

# 糖厂酒精生产废液施用对蔗地水分、铜和氯利用及流失的影响

苏天明<sup>1,2</sup>, 李杨瑞<sup>1,2</sup>, 韦广泼<sup>2</sup>, 江泽普<sup>2</sup>

(1. 广西大学 农学院, 广西 南宁 530005; 2. 广西农科院 土壤肥料研究所, 广西 南宁 530007)

**摘 要:** 为促进甘蔗酒精生产废液资源化利用, 为农作物提供有效的肥料资源及相关水肥管理模式, 对比研究了甘蔗地上施用甘蔗酒精生产废液、化肥及不施肥等处理对水分、铜和氯养分吸收及流失的影响, 并对施用甘蔗酒精生产废液的安全性和对地表水环境污染的影响进行了评价。结果表明, 与化肥处理 CK<sub>2</sub> 相比, 甘蔗酒精生产废液的施用提高了土壤的水分利用率, 降低了甘蔗中铜的含量及铜的径流流失, 提高了甘蔗中氯的含量, 但各处理蔗汁或径流水中的铜、氯含量或浓度远低于国家标准值。认为在该试验条件下富含有机质的甘蔗酒精生产废液在蔗地上施用, 对蔗糖及地表水环境质量没有不良影响, 值得推广应用。

**关键词:** 酒精废液; 肥料资源; 水环境污染

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0090-04

中图分类号: S141.8

## Effects of Sugar Mill Vinasse Application on Water, Copper and Chlorine Utilization and Loss

SU Tian-ming<sup>1,2</sup>, LI Yang-rui<sup>1,2</sup>, WEI Guang-po<sup>2</sup>, JIANG Ze-pu<sup>2</sup>

(1. Agricultural College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530005, China;

2. Institute of Soil and Fertilizer, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China)

**Abstract:** This study was conducted in a sugarcane field in order to promote vinasse application as an effective fertilizer resource and develop a mode of water and nutrient management in sugarcane fields. Three treatments were designed as follows: CK<sub>1</sub> (no fertilizer treatment), CK<sub>2</sub> (chemical fertilization treatment), vinasse (75 t/hm<sup>2</sup> vinasse treatment). The effects of three treatments on soil moisture, Cu, and Cl uptakes by sugarcane and runoff losses were investigated and food safety or environmental contamination in surface runoff water was assessed. Results showed that the application of vinasse increased soil moisture utilization rate and decreased Cu content in sugarcane and surface runoff, as compared with treatment CK<sub>2</sub>. However, the application of vinasse increased Cl content in sugarcane and Cl contents or concentrations in sugarcane juice or runoff for all treatments were far less than GB value. It is concluded that in this experimental condition vinasse (containing much organic matter) application to sugarcane field decreases water and copper loss, but no serious consequence is found on quality of sucrose and surface water environment. Vinasse is suitable for sugarcane field application.

**Key words:** sugarcane vinasse; fertilizer resource; pollution of water environment

甘蔗酒精生产废液(以下简称废液)是一种来自甘蔗糖厂或酒精厂的酸性有机废水。我国目前每年排放这种废水约  $2.55 \times 10^6 \sim 2.80 \times 10^6$  t 左右<sup>[1]</sup>, 已经引起了严重的环境污染问题。该类废液中含有大量的 N, K, 有机质, 氯和少量的铜。巴西和我国在 20 世纪 70—80 年代早已将其直接用于蔗地灌溉。多年

的试验结果表明, 该类废液在蔗地上施用不仅有较好的节本增产效果<sup>[2]</sup>, 还能改善土壤结构, 提高土壤肥力<sup>[3]</sup>。该类废液为需水季节或干旱地区的水源灌溉提供了有效的解决途径。据研究表明, 适量的铜养分有利于作物生长发育<sup>[4]</sup>, 而当其浓度过高时则会引起作物中毒<sup>[4-6]</sup>, 甚至产生大量流失, 污染地下水或地表

收稿日期: 2008-12-06

修回日期: 2009-03-26

资助项目: 国家支撑计划项目(2007BAD30B03); 广西壮族自治区环保局项目(桂环计字[2005]81号); 广西科技攻关项目(0782004-3); 广西科学青年基金(0728028); 广西壮族自治区农业厅项目(NK200906)

作者简介: 苏天明(1977—), 男(汉族), 广西省贵港市人, 广西大学在读博士, 助研, 主要从事植物营养、土壤环境方面的研究。E-mail: wesy0637@163.com。

通信作者: 李杨瑞(1957—), 男(汉族), 广西省北流市人, 博导, 教授, 主要从事作物栽培及分子育种方面的研究。E-mail: liyangrui40@hotmail.com。

水<sup>[7]</sup>。有关废液中的水分、铜和氯对作物的吸收利用及其径流流失的影响,至今未见报道。本试验以常规化肥和不施肥处理为对照,研究了废液施用对蔗地水分、铜、氯养分的利用及径流流失的影响,对废液农田施用的环境污染进行了评价,为废液在需水季节或干旱地区的农田施用提供科学的理论指导。

## 1 研究区概况

试验区广西省扶绥县地处东经 107° 40' 8", 北纬 22° 11' 22.57" 之间,土地总面积 2 836 km<sup>2</sup>,地处北回归线以南,属亚热带季风气候,年平均气温在 21.3 ~ 22.4 之间,无霜期平均为 358 d,年降雨

量平均 1 236.5 mm,年蒸发量平均为 1 638.9 mm,试验时的 2007 年降雨量为 606.0 mm。试验地属第四纪红土发育的赤红壤,坡度为 5°。

## 2 研究方法

### 2.1 试验材料

栽培作物为甘蔗,品种为桂糖 21。试验土壤为典型赤红壤,甘蔗酒精生产废液取自扶绥金光农场酒精厂,尿素由四川天华股份有限公司提供,钙镁磷肥由云南昆阳滇白化工有限公司生产提供,氯化钾由加拿大进口,由中化化肥有限公司提供。试验土壤、废液和化肥化学性质见表 1。

表 1 试验土壤、酒精废液和化肥化学性质

样品	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / (g·kg <sup>-1</sup> )	全 K <sub>2</sub> O/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效 N/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效 K <sub>2</sub> O/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH	有机 质/ %	全铜/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全氯/ %
土壤	0.80	1.80	7.20	0.14	38.93	0.15	4.51	3.01	44.15	0.01
废液	6.00	0.20	17.70	2.30	—	4.00	5.61	5.83	4.27	1.03
钙镁磷肥	—	180.00	—	—	—	—	—	—	24.86	0
尿素	463.00	—	—	—	—	—	—	—	0	0
氯化钾	—	—	600.00	—	—	—	—	—	0	45.32

### 2.2 试验设计

设 3 个施肥处理,(1) CK<sub>1</sub>:不施肥;(2) CK<sub>2</sub>:基施 181.70 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,追施 450.00 kg/hm<sup>2</sup> N 素和 1 327.5 kg/hm<sup>2</sup> K<sub>2</sub>O;(3) 废液(vinasse):基施 75 t/hm<sup>2</sup> 废液和 166.7 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。各处理施基肥时施用清水保持施水量一致,均为 105 t/hm<sup>2</sup>,CK<sub>2</sub> 和 vinasse 处理所施用的 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 用量相同。分别选择尿素、钙镁磷肥、氯化钾做为 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 的肥源。

采用随机区组设计,3 次重复,共 9 个小区。小区面积为 30 m<sup>2</sup>,长 6 m,宽 5 m,行距为 1.2 m,行长为 5 m,共 5 行,每行双行种植共 70 个蔗芽。

径流水收集方法:用泥土堵截和开沟导流的方法将每个小区 5 行种植沟中 3 行的地表径流水汇集到分流装置,将 1/4 比例的水分流到径流水收集桶,测量其径流体积,再换算为每 1 hm<sup>2</sup> 的径流水体积。

试验在广西省扶绥县昌平乡扶绥糖办甘蔗试验基地进行,于 2007 年 1 月 29 日起至 12 月 20 日止。1 月 29 日基施钙镁磷肥、酒精废液和清水,1 月 30 日种植甘蔗,5 月 29 日对 CK<sub>2</sub> 一次性追施 N, K 化肥,分别于 2007 年 5 月 22 日,5 月 29 日,6 月 14 日,7 月 10 日,8 月 16 日,8 月 31 日,9 月 21 日,10 月 23 日收集径流水,测量其体积和铜、氯浓度(5 月 22 日的径流水体积为 2007 年 1 月 1 日始到该日期止的径流

水体积累计值,10 月 23 日起到 2007 年底没有收集到表面径流水,其它各时期收集的径流水体积为上一收集日期起到该日期止的径流水体积累计值)。12 月 20 日收获甘蔗,测定植株铜、氯及水分含量。

### 2.3 分析和计算方法

土壤、植株和水样铜、氯项目测定按照鲁如坤的方法<sup>[8]</sup>,酒精废液和化肥氮、磷、钾养分、pH、有机质、铜、氯项目测定按照全国肥料和土壤调理剂标准化技术委员会的方法<sup>[9]</sup>。其中,Cu<sup>2+</sup> 用 AAS 法,Cl<sup>-</sup> 用 AgNO<sub>3</sub> 滴定法。

年径流水总体积(t/hm<sup>2</sup>)为 8 个日期测定的径流水体积之和,养分平均浓度为 8 次收集的径流水各养分浓度的平均值,养分总流失量为各次收集的径流水养分浓度与径流水体积乘积之和,肥料养分流失率为:(施肥处理养分流失量 - CK<sub>1</sub> 养分流失量)/施肥量。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同施肥方式对甘蔗铜、氯及水分吸收的影响

表 2 为甘蔗不同组织中铜、氯含量及含水量。本试验各处理甘蔗蔗汁全 Cu 含量是否适合于人类食用,目前我国尚无明确的标准,但低于国家规定的无公害蔬菜 10 mg/kg 的安全标准值<sup>[10]</sup>,蔗汁 Cl 含量都低于 0.30 % 的影响制糖指标<sup>[11]</sup>。朱秋珍等研究表明,含氯酒精废液的施用可降低甘蔗蔗糖份,但与施用常规化

肥的甘蔗蔗糖份相比,差异不显著<sup>[2]</sup>。废液处理与 CK<sub>2</sub>、CK<sub>1</sub> 处理相比,降低了甘蔗植株各部分特别是蔗茎和蔗汁的铜含量,而 CK<sub>2</sub> 与 CK<sub>1</sub> 之间的差异不大。另外一方面,废液、CK<sub>2</sub> 处理与 CK<sub>1</sub> 处理相比,都提高了甘蔗植株各部分特别是蔗茎和蔗汁的氯含量,其中废液处理的蔗叶氯含量稍低于 CK<sub>2</sub> 处理,蔗茎和蔗汁的氯含量则高于 CK<sub>2</sub> 处理。说明废液的蔗地施用与常规施肥相比较,降低了铜的吸收但提高了氯的吸收。从化学特性可知,废液与常规化肥不同,含有很高的有机质,土壤有机质的增加会加剧铜的吸附与螯合,减少土壤有效铜含量,从而减少作物对铜的吸收<sup>[12-13]</sup>。而氯离子易溶于水,生物有效性很高。废液中含有较多的氯养分,同时废液处理增加了土壤水分,促进了氯的溶解,而废液采用基施方式延长了作物对氯的吸收时间,所以与常规施肥处理相比较,提高了对氯的吸收。废液处理的蔗叶和蔗茎含水率均高于其它处理,说明废液的施用促进了植物对水分的吸收。

表 2 甘蔗酒精废液蔗地施用对甘蔗养分的影响

样品	处理	全铜/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全氯/ (g·kg <sup>-1</sup> )	水分/ %
蔗叶	CK <sub>1</sub>	11.78	6.24	69.33
	CK <sub>2</sub>	11.26	7.14	70.00
	废液	11.22	7.05	71.33
蔗茎	CK <sub>1</sub>	7.06	3.25	71.50
	CK <sub>2</sub>	6.91	4.54	71.50
	废液	5.96	6.11	73.50
蔗汁	CK <sub>1</sub>	0.82	0.99	
	CK <sub>2</sub>	0.82	2.13	
	废液	0.66	2.64	

### 3.2 不同施肥方式对土壤铜、氯及水分地表径流流失的影响

表 3 表明,废液的施用大大降低了地表径流水总

体积,分别比 CK<sub>1</sub>、CK<sub>2</sub> 减少了 23.71%、29.97%。酒精废液的施用减少了土壤地表径流水的流失体积,该结果与 Ojeda 等的研究结果<sup>[14-15]</sup>相一致。Tejada 等的研究<sup>[16]</sup>表明,肥料中的有机质和腐殖酸等,通过改善土壤的物理性能如容重、团聚体、孔隙度、持水性等,减少了土壤表面径流水的流失体积。

各处理土壤表面径流水中的铜养分浓度都低于国家制订的地表水环境质量 Ⅲ类水标准值(全 Cu 1.0 mg/L),氯养分浓度都远远低于集中式生活饮用水地表水源标准限值(Cl<sup>-</sup> 250 mg/L)<sup>[17]</sup>。各处理间径流水铜、氯养分平均浓度有不同的表现,废液处理和 CK<sub>1</sub> 处理一样,铜平均浓度比 CK<sub>2</sub> 降低了 16.67%,但差异不显著,废液处理的氯平均浓度显著高于 CK<sub>1</sub> 和 CK<sub>2</sub> 处理,分别提高了 63.14% 和 48.73%。废液处理的铜养分总流失量显著低于 CK<sub>2</sub> 处理,氯养分总流失量低于 CK<sub>2</sub> 处理而高于 CK<sub>1</sub> 处理,但废液处理与其它处理差异不显著。说明废液与常规化肥处理相比,主要是通过减少径流水体积来降低养分总流失量,而铜养分的降低幅度远大于氯。

酒精废液的施用还减少了重金属铜在表面径流水中的浓度,却增加了氯在表面径流水中的浓度。由于有机物质具有较多的含氧功能团(羧基、酚基、羟基等),重金属与有机物质之间有很强的亲和性<sup>[18-19]</sup>,施用有机肥增加土壤对重金属的吸附<sup>[13]</sup>,从而起到降低重金属在径流水中的浓度的作用。而氯易溶于水,移动性强,废液处理氯离子在径流水中的浓度也高于 CK<sub>2</sub> 处理。CK<sub>1</sub> 与施肥处理的铜、氯流失量相差不大,说明径流水流失的铜、氯养分主要来自于土壤,化肥处理 CK<sub>2</sub> 的铜流失率远大于废液处理,废液处理的铜流失量低于 CK<sub>1</sub>,流失率为 0,说明废液施用有降低土壤铜流失的作用,CK<sub>2</sub> 和废液处理的氯流失率较低且相等,说明氯的土壤流失率与施用的这两种氮肥种类相关性不大(见表 4)。

表 3 径流水总体积、铜、氯平均浓度及总流失量

项目	处理	Cu <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	年总径流水体积/ (t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
平均浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	CK <sub>1</sub>	0.05 ±0.00a	8.98 ±0.00 b B	
	CK <sub>2</sub>	0.06 ±0.00a	9.85 ±1.00 b AB	
	废液	0.05 ±0.00a	14.65 ±0.67 a A	
总流失量/ (g·hm <sup>-2</sup> )	CK <sub>1</sub>	3.78 ±0.57 ab	1060.57 ±72.95 b	79.06
	CK <sub>2</sub>	5.29 ±0.18 a	1234.61 ±34.76 a	86.12
	废液	3.33 ±0.11 b	1195.60 ±7.77 ab	60.31

注:数据后的大写或小写字母分别表示差异达极显著( $P < 0.01$ )或显著( $P < 0.05$ )水平。

表4 不同施肥处理养分流失率

项目	施肥量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			流失量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			流失率/%		
	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>	废液	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>	废液	CK <sub>1</sub>	CK <sub>2</sub>	废液
Cu <sup>2+</sup>	0	0.03	0.32	3.78	5.29	3.33	-	5.03	0
Cl <sup>-</sup>	0	1002.70	772.50	1060.50	1234.61	1195.60	-	0.02	0.02

## 4 结论

本文分析研究后,初步得出以下结论:废液的施用与常规施肥相比较,提高了土壤的水分利用率,降低了铜的吸收利用率和流失率,提高了氯的吸收利用率。废液施用对铜、氯养分利用及流失的影响作用不一样,这与不同离子养分的溶解性、吸附性和移动性差异有密切关系。废液农田施用后,甘蔗蔗汁及径流水中的微量养分含量或浓度均低于国家标准限值。说明废液的农田施用具有很高的经济和生态效益,不仅能节本增产,还能减少水分和铜养分的流失,提高其利用率,并且对当季甘蔗作物的品质和径流水的环境质量没有不良影响,为我国南方地区需水季节或干旱、半干旱地区的作物施肥和水肥管理提供良好的模式。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 欧胜彬,杨辉,梁海秋,等. 我国糖蜜酒精废液治理技术的回顾和展望[J]. 广西轻工业,2002(4):10-11,21.
- [2] 朱秋珍,李杨瑞,王维赞,等. 甘蔗定量施用糖厂酒精废液试验初报[J]. 中国糖料,2007(3):7-10.
- [3] 李清解. 糖蜜酒精废液的处理和利用[J]. 广西化工,1990(1):55-59.
- [4] 刘登义,田胜尼,杨胜勇,等. 铜尾矿对5种豆科植物种子萌发和幼苗生长影响的初步研究[J]. 应用生态学报,2002,13(5):596-600.
- [5] 于泉林. NaCl对水稻不同品种发芽和幼苗生长的影响[J]. 种子,2003(3):41-42,54.
- [6] 斯琴巴特尔,吴红英. 盐胁迫对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 干旱地区资源与环境,2000,14(4):76-80.
- [7] 陈炎辉,柴鹏,王果. 坡度对酸性土坡地上污泥铜随径流迁移的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(4):16-20.
- [8] 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,2000:92,107,126,147-195,211-212,334.
- [9] 全国肥料和土壤调理剂标准化技术委员会. 化学工业标准汇编:化肥[M]. 2版. 中国标准出版社,2000:124-129,234-244,271-282,415,602-606.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 农产品安全质量无公害蔬菜安全要求(GB18406.1—2001),2001.
- [11] 江泽普,黄玉溢,雷一保. 甘蔗耐氯临界浓度研究[J]. 西南农业学报,1992,5(3):29-34.
- [12] 苏天明,李杨瑞,江泽普,等. 泥炭对土壤—菜心系统中重金属生物有效性的效应研究[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(2):339-344.
- [13] 刘秀春,高艳敏,范业宏,等. 生物有机肥对重金属的吸附解吸作用的影响[J]. 土壤通报,2008,39(4):942-945.
- [14] Ojeda G, Alcaniz J M, Ortiz O. Runoff and losses by erosion in soils amended with sewage sludge [J]. Land Degradation & Development, 2003, 14(6): 563-573.
- [15] Ojeda G, Tarrasón D, Ortiz O, et al. Nitrogen losses in runoff waters from a loamy soil treated with sewage sludge [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006, 117(1): 49-56.
- [16] Tejada M, Gonzalez J L. Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality [J]. Geoderma, 2008, 145(3/4): 325-334.
- [17] 中国环境总局和国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准(BG3838—2002) [EB/OL]. <http://www.zhb.gov.cn/english/channel-5/GB3838-2002>.
- [18] Ashley J T F. Adsorption of Cu (II) and Zn (II) by estuarine, riverine and terrestrial humic acids [J]. Chemosphere, 1996, 33(9): 2175-2187.
- [19] 章明奎,郑顺安,王丽平. 土壤中颗粒状有机质对重金属的吸附作用[J]. 土壤通报,2007,38(6):1100-1104.