN, AK, ECa and EMg. (4) The soil pH value was positively correlated with leaf Ca content, but negatively correlated with leaf Mn content. SOM showed positive correlations with leaf P and K, but a negative correlation with leaf Mn. A significantly positive relationship existed between soil EMg and leaf Mg content. According to these results, it is recommended that nutrient management in Guangxi major sugarcane production areas should pay attention to remediation of soil acidification, reasonably apply N, P and K fertilizers, increase application of organic fertilizers, and add some Mg, Zn and B fertilizers when needed.

Key words: Guangxi; soil nutrients; leaf nutrients; sugarcane