

25 年来两类植蔗土壤肥力演变及原因分析^①

——以云南陇川农场为例

郭家文^{1,2}, 刘少春^{1,2}, 王 龙³, 张跃彬^{1,2}, 崔雄维^{1,2}

(1 云南省农业科学院甘蔗研究所, 云南开远 661600; 2 云南省甘蔗遗传改良重点实验室, 云南开远 661600;

3 云南农垦陇川农场, 云南陇川 678700)

摘要: 通过对 2007 年农场土壤养分调查和 1983 年土壤普查资料的比较, 研究了 25 年连续种植甘蔗后两类植蔗土壤肥力的演变及原因。结果表明: 25 年来旱地和水田土壤的有机质分别减少了 12.65% 和 25%; 全 N 旱地的变化不大, 水田比 1983 年减少了 1.42%; 碱解 N 旱地增加了 1.53%, 水田减少了 22.65%; 速效 P 旱地和水田都比 1983 年有所增加, 增加幅度为旱地大于水田, 其中旱地和水田分别增加了 95.02% 和 6.02%; 速效 K 旱地比 1983 年增加了 26.36%, 但水田减少了 47.28%。结合糖厂历史单产、产糖率和农场蔗叶还田的情况, 研究得出蔗叶还田能够持续培肥蔗区土壤养分, 是蔗区甘蔗持续高产的主要原因。

关键词: 土壤肥力; 植蔗土壤; 蔗叶还田; 甘蔗

中图分类号: S158

甘蔗主要分布在南方的热带亚热带地区, 是重要的糖料作物。在云南蔗区, 旱地红壤和水稻土是甘蔗种植的主要土壤类型。旱地红壤由于受水分、土壤肥力等因素的限制较大, 故甘蔗产量较低, 一般 52.5 t/hm^2 左右。水稻土是由于甘蔗产业发展的需要, 把稻田改种为甘蔗, 由于有水灌溉, 加之肥力基础较好, 故甘蔗的产量很高, 一般 127.5 t/hm^2 左右。云南蔗区旱地甘蔗占 70% 左右, 水田甘蔗占 30% 左右, 由于水田甘蔗所占面积较小, 要想提高甘蔗的单产, 就必须提高旱地甘蔗的单产。德宏陇川农场由于长期坚持蔗叶还田, 土壤养分得到了提高, 农场最近 5 年平均单产 110.4 t/hm^2 , 远高于云南蔗区的平均单产 52.5 t/hm^2 。但甘蔗的出糖率最近 5 年的平均值仅为 11.83%, 低于全省最近 5 年 12.83% 的出糖率 (云南省农业厅统计资料)。本研究以 2007 年农场土壤养分分析的数据和 1983 年农场第二次土壤普查数据 (资料来源于国营陇川农场土壤资源普查) 进行对比研究, 同时结合蔗区蔗叶还田和糖厂历史单产和出糖率数据研究分析持续高产的原因。以云南蔗区长期种植甘蔗的两类土壤为研究对象, 研究长期种植甘蔗对两类土壤的肥力演变的影响, 以期对蔗区甘蔗生产提供指导。

1 材料与方法

研究区域位于云南省德宏州弄巴镇陇川农场, 地理位置 $24^{\circ}10' \sim 24^{\circ}25' \text{N}$, $97^{\circ}45' \sim 89^{\circ}0' \text{E}$, 海拔 930 ~ 938 m 之间, 属南亚热带半湿润季风气候类型, 年平均气温 18.9°C , 最高气温 35.7°C , 最低气温 2.9°C 。降水量为 1 515 mm, 蒸发量为 1 875 mm, 日照 2 320 h, 无霜期 292 天。全农场地势平坦, 农用耕地 2 927.2 hm^2 , 常年种植甘蔗, 其中水田 1 123.2 hm^2 , 占 38.37%, 旱地 1 804 hm^2 , 占 61.62%。由于糖厂的日处理能力为 3 000 t, 在耕地有限的情况下安排蔗地轮作或轮闲基本不可能, 20 多年来农场一直以种植甘蔗为主。农场基本上是以一年新植甘蔗 + 两年宿根甘蔗翻兜后又种植甘蔗这样连作模式来种植甘蔗。

农场的主要土壤类型为红壤和红壤发育成的水稻土。于 2007 年 12 月进行土壤样品的取样。取样按照 15 ~ 30 hm^2 一个土壤样品采集 0 ~ 20 cm 耕作层, 每个样品重复 4 次, 将 4 个样品充分混匀后, 用四分法取大约 1 kg 的样品带回实验室化验。共计取得土壤样品 162 份, 其中旱地 117 份, 水田 45 份。土样经风干、磨碎及过筛后,

进行土壤养分测定, 测定方法详见

^①基金项目: 云南省科技计划项目 (2008AB005) 和公益性行业 (农业) 科研专项 (编号 nyhyzx07-019) 资助。

作者简介: 郭家文 (1979—), 男, 云南马龙人, 副研究员, 硕士研究生, 主要从事植物营养与施肥研究。E-mail: 79jwguo@163.com

《土壤农业化学分析方法》^[1]。1983 年 0~20 cm 耕层土壤样品共计 135 份, 旱地 75 份, 水田 60 份。为了使两次土壤普查土壤养分的分级标准相同, 土壤养分的分级采用农垦总局 1983 年修订过的分级标准(资料

来源于国营陇川农场土壤资源普查), 即把全国土壤养分分级标准的 6 个级别合并为 4 个级别, 1 级和 2 级合并为 1 级(丰), 5 级和 6 级合并为 4 级(缺), 2、3 级保留, 分别为中和少(表 1)。

表 1 土壤养分分级标准

Table 1 Classification standard of soil nutrient contents

项目	1 级(丰)	2 级(中)	3 级(少)	4 级(缺)
有机质 (g/kg)	>30	20~30	10~20	<10
全 N (g/kg)	>1.5	1~1.5	0.75~1	<0.75
碱解 N (mg/kg)	>120	90~120	60~90	<60
速效 P (mg/kg)	>20	10~20	5~10	<5
速效 K (mg/kg)	>150	100~150	50~100	<50

2 结果与分析

2.1 25 年来蔗区土壤养分的总体变化

从表 2 可以看出 25 年来水田和旱地土壤养分的变化情况, 和 1983 年相比, 土壤酸碱性表现为旱地和水田的变化都不大。土壤有机质、全 N 和碱解 N 表现为水田和旱地比 1983 年都有下降, 减少的幅度为水田比旱地大。旱地和水田的有机质分别减少了 12.65% 和 25%, 旱地由 1 级降为 2 级, 水田由 2 级降为 3 级; 旱地的全 N 含量变化不大, 水田则比 1983 年减少了 1.42%; 碱解 N 为旱地增加了 1.53%, 水田减少了 22.65%, 旱地两次都为 1 级, 水田由 1 级降为 2 级;

速效 P 表现为旱地和水田都比 1983 年有所增加, 增加幅度旱地大于水田, 其中旱地和水田分别增加了 95.02% 和 6.02%, 旱地由 3 级增加为 2 级, 水田两次都为 2 级; 旱地的速效 K 比 1983 年增加了 26.36%, 水田却减少了 47.28%, 旱地两次都为 2 级, 水田由 2 级降为 3 级。就两种土壤相比, 旱地红壤的有机质和全 N 本底比红壤性水稻土的高, 而速效 N、P、K 和 pH 为旱地红壤的本底比红壤性水稻土的低, 但经过 25 年的长期种植甘蔗和 11 年的旱地蔗叶还田, 旱地(红壤)的有机质, 全 N, 速效 N、P、K 都较水田(红壤性水稻土)的高。

表 2 25 年来蔗区土壤养分的总体变化

Table 2 General changes of soil nutrients in sugar-belts during 25 years

项目	旱地(红壤)			水田(红壤性水稻土)		
	1983 年	2007 年	变化率 (%)	1983 年	2007 年	变化率 (%)
pH	4.80 ± 0.27	4.85 ± 0.22	1.0	5.41 ± 0.27	5.43 ± 0.32	0.37
有机质 (g/kg)	32.4 ± 6.16 (1)	28.9 ± 9.43** (2)	-10.80	25.16 ± 9.51 (2)	19.0 ± 0.82** (3)	-24.48
全 N (g/kg)	1.63 ± 0.26 (1)	1.62 ± 0.78 (1)	-0.6	1.36 ± 0.51 (2)	1.20 ± 0.70 (2)	-11.76
碱解 N (mg/kg)	133.92 ± 26.10 (1)	136.51 ± 27.24 (1)	1.93	134.90 ± 62.79(1)	104.34 ± 36.43** (2)	-22.65
速效 P (mg/kg)	8.84 ± 10.53 (3)	17.24 ± 8.83** (2)	95.02	11.32 ± 11.33 (2)	18.13 ± 8.13** (2)	60.15
速效 K (mg/kg)	101.02 ± 37.73 (2)	127.65 ± 85.75* (2)	26.36	125.45 ± 33.16(2)	66.14 ± 54.06** (3)	-47.28

注: ** 表示 $p < 0.01$ 显著性差异水平, * 表示 $p < 0.05$ 显著性差异水平; $\bar{x} \pm SD$; 括号内的数字为土壤养分的级数。

2.2 旱地土壤养分各级别面积状况

与 1983 年相比, 25 年来旱地土壤养分的变化情况较大(表 3)。土壤有机质 1 级土地面积较 1983 年减

少了 25.44%, 2 级增加了 20.35%, 3 级增加了 5.09%。土壤全 N 为 1 级的减少了 21.99%, 2 级、3 级和 4 级的分别增加了 3.2%、11.1% 和 7.69%。碱解 N 的变化

不大,其中1级的减少了0.76%,2级的增加了3.47%,3级的减少了3.64%,4级的增加了0.85%。土壤有机质、全N、碱解N表现为25年来变化较小,1级和2级相加减少的土地面积不超过5%。速效P为1级的增加了16.01%,2级的增加了43.03%,3级的减少了4.24%,4级的减少了54.75%,1级和2级共增加了59.13%,可见25年来旱地土壤中的P得到了补充,这

与蔗区注重P肥的施用密不可分。土壤速效K高水平含量的土地面积比1983年多,1级的增加了17.46%,2级的减少了2.06%,3级的减少了19.25%,4级的增加了3.02%,1级和2级共增加了15.4%。甘蔗是需K量较大的作物,在蔗区对K肥的施用较少的情况下,旱地土壤速效K的含量仍然呈增加趋势,这与糖厂从1993年长期坚持在旱地上进行蔗叶还田密不可分。

表3 土壤养分各等级旱地(红壤)面积状况(%)

Table 3 Area ratios of dryland at different soil nutrient grades

项目	1983年所占土地面积(%)				2007年所占土地面积(%)			
	1级(丰)	2级(中)	3级(少)	4级(缺)	1级(丰)	2级(中)	3级(少)	4级(缺)
有机质	71.14	22.75	6.11	0	45.7	43.10	11.20	0
全N	82.70	17.30	0	0	60.71	20.50	11.10	7.69
碱解N	83.65	10.23	6.20	0	82.89	13.70	2.56	0.85
速效P	5.37	14.27	21.34	59.02	21.38	57.30	17.10	4.27
速效K	8.18	28.56	61.15	2.11	25.64	26.50	41.90	5.13

2.3 水田土壤养分各等级面积状况

与1983年相比,25年来水田土壤养分发生了较大的变化(表4)。土壤有机质为1级的减少了11.25%,2级的减少了23.28%,3级的增加了24.24%,4级的增加了8.08%;全N为1级和2级的分别减少了2.09%和39.55%,3级和4级的分别增加了17.15%和24.5%;碱解N为1级的减少了21.35%,2级、3级和4级的分别增加了7.36%、17.15%和24.5%。把1级和2级减少的面积合并可知,25年来有机质、全N、碱解N分别比1983年减少了34.53%、41.64%和13.99%,可见水田土壤中有有机质、全N、碱解N为1级、2级所减少的面积较早地的多。速效P为1级和

2级的分别增加了14.63%和37.39%,3级和4级的分别减少了8.4%和43.58%,把25年来1级和2级增加的土地面积相加,可知水田土壤速效P为1级和2级的增加了52.02%,其原因在于蔗区P肥的施用,碱解N增加幅度比旱地少7.11%。速效K为1级和2级的分别减少了6.89%和46.51%,3级和4级的分别增加了2.29%和51.11%,1级和2级相加所占的土地面积减少了53.4%,这与旱地的相反(旱地增加了15.4%),原因在于蔗区K肥投入不足,加之在水田上没有蔗叶还田,加剧了K的亏损。比较水田和旱地土壤养分的变化可知,25年来水田土壤的贫瘠化较早地的快。

表4 土壤养分各等级水田(红壤性水稻土)面积状况(%)

Table 4 Area ratio of paddy field at different soil nutrient grades

项目	1983年所占土地面积(%)				2007年所占土地面积(%)			
	1级(丰)	2级(中)	3级(少)	4级(缺)	1级(丰)	2级(中)	3级(少)	4级(缺)
有机质	22.36	41.08	35.76	0.80	11.11	17.80	60.00	8.88
全N	28.80	59.55	7.25	4.39	26.71	20.00	24.40	28.89
碱解N	52.46	23.74	18.41	5.38	31.11	31.10	28.90	8.89
速效P	14.27	18.21	21.70	45.8	28.90	55.60	13.30	2.22
速效K	15.74	50.95	33.31	0	8.85	4.44	35.60	51.11

2.4 25年来蔗区甘蔗产量和糖分的变化

秸秆分解释放CO₂,增加土壤微生物含量,固持或矿化释放无机N,最终形成有机质^[2-10]。长期施用

蔗叶能够明显提高土壤有机质含量,增加土壤肥力,进而有利于土壤的可持续利用^[11]。蔗叶还田可以有效保持农田系统内部的物质、能量的良性循环,可以维

持作物高产,减轻作物对外部能量、物质的依赖,形成一个稳定的、自循环程度较高的生产系统,有利于农业的可持续发展^[12]。蔗叶还田能有效地改良土壤,培肥地力,保持土壤中水分、养分,提高土壤有机质含量及速效 N、P、K 含量^[13]和改善土壤的团粒结构^[14]。从图 1 可以看出,蔗叶还田前甘蔗的单产呈下降趋势,蔗叶还田后甘蔗的单产呈现上升的趋势。蔗叶还田前 10 年的平均单产为 84.48 t/hm²,蔗叶还田后 15 年的平均单产为 100.61 t/hm²,是蔗叶还田前的 1.2 倍,最近 5 年(2003—2007 年)的平均单产为 117.72 t/hm²,是蔗叶还田前的 1.4 倍。最近 15 年甘蔗单产的提高其根本原因在于蔗区 60% 以上的旱地实行了蔗叶还田,土壤得到持续的培肥,保证了甘蔗的持续增产。

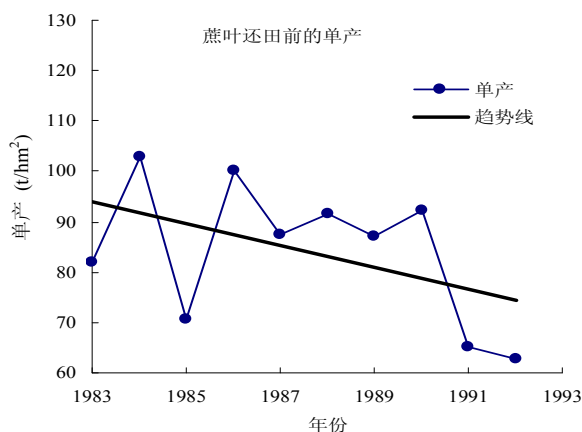


图 1 25 年来农场的单产变化(资料来源于《陇川糖厂志》,下同)

Fig. 1 Change of sugarcane yield per t/hm² at Longchuan farm during 25 years

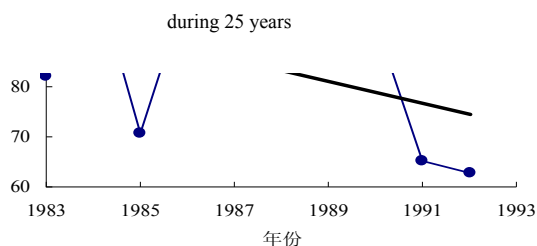


图 1 25 年来农场的单产变化(资料来源于《陇川糖厂志》,下同)

Fig. 1 Change of sugarcane yield per t/hm² at Longchuan farm during 25 years

从图 2 可以看出,25 年来,农场虽然经过了两次大规模的品种改良,但糖厂的产糖率仍然很低。1983 年以来的 25 年间,蔗区的糖分变化不大,这与糖厂经过了 3 次较大的品种改良和现在以新台糖 22 号、20 号、粤糖 93-159 等早熟高糖品种为主的出糖率不相符。2008 年云南蔗区全省平均出糖率为 12.83%,而陇川糖厂的出糖率仅为 11.3%,远低于全省平均水平,可能的原因在于甘蔗对 K 的需求量较大,每生产 1 t 原料甘蔗需要吸收 K (K₂O) 2~2.5 kg,单产按照 105 t/hm² 算,每公顷需吸收 K 210~262.5 kg^[15],蔗区土壤的速效 K 含量低和蔗区少施 K 肥,造成甘蔗糖分含量不高,影响了蔗区甘蔗的产糖率。

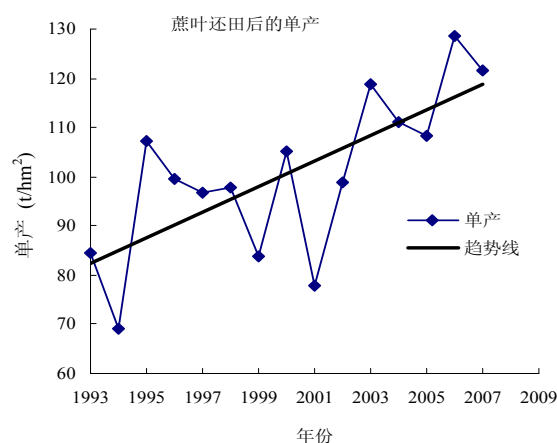


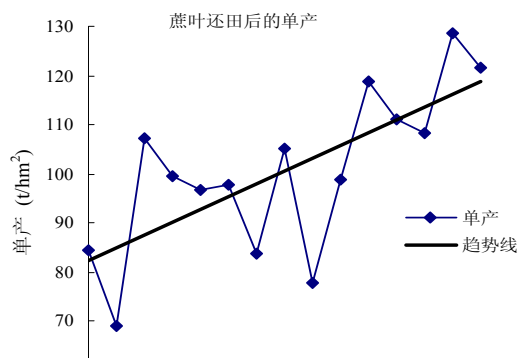
图 2 25 年来陇川农场产糖率变化

Fig. 2 Change of sugar recovered ratio at Longchuan farm during 25 years

3 结论

(1) 25 年来,长期连作对土壤养分的变化有较大的影响。总的来说土壤 pH 变化不大,有机质、全 N、

碱解 N 和速效 K 明显减少,土壤养分的下降速度表现



为水田要比旱地快。和 25 年前相比较,在水田和旱地上速效 P 缺乏的面积在减少,速效 P 含量在增加,其原因在于蔗区 20 多年来在施肥计划中安排了 P 肥的施用。

(2) 现阶段蔗区土壤中 K 素总体水平仍然偏低,特别是水田土壤 K 素的亏缺较严重, K 素的亏缺导致糖厂出糖率低,今后蔗区的施肥计划中应合理安排施用 K 肥。

(3) 长期蔗叶还田能够有效地提高甘蔗的单产和持续地培肥土壤,对稳定甘蔗糖业的持续发展和节本增效都有良好的作用。

参考文献:

- [1] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1998
- [2] 周卫军, 王凯荣, 刘鑫. 有机物循环对红壤稻田土壤 N 矿化的影响. 生态学杂志, 2004, 23(1): 39-43
- [3] 高宗, 刘秀兰, 刘存春, 司理立征. 长期施肥对关中壤土肥力和作物产量的影响. 西北农业学报, 1992, 1(3): 65-68
- [4] Govi M, Francioso O. Influence of long-term residue and fertilizer applications on soil humic substances: A study by electrofocusing. *Soil Science*, 1992, 154(1): 8-13
- [5] Sommerfeldt TG, Chang G, Entz T. Long-term annual applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Sci. Soc. A. J.*, 1988, 52(6): 1668-1672
- [6] 薛坚, 赵秉强. 秸秆趋势还田的定位研究. *土壤肥料*, 1993(2): 27-28
- [7] 吕彪, 秦嘉海, 赵芸晨. 麦秸覆盖对盐渍土肥力及作物产量的影响. *土壤*, 2005, 37(1): 52-55
- [8] 刘晓利, 何园球. 不同利用方式和开垦年限下红壤水稳性团聚体及养分变化研究. *土壤*, 2009, 41(1): 84-89
- [9] 余冬立, 王凯荣, 谢小立, 尹春梅. 施N模式与稻草还田对土壤供N量和水稻产量的影响. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(2): 16-20, 44
- [10] 余冬立, 谢小立, 王凯荣, 陈敏. 基于稻草还田的稻田生态系统N素吸收特性研究. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(1): 88-91
- [11] 陈芝兰, 张涪平, 蔡晓布, 何建清, 彭岳林. 秸秆还田对西藏中部退化农田土壤微生物的影像. *土壤学报*, 2005, 42(4): 696-699
- [12] 孙星, 刘勤, 王建德, 张斌. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响. *土壤*, 2007, 39(5): 782-786
- [13] 林姣艳, 黄朱业, 覃莉莎. 蔗叶还田与焚烧对改良土壤效果试验. *广西蔗糖*, 2005(3): 18-20
- [14] 黄欠如, 胡锋, 袁颖红, 刘满强, 李辉信. 长期施肥对红壤性水稻团聚体特征的影响. *土壤*, 2007, 39(4): 608-613
- [15] 张跃彬, 郭家文. 蔗区土壤与甘蔗科学施肥. 昆明: 云南科技出版社, 2008

Changes and Mechanism of Soil Fertility Under Two Kinds of Sugarcane Cultivations During 25 Years

—A Case Study of Longchuan Farm, Yunnan Province

GUO Jia-wen^{1,2}, LIU Shao-chun^{1,2}, WANG Long³, ZHANG Yue-bing^{1,2}, CUI Xiong-wei^{1,2}

(1 Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Science, Kaiyuan, Yunnan 661600, China; 2 Yunnan Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan, Yunnan 661600, China; 3 The Longchuan Farm of Yunnan State Farm Group Co. Ltd, Longchuan, Yunnan 678700, China)

Abstract: The changes and mechanism of soil fertility under two kinds of sugarcane cultivations during 25a were studied at Longchuan farm based on the data obtained from the surveys in 1983 and 2007. The results showed as follows: soil organic matter contents in dry land and paddy field reduced by 12.65% and 25% respectively, total nitrogen content changed little in dry land but reduced by 1.42% in paddy field, available N increased by 1.53% in dry land but reduced by 22.65% in paddy field, available P increased by 95.02% and 6.02% respectively in dry land and paddy field, available K increased by 26.36% in dry land but reduced by 47.28% in paddy field. The data of sugar yield and sugar recovered ratio proved that

sugarcane leaf returning to field could improve soil fertility sustainably, which was attributed to for the continuous high sugar yield in studied region.

Key words: Soil fertility, Sugarcane cultivation soil, Sugarcane leaf returning to field, Sugarcane