

蔗叶沟施方式对甘蔗产量、养分积累及土壤养分的影响^①

韦冬萍¹, 韦剑锋^{2,3*}, 胡桂娟¹, 程 昊^{2,3}, 罗小芬², 邓冬梅^{2,3}, 马 纪^{2,3}, 吴炫柯⁴

(1 柳州工学院食品与化学工程学院, 广西柳州 545616; 2 广西科技大学生物与化学工程学院, 广西柳州 545005; 3 广西糖资源绿色加工重点实验室, 广西柳州 545005; 4 柳州市农业气象试验站, 广西柳州 545003)

摘 要: 为高效再回田利用离田蔗叶, 在田间以甘蔗品种桂糖 44 号为材料, 于新植季设置无蔗叶还田(CK)、100% 蔗叶沟底施(T1)、100% 蔗叶沟面施(T2)、50% 蔗叶沟底施 + 50% 蔗叶沟面施(T3)和 100% 蔗叶与沟土掺混施(T4)5 个处理, 探究了不同蔗叶沟施方式下甘蔗农艺性状、养分积累及土壤养分含量。结果表明: 4 个蔗叶沟施处理新植蔗和 T1、T4 处理宿根蔗株高、地上茎高、地下茎高及茎重均较 CK 处理降低, 其中 T1 处理降低最突出; 两季甘蔗茎数均以 T4 处理最多, 其次是 CK 处理, 而 T2 处理最少; 两季蔗茎产量均以 T4 处理最高, 累计 185.35 t/hm², 较其他处理增加 3.44%~22.29%, 与 T1、T2 处理的差异均达显著水平。两季甘蔗氮、磷及钾积累量均以 T4 处理最高, 较其他处理分别增加 2.70%~16.86%、2.92%~18.34% 及 2.57%~17.04%, 与 T1、T2 处理的差异均达显著水平。4 个蔗叶沟施处理的土壤有机质含量均显著高于 CK 处理, 全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷及速效钾含量较试验前增加, 其中 T1、T2 处理增幅较大, 但 4 个蔗叶沟施处理间的差异均不显著。综合甘蔗产量、养分积累量及土壤养分含量变化考虑, 本研究条件下 100% 蔗叶与沟土掺混施(T4)效果较佳。

关键词: 甘蔗; 土壤; 蔗叶还田; 产量; 养分

中图分类号: S158.3 **文献标志码:** A

Effects of Trash Application Methods in Furrows on Yield, Nutrient Accumulations in Sugarcanes and Soil Nutrients

WEI Dongping¹, WEI Jianfeng^{2,3*}, HU Guijuan¹, CHENG Hao^{2,3}, LUO Xiaofen², DENG Dongmei^{2,3}, MA Ji^{2,3}, WU Xuanke⁴

(1 Department of Food and Chemical Engineering, Liuzhou Institute of Technology, Liuzhou, Guangxi 545616, China; 2 College of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545005, China; 3 Guangxi Key Laboratory of Green Processing of Sugar Resources, Liuzhou, Guangxi 545005, China; 4 Agro-meteorological Experiment Station of Liuzhou, Liuzhou, Guangxi 545003, China)

Abstract: In order to make efficient use of removed trash, the agronomic characteristics and nutrient accumulations in sugarcane, and soil nutrient contents under different application methods of trash in furrows were investigated. In this study, a field experiment was conducted using sugarcane cultivar Guitang 44, and five treatments were set up in the new planting season, which included no trash returning (CK), 100% trash applied at the bottom of furrows (T1), 100% trash applied on the surface of furrows (T2), 50% trash applied at the bottom of furrows + 50% trash applied on the surface of furrows (T3), and 100% trash mixed with furrow soil (T4). The results showed that plant heights, aboveground and underground stalk heights, and stalk weights of newly planted sugarcanes under the four trash application treatments and ratoon sugarcane under T1 and T4 were lower than those under CK, with T1 being the most significant. Stalk numbers of sugarcanes in two seasons were the highest under T4, followed by CK, and lowest under T2. T4 obtained the highest yields of cane in two seasons, which accumulated to 185.35 t/hm² and increased by 3.44%–22.29% compared with other treatments, and significantly different from T1 and T2. The accumulations of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in sugarcanes in two seasons were the highest under T4, and the accumulative amount increased by 2.70%–16.86%, 2.92%–18.34%, and 2.57%–17.04% compared with other treatments, respectively, and significantly different from T1 and T2. Soil organic matter contents under the four

①基金项目: 国家自然科学基金项目(31860593)、广西自然科学基金项目(2023GXNSFAA026450)和广西糖资源绿色加工重点实验室开放课题(GXTZYKF202201)资助。

* 通信作者(jianfengwei@163.com)

作者简介: 韦冬萍(1982—), 女, 广西柳城人, 硕士, 副研究员, 主要从事作物营养与生理生态研究。E-mail: dpwei-82@163.com

trash application treatments were significantly higher than that under CK, and the contents of total N, P and K, alkali-hydrolyzed N, available P and K were also higher than those before the experiment, and the increases were larger under T1 and T2. However, there were no significant difference in soil nutrient contents among the four trash application treatments. Considering the changes in sugarcane yield, nutrient accumulation, and soil nutrient content, 100% trash mixed with furrow soil (T4) is a better option.

Key words: Sugarcane; Soil; Trash returning; Yield; Nutrient

中国是世界第一秸秆大国, 秸秆无害化利用成为社会关注的热点问题^[1]。秸秆作为一种生物质资源, 直接还田可以减少因焚烧而产生的大气污染, 并能补充土壤养分, 被认为是一种有效的无害化利用方式和农田培肥措施^[2-5]。为明确或提高作物秸秆直接还田效应, 前人围绕还田量、还田方式及还田深度等进行了大量研究, 发现秸秆还田影响作物出苗、生长、产量、养分利用及土壤养分含量等^[6-10]。为克服秸秆直接覆盖还田、浅旋还田及深翻还田等主要模式存在的问题, 一些学者探讨了秸秆集中沟施的方式, 发现不同沟施模式或沟施深度下土壤性状、作物生长与产量存在差异, 但多以沟施深度 20 cm 效果较佳^[10-13]。这些结果为秸秆沟施还田提供了依据。

广西是我国甘蔗种植面积最大的省区, 近年每季甘蔗产生的蔗叶达 500 万 t 以上^[14]。蔗叶的纤维素、半纤维素及木质素含量较高, 还田后因施用方式或施用量不同而历经 180 ~ 360 d 或更长时间才完全腐解^[14-17], 进而对甘蔗萌发、出苗、分蘖、生长及产量产生正负效应^[18-21]。蔗叶的碳含量较高, 含有一定的氮、磷及钾, 还田腐解后对提高土壤有机质、氮、磷及钾含量有一定作用, 但受还田方式、还田量及气候等影响^[2, 14]。近年广西大力发展糖料蔗分步式机收, 但甘蔗离田集中脱叶除杂后的蔗叶处理难度大, 如何高效处置与利用成为亟待解决的问题^[22]。以往蔗叶还田主要集中于原地粉碎或覆盖^[2, 18-21], 但蔗叶全田粉碎或覆盖会缠绕农机器具, 影响新植蔗开沟和覆土, 也不便于后续中耕培土, 推广应用受阻^[23]。随着广西甘蔗生产机械化的快速发展, 大型农机和犁具得到迅速应用, 甘蔗种植时开沟较深、较宽, 为蔗叶沟施创造了条件, 但目前有关蔗叶沟施及其甘蔗吸收利用养分的研究缺乏报道^[24-25]。为此, 结合广西甘蔗生产发展实际, 研究蔗叶在种植沟施用对甘蔗农艺性状、养分积累及土壤养分含量的影响, 以期离田蔗叶再还田肥料化高效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验材料

试验于 2022 年 3 月至 2024 年 2 月在广西柳州市

柳东新区雒容农场糖料蔗基地进行。试验地为红壤, 已连续种植甘蔗 34 年, 上季甘蔗收获时机械移除蔗叶。试验前土壤 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 土层 pH 为 4.84、4.42、4.37, 有机质为 24.23、19.78、12.45 g/kg, 全氮为 1.17、0.99、0.74 g/kg, 全磷为 1.14、0.86、0.54 g/kg, 全钾为 4.30、4.25、4.56 g/kg, 碱解氮为 89.95、73.15、52.33 mg/kg, 有效磷为 80.33、42.25、3.70 mg/kg, 速效钾为 183.90、79.70、46.54 mg/kg。

供试甘蔗为广西主栽品种桂糖 44 号, 当地种植户自留种茎。供试化肥为甘蔗药肥(含噻虫嗪、氯虫苯甲酰胺、N、P₂O₅、K₂O 为 0.4、1.2、180、60、120 g/kg, 广西邦红生物科技有限公司)和氯化钾(含 K₂O 为 600 g/kg, 青海盐湖工业股份有限公司)。供试蔗叶经机械粉碎成长度 ≤ 15 cm, 水分含量为 152.14 g/kg, 烘干后碳、氮、磷及钾含量为 430.45、7.07、0.79、8.25 g/kg。

1.2 试验设计

试验设无蔗叶还田(CK)和 100% 蔗叶沟底施(T1: 全部蔗叶施于种植沟底部并摊平, 在覆盖碎土厚约 3 cm 后播种甘蔗)、100% 蔗叶沟面施(T2: 甘蔗播种后, 全部蔗叶施于种植行表面并摊平)、50% 蔗叶沟底施 + 50% 蔗叶沟面施(T3: 50% 蔗叶施于种植沟底部并摊平, 在覆盖碎土厚约 3 cm 后播种甘蔗, 再在种茎覆土后, 将余下 50% 蔗叶施于种植行表面并摊平)、100% 蔗叶与沟土掺混施(T4: 全部蔗叶与种植沟内碎土混合后播种甘蔗)5 个处理。还田蔗叶量为 10.90 t/hm², 按种植沟长度计算, 为 1.20 kg/m。每处理种植 6 行, 行距 1.1 m, 行长 6.0 m, 面积 39.6 m²。每处理重复 3 次。

按当地甘蔗生产习惯, 播种前用拖拉机牵引四铧犁翻土深 30 cm, 用旋耕机旋耕碎土深 25 cm, 用开沟犁按行距 1.1 m 开种植沟, 行沟深 25 cm, 沟底宽 35 cm, 沟面宽 50 cm。2022 年 3 月 19 日播种, 下种量 15 t/hm², 约为 12 万芽/hm², 摆种后, 人工用小锄在行沟内砍种 2 ~ 3 芽/段, 施甘蔗药肥 375 kg/hm², 后覆土, 厚度约 5 cm。2022 年 6 月 5 日, 新植蔗用机械施甘蔗药肥 1 500 kg/hm² 和氯化钾 200 kg/hm², 并培土覆盖。2023 年 3 月 29 日, 将小区外萌发的蔗

莞带土移植到小区内，取样留下的空穴，宿根季不采集；2023 年 4 月 30 日，宿根蔗用机械破垄，施甘蔗药肥 1 875 kg/hm² 和氯化钾 200 kg/hm²，并培土覆盖。两季甘蔗收获后 2 周内，全田焚烧蔗叶。试验蔗地杂草和病虫害防治与其他蔗地统一，采用机械喷洒药剂防治。

1.3 测定指标与方法

在甘蔗工艺成熟期，新植蔗、宿根蔗分别于 2022 年 12 月 15 日、2023 年 12 月 5 日，每处理连续取 6 株蔗叶附着完整的甘蔗，在基部周围 15 cm、深至地下种茎处连同土壤挖出，调查株高、地上茎高、地下茎高、茎径、茎重，并参考文献[26]中的方法测定根、茎、叶的氮、磷及钾含量，计算相应积累量；同时田间调查甘蔗株高、茎径、茎数，砍收测蔗茎产量。2024 年 2 月 26 日，用土钻取种植行 5 个点 0~20 cm 土层的土壤，参考文献[27]中的重铬酸钾容量法、凯氏定氮法、氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法、硝酸-高氯酸消煮-火焰光度法、碱解扩散法、碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法、乙酸铵浸提-火焰光度法分别测定有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷及速效钾含量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 及 SPSS 19.0 软件进行数据处

理与统计分析，采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 蔗叶沟施方式对甘蔗农艺性状的影响

表 1 显示，T2、T3 处理宿根蔗株高、地上茎高及茎重较 CK 处理增加，但 4 个蔗叶沟施处理新植蔗和 T1、T4 处理宿根蔗的株高、地上茎高及茎重较 CK 处理降低，其中 T1 处理与 CK 处理的差异均达显著水平；4 个蔗叶沟施处理两季甘蔗地下茎高较 CK 处理降低，其中 T1、T2、T3 处理与 CK 处理的差异均达显著水平，且均以 T1 处理最矮；两季甘蔗茎径均以 T3 处理最粗，但处理间的差异均不显著；两季甘蔗茎数均以 T4 处理最多，累计为 222 725 条/hm²，较其余处理增加 6.20%~13.95%，其次是 CK 处理，而 T2 处理最少，且 T4 处理与其余处理的差异均达显著水平；两季蔗茎产量均以 T4 处理最高，累计为 185.35 t/hm²，较其余处理增加 3.44%~22.29%，其次是 CK 处理，而 T1 处理最低，且 T4 处理与 T1、T2 处理的差异均达显著水平。可见，T4 处理甘蔗茎数较多，稳产增产。

表 1 不同蔗叶沟施方式下甘蔗农艺性状
Table 1 Agronomic characteristics of sugarcanes under different trash application methods in furrows

甘蔗季	处理	株高(cm)	地上茎高(cm)	地下茎高(cm)	茎径(cm)	茎重(kg/条)	茎数(条/hm ²)	蔗茎产量(t/hm ²)
新植季	T1	126.63 c	108.71 c	6.50 c	2.31 a	0.48 d	101 515 b	43.33 c
	T2	142.76 b	122.94 b	6.61 c	2.31 a	0.54 c	95 455 c	45.45 c
	T3	150.14 b	127.95 b	7.59 b	2.42 a	0.59 ab	96 212 c	49.16 b
	T4	145.33 b	125.38 b	8.12 ab	2.35 a	0.57 b	109 848 a	55.38 a
	CK	161.60 a	139.22 a	8.73 a	2.33 a	0.60 a	104 409 b	55.02 a
宿根季	T1	274.53 c	244.88 c	7.17 c	2.35 a	1.16 c	100 000 c	108.23 c
	T2	298.86 a	269.35 a	7.33 c	2.33 a	1.30 ab	100 000 c	119.77 b
	T3	301.04 a	269.47 a	8.67 b	2.39 a	1.36 a	100 757 bc	125.72 ab
	T4	280.65 bc	253.26 bc	9.65 a	2.31 a	1.24 b	112 877 a	129.97 a
	CK	292.95 ab	265.47 ab	9.98 a	2.37 a	1.27 b	105 303 b	124.16 ab

注：表中同列数据后不同小写字母表示同一季甘蔗不同处理间差异显著(P<0.05)；下同。

2.2 蔗叶沟施方式对甘蔗养分含量的影响

表 2 显示，在新植季，4 个蔗叶沟施处理甘蔗各器官氮含量较 CK 处理增加，其中 T1、T2 处理茎的氮含量显著高于 T4、CK 处理；4 个蔗叶沟施处理根的磷含量较 CK 处理增加，其中 T1 处理显著高于其余处理，但各处理茎、叶的磷含量差异不显著；4 个蔗叶沟施处理根、叶的钾含量较 CK 处理增加，而茎

的钾含量较 CK 处理减少，其中 T1、T2 处理根、叶的钾含量显著高于 T4、CK 处理。在宿根季，4 个蔗叶沟施处理甘蔗根、叶的氮、钾含量较 CK 处理增加，而茎的氮、钾含量较 CK 处理减少，但处理间的差异均不显著；各处理根、茎及叶的磷含量差异不显著。可见，蔗叶沟施方式主要对新植蔗养分含量有显著影响。

表 2 不同蔗叶沟施方式下甘蔗养分含量(g/kg)
Table 2 Nutrients contents in sugarcanes under different trash application methods in furrows

甘蔗季	处理	氮			磷			钾		
		根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
新植季	T1	7.29 a	5.94 a	6.23 a	0.61 a	0.44 a	0.65 a	3.78 a	8.90 a	8.36 a
	T2	7.11 a	6.04 a	6.14 a	0.56 b	0.45 a	0.64 a	3.71 a	8.98 a	8.14 a
	T3	7.11 a	5.87 ab	6.19 a	0.56 b	0.44 a	0.63 a	3.53 b	8.87 a	8.01 a
	T4	7.07 a	5.64 b	6.09 a	0.57 b	0.44 a	0.64 a	3.52 b	8.76 a	7.53 b
	CK	7.00 a	5.63 b	5.94 a	0.55 b	0.44 a	0.64 a	3.51 b	9.03 a	6.92 c
宿根季	T1	4.64 a	3.44 a	6.03 a	0.47 a	0.35 a	0.62 a	2.61 a	7.89 a	8.97 a
	T2	4.56 a	3.39 a	6.29 a	0.45 a	0.35 a	0.64 a	2.58 a	7.99 a	9.02 a
	T3	4.48 a	3.34 a	6.27 a	0.45 a	0.35 a	0.63 a	2.56 a	8.00 a	9.00 a
	T4	4.48 a	3.44 a	6.20 a	0.45 a	0.34 a	0.64 a	2.54 a	7.95 a	8.94 a
	CK	4.45 a	3.48 a	6.00 a	0.45 a	0.35 a	0.61 a	2.53 a	8.05 a	8.62 a

2.3 蔗叶沟施方式对甘蔗养分积累的影响

表 3 显示,新植蔗各器官氮、磷积累量及总量均以 T4 处理最高,其次是 CK 处理,两者与 T1、T2 处理的差异均达显著水平;T4 处理根的钾积累量和钾积累总量略高于 CK 处理,而茎的钾积累量略低于 CK 处理,但两者均显著高于其余处理;T4 处理叶的钾积累量与 T3 处理差异不显著,但两者显著高于其余处理。在宿根季,T4 处理根的氮、钾积累量显著高于 T1 处理,但与其他处理的差异均不显著;T4 处理茎的氮、钾积累量与 CK 处理差异不显著,但两者均显著高于 T1、T2 处理;T4 处理叶的氮、钾积累量与 T3 处理差异不显著,但两者均显著

高于 T1、CK 处理;T4 处理氮、钾积累总量较其余处理分别增加 2.97%~15.68%、1.15%~15.58%,与 T1、T2 处理的差异均达显著水平;T4 处理根、茎的磷积累量和磷积累总量略高于 T3、CK 处理,显著高于 T1、T2 处理;T4 处理叶的磷积累量略高于 T3 处理,显著高于其余处理。两季甘蔗氮、磷及钾积累总量以 T4 处理最多,分别为 349.69、33.43、608.19 kg/hm²,较其余处理分别增加 2.70%~16.86%、2.92%~18.34%、2.57%~17.04%,其次是 CK 处理,而 T1 处理最少。可见,T4 处理甘蔗吸收氮、磷及钾养分较多,而 T1 处理甘蔗吸收氮、磷及钾养分较少。

表 3 不同蔗叶沟施方式下甘蔗养分积累量(kg/hm²)
Table 3 Nutrient accumulations in sugarcanes under different trash application methods in furrows

甘蔗季	处理	氮				磷				钾			
		根	茎	叶	总量	根	茎	叶	总量	根	茎	叶	总量
新植季	T1	2.53 d	78.20 d	37.30 b	118.03 c	0.21 b	5.80 d	3.90 c	9.91 c	1.31 c	117.11 c	50.07 b	168.49 c
	T2	2.68 c	82.48 c	38.26 b	123.42 c	0.21 b	6.11 c	4.01 c	10.33 c	1.40 b	122.65 c	50.75 b	174.80 c
	T3	2.86 b	87.15 b	42.43 a	132.44 b	0.22 b	6.60 b	4.29 b	11.11 b	1.42 b	131.72 b	54.95 a	188.09 b
	T4	3.10 a	93.15 a	43.82 a	140.07 a	0.25 a	7.31 a	4.64 a	12.20 a	1.54 a	146.60 a	54.21 a	202.35 a
	CK	3.03 a	93.10 a	42.57 a	138.70 ab	0.24 a	7.28 a	4.59 a	12.11 a	1.52 a	149.44 a	49.57 b	200.53 a
宿根季	T1	3.09 b	104.58 d	73.53 c	181.20 c	0.31 c	10.51 c	7.52 d	18.34 c	1.74 b	239.94 c	109.45 c	351.13 c
	T2	3.42 a	111.74 c	80.61 a	195.77 b	0.34 b	11.49 b	8.15 bc	19.98 b	1.93 a	263.45 b	115.63 ab	381.01 b
	T3	3.51 a	116.29 bc	83.78 a	203.58 ab	0.35 ab	12.03 ab	8.43 ab	20.81 ab	2.01 a	278.94 a	120.28 a	401.23 a
	T4	3.56 a	122.86 a	83.20 a	209.62 a	0.36 a	12.27 a	8.60 a	21.23 a	2.02 a	283.76 a	120.06 a	405.84 a
	CK	3.48 a	120.10 ab	78.22 b	201.80 ab	0.35 ab	12.11 a	7.91 c	20.37 ab	1.98 a	278.05 a	112.40 bc	392.43 ab

2.4 蔗叶沟施方式对甘蔗土壤养分含量的影响

表 4 显示,4 个蔗叶沟施处理土壤有机质含量均显著高于 CK 处理和试验前,较 CK 处理和试验前分别增加 6.97%~9.64%、7.10%~9.78%,其中 T2 处

理最高,其次是 T1 处理,但 4 个蔗叶沟施处理间的差异不显著;4 个蔗叶沟施处理土壤全氮、碱解氮含量较试验前分别增加 1.71%~5.98%、1.60%~5.80%,而 CK 处理全氮、碱解氮含量较试验前减少,其中

T1 处理与试验前、T2 与 CK 处理的差异均达显著水平；5 个处理土壤全磷、有效磷含量较试验前分别增加 3.51%~5.26%、8.99%~10.42%，其中 T1、T2 处理与试验前的差异均达显著水平，其余处理有效磷含量与试验前的差异也达显著水平，但 5 个处理间的差

异均不显著；5 个处理土壤全钾、速效钾含量较试验前分别增加 1.86%~3.49%、1.88%~3.35%，其中 T1 处理最高，其次是 T2 处理，但处理间的差异均不显著。可见，蔗叶沟施可增加表层土壤有机质、氮、磷及钾含量，其中 T1、T2 处理的增幅较大。

表 4 不同蔗叶沟施方式下土壤养分含量
Table 4 Soil nutrient contents under different trash application methods in furrows

处理	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	全磷(g/kg)	有效磷(mg/kg)	全钾(g/kg)	速效钾(mg/kg)
T1	26.23 a	1.24 a	95.17 a	1.20 a	88.55 a	4.45 a	190.07 a
T2	26.60 a	1.21 ab	93.52 ab	1.20 a	88.70 a	4.42 a	189.81 a
T3	26.11 a	1.20 abc	92.43 abc	1.19 ab	88.44 a	4.41 a	188.65 a
T4	25.95 a	1.19 abc	91.39 abc	1.19 ab	88.05 a	4.39 a	187.91 a
CK	24.26 b	1.15 c	88.16 c	1.18 ab	87.55 a	4.38 a	187.36 a
试验前	24.23 b	1.17 bc	89.95 bc	1.14 b	80.33 b	4.30 a	183.90 a

3 讨论

3.1 蔗叶沟施方式对甘蔗农艺性状的影响

有关蔗叶还田对甘蔗农艺性状的影响结果不尽相同^[18-21]。有的认为蔗叶原位覆盖较原位焚烧可增加发株数、有效茎数、株高、茎径、单茎重及产量^[21]，也有认为蔗叶全田覆盖或隔行覆盖的茎径、株高、单茎重及蔗茎产量与焚烧处理的差异不显著^[18]；有的指出蔗叶原位粉碎、焚烧或移除甘蔗出苗率、分蘖率及苗高明显大于原位覆盖^[19]，也有的指出蔗叶粉碎还田对甘蔗生长无明显影响^[20]。本研究中，4 个蔗叶沟施处理的新植蔗株高、地上茎高及茎重均较 CK 处理降低，其中 T1 处理最突出，与前人研究玉米的结果相似^[10]，原因可能是新植蔗生长中后期(7—10 月)，当地缺雨干旱引起沟施蔗叶腐解缓慢，表土形成架空或秸秆隔层而阻碍重力水下渗和降低土壤蓄水保墒能力，且地下茎入土较浅，导致干旱危害加剧^[2,7-8,10]。在宿根季，T2、T3 处理株高、地上茎高及茎重较 CK 处理增加，但 T1 处理仍然显著低于 CK 处理，这可能是 T1 处理蔗叶集中施放的土层较深，处于嫌气状况，腐解缓慢而形成秸秆隔层，进而抑制甘蔗根系生长和吸收水肥所致^[1,10,13,18,28]。此外，4 个蔗叶沟施处理两季甘蔗地下茎高均较 CK 处理降低，其中 T1、T2 处理较突出，这主要是蓬松蔗叶施入种植沟后抬高了沟面，从而减少了培土厚度的缘故。在两季甘蔗中，T4 处理茎数较其余处理显著增加，原因可能是 T4 处理蔗叶与种植沟全土混合充分，促进了土壤氮和微生物接触蔗叶，加快了蔗叶腐解，增加了表土孔隙度和透气性，进而在 3—6 月当地降雨充足条件下

促进了甘蔗萌发和分蘖^[1,7-8,21,24]。另外，两季蔗茎产量均以 T4 处理最高，而 T1、T2 处理较低，与前人研究玉米的结果相似^[7]。可见，蔗叶与种植沟全土掺混施用有利于甘蔗茎数增加，稳产和增产，而蔗叶集中施于种植沟底部或表面有减产现象。

3.2 蔗叶沟施方式对甘蔗养分积累的影响

养分吸收是作物产量形成的基础，但不同秸秆还田方式下作物积累养分的趋势不甚相同^[6-9,29]。本研究中，T4 处理两季甘蔗氮、磷及钾积累量较其余处理增加，与 T1、T2 处理的差异均达显著水平，与蔗茎产量变化相似，这可能是 T4 处理群体数量较大而吸收养分较多的缘故，也可能是因为蔗叶在种植沟全土分布较均匀，腐解释放养分较快，改善土壤性状较优，进而促进了甘蔗吸收养分^[1]。此外，T3、T4 处理两季甘蔗叶的钾积累量和宿根蔗叶的氮、磷积累量显著大于 CK 处理，与前人研究棉花^[6]、玉米^[8,29]及水稻^[30]的结果相似，这可能是蔗叶分散施用后调节土壤性状，进而促使甘蔗生长后期叶片积累干物质较多、维持养分浓度较高所致^[8]。但是，T4、CK 处理新植蔗根的磷含量、茎的氮含量及叶的钾含量均显著低于 T1 处理，这可能是植株较大而引起的养分稀释效应。可见，蔗叶与种植沟全土掺混施用可促进甘蔗吸收和积累氮、磷及钾养分，而蔗叶集中施于种植沟底部或表面会抑制甘蔗吸收和积累养分。

3.3 蔗叶沟施方式对甘蔗土壤养分的影响

不同秸秆还田方式下土壤养分含量增加效果不尽一致^[1-3,7,11,13]。本研究中，4 个蔗叶沟施处理的表层土壤有机质含量均较 CK 处理和试验前显著增加，与前人研究结果相似^[1-2,4,13,25]，这主要是因为蔗叶含

碳量较高,且仅施于种植沟,表土投入蔗叶量大增,经土壤微生物和酶分解后有效补充了有机质^[1]。此外,4个蔗叶沟施处理土壤全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷及速效钾含量较CK处理和试验前增加,其中T1、T2处理的增幅较大,这可能是由于蔗叶集中施于种植沟底部或表面,腐解缓慢,进而引起养分滞留和甘蔗吸收养分较少的缘故^[1,7,13]。然而,4个蔗叶沟施处理的全磷、全钾、有效磷及速效钾含量与CK处理的差异均不显著,与前人研究结果不尽相同^[1-3,7,11,25],这可能是蔗叶携带的磷较少、释放钾较快及甘蔗吸收钾较多所致^[1-2]。另外,4个蔗叶沟施处理土壤有机质、氮、磷及钾含量差异均不显著,与前人研究玉米秸秆还田的结果相似^[1],其原因可能是蔗叶均施于种植沟表土,历经2季甘蔗才采样分析,进而缩小了施用方式间的效应差异。但是,CK处理土壤有效磷含量较试验前显著增加,这可能是磷肥施用量过多引起的盈余。可见,蔗叶沟施对表土有机质和氮的增加效应较大,其中以蔗叶集中施于沟底或沟面较突出。

4 结论

连续两季甘蔗试验表明,100%蔗叶与沟土掺混施用处理的蔗茎数量较多,有稳产、增产趋势,而其余蔗叶沟施处理尤其是蔗叶100%沟底施或沟面施有减产现象;4个蔗叶沟施处理两季甘蔗氮、磷及钾积累量差异与蔗茎产量变化相似,以100%蔗叶与沟土掺混施用处理较高;蔗叶沟施可显著增加种植沟表土有机质含量,不同程度增加全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷及速效钾含量,其中100%蔗叶沟底施和100%蔗叶沟面施的增幅较大,但4个蔗叶沟施处理间土壤各养分含量差异不显著。从甘蔗产量、养分积累量及土壤养分含量变化综合考虑,本研究条件下100%蔗叶与沟土掺混施用效果较佳。

参考文献:

- [1] 田平,姜英,孙悦,等.不同还田方式对玉米秸秆腐解及土壤养分含量的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(1):100-108.
- [2] 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.
- [3] 穆青,夏淑媛,李庆阳,等.不同秸秆还田方式对典型砂姜黑土收缩特征的影响[J].土壤,2024,56(5):1084-1090.
- [4] 刘艳,叶鑫,包红静,等.秸秆还田配施化肥对春玉米耕层土壤理化性质及产量的影响[J].土壤,2023,55(2):254-261.
- [5] 郭伟,李丹丹,徐基胜,等.秸秆与有机无机肥配施对不同质地潮土土壤质量和小麦产量的影响[J].土壤学报,2024,61(5):1360-1373.
- [6] 闫晓宇,郭文君,秦都林,等.滨海盐碱地棉花秸秆还田和深松对棉花干物质积累、养分吸收及产量的影响[J].作物学报,2022,48(5):1235-1247.
- [7] 王月宁,冯朋博,李荣,等.不同秸秆还田方式对宁夏扬黄灌区土壤性质及玉米生长的影响[J].西南农业学报,2019,32(11):2607-2614.
- [8] 谢婷婷,肖厚军,陈云梅,等.贵州春玉米产量构成要素和养分积累及利用效率对不同秸秆还田和耕作方式的响应[J].西南农业学报,2022,35(5):1056-1062.
- [9] 吴梦娜,王少杰,兰唱,等.不同秸秆还田方式下黑土玉米田肥料氮素去向[J].土壤学报,2024,61(2):506-514.
- [10] 王秋菊,焦峰,刘峰,等.秸秆粉碎集条深埋机械还田模式对玉米生长及产量的影响[J].农业工程学报,2018,34(9):153-159.
- [11] 王治统,凌俊,刘子熙,等.秸秆还田方式对土壤理化性质和玉米产量的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(4):663-674.
- [12] 宋广鹏,孙新素,何瑞银,等.秸秆机械集中沟埋还田对稻麦轮作作物生长和产量的影响[J].土壤通报,2018,49(3):653-658.
- [13] 田雪,孙奥博,陈春羽,等.秸秆还田深度对土壤性状及玉米生长的影响[J].西南农业学报,2022,35(11):2571-2578.
- [14] 梁强,梁宏卫,胡水凤,等.甘蔗秸秆综合利用技术研究现状[J].甘蔗糖业,2023,52(5):42-51.
- [15] de Andrade A F, Flores R A, Casaroli D, et al. K dynamics in the soil-plant system for sugarcane crops: A current field experiment under tropical conditions[J]. Sugar Tech, 2021, 23(6): 1247-1257.
- [16] de A Sousa J G, Cherubin M R, Cerri C E P, et al. Sugar cane straw left in the field during harvest: decomposition dynamics and composition changes[J]. Soil Research, 2017, 55(8): 758.
- [17] White P M, Webber C L. Green-cane harvested sugarcane crop residue decomposition as a function of temperature, soil moisture, and particle size[J]. Sugar Tech, 2018, 20(5): 497-508.
- [18] 崔雄维,张跃彬,郭家文,等.蔗叶不同还田模式对土壤水分和甘蔗产量的影响[J].中国糖料,2010,32(4):21-23.
- [19] 罗亚伟,梁圆,黄金生,等.蔗叶残株不同处理方式对宿根蔗出苗生长的影响[J].甘蔗糖业,2022,51(4):13-18.
- [20] Gonçalves I Z, Vianna M S, Nassif D S P, et al. Effects of residue from harvested green cane on evapotranspiration, growth, and development of irrigated sugarcane in southern Brazil[J]. Sugar Tech, 2023, 25(6): 1445-1455.
- [21] 陈寿宏,杨清辉,郭兆建,等.蔗叶覆盖还田系列研究 I.对甘蔗工、农艺性状的影响[J].中国糖料,2016,38(4):10-13,18.

- [22] 梁家亮, 何莹莹, 唐思懿, 等. 贵港市糖料蔗分步式机收优势及存在问题[J]. 广西糖业, 2024, 44(2): 112–117.
- [23] 卢敬铭, 李明, 韦丽娇, 等. 甘蔗叶粉碎还田技术推广存在的现状及对策[J]. 热带农业工程, 2012, 36(6): 43–45.
- [24] 葛畅, 韦丽娇, 李明, 等. 甘蔗叶还田对甘蔗生长及叶片 SPAD 值的影响[J]. 中国热带农业, 2019(5): 60–63.
- [25] 廖青, 韦广泼, 陈桂芬, 等. 蔗叶还田对土壤微生物、理化性状及甘蔗生长的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 658–662.
- [26] 中华人民共和国农业部. 植物中氮、磷、钾的测定: NY/T 2017—2011[S]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [28] 闫小丽, 薛少平, 朱瑞祥, 等. 冬小麦秸秆还田对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(7): 41–46.
- [29] 沈学善, 屈会娟, 李金才, 等. 玉米秸秆还田和耕作方式对小麦养分积累与转运的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(1): 143–149.
- [30] 唐海明, 肖小平, 汤文光, 等. 冬季覆盖作物秸秆还田对水稻植株养分积累与转运的影响[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(8): 63–73.