广东农业科学 2020，47（4）：23-29
Guangdong Agricultural Sciences doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2020.04.004

经福林，关经伦，黄所，苏海杨，陆绍德，揭育其，苏子文 . 水肥一体化技术延长糖料蔗宿根年限效果研究［J］. 广东农业科学，2020，47（4）：23-29.

水肥一体化技术延长糖料蔗宿根年限效果研究

经福林，关经伦，黄　所，苏海杨，陆绍德，揭育其，苏子文
（广东省火炬农场，广东 湛江 524259）

摘　要：【目的】研究水肥一体化技术延长糖料蔗宿根年限效果，为解决糖料蔗宿根年限短、产量低的问题提供技术参考。【方法】应用水肥一体化技术，在新植糖料蔗筛选最优肥料配比应用到糖料蔗宿根田管，研究其宿根年限与效益。【结果】糖料蔗应用水肥一体化技术最优肥料配比为尿素 450 kg/hm²、钙镁磷肥 1 500 kg/hm²、硫酸钾 180 kg/hm²、复合肥 270 kg/hm²、有机肥 1 350 kg/hm²，化学肥料施用量比常规施肥减少 20%，且宿根蔗发株率、株高、有效茎数、蔗茎重和蔗茎产量显著高于常规施肥对照，宿根年限达到 4 年，增加收入 43 437 元 /hm²。【结论】糖料蔗田管应用水肥一体化技术，能延长宿根年限 2 年，减少化学肥料施用量，增加经济收入，可作为提升宿根蔗田管质量、产量，延长宿根年限技术大面积推广应用。

关键词：水肥一体化技术；糖料蔗；农艺性状；宿根年限；效果
中图分类号：S566.1　**文献标志码：**A　**文章编号：**1004-874X（2020）04-0023-07

Study on the Effect of Fertigation Technology on Prolonging the Life of Sugarcane Ratoon

JING Fulin, GUAN Jinglun, HUANG Suo, SU Haiyang, LU Shaode, JIE Yuqi, SU Ziwen
（*The Torch Farm in Guangdong, Zhanjiang* 524259, *China*）

Abstract:【Objective】The effect of fertigation technology prolonging the life of sugarcane ratoon were studied in order to provide technical references for solving the problems of short ratoon life and low sugarcane yield.【Method】Through the application of fertigation technology, the optimal ratio of fertilizer was selected in new planted sugarcane and applied to the field management of sugarcane ratoon to study the ratoon life and related benefits.【Result】According to the field experiment, when the fertigation technology was applied to the sugarcane, the optimal ratio of fertilizer was urea of 450 kg/hm², calcium magnesium phosphate fertilizer of 1 500 kg/hm², potassium sulfate of 180 kg/hm², compound fertilizer of 270 kg/hm², organic fertilizer of 1 350 kg/hm², and the application amount of chemical fertilizer was 20% less than that of conventional fertilization; the emergence rate, plant height, effective stalk number, cane weight and cane yield of ratoon sugarcane were significantly higher than those of the conventional fertilization. The ratoon life was up to four years, with additional income of 43 437 yuan/hm².【Conclusion】The application of fertigation technology in field management of sugarcane can prolong the ratoon life by two years, reduce the application amount of chemical fertilizer and increase the economic income, and should be widely promoted and applied to improve the quality of field management and yield of ratoon sugarcane, and to prolong the life of ratoon sugarcane.

Key words: fertigation technology; sugarcane; agronomic character; ratoon life; effect

收稿日期：2020-02-14
基金项目：广东农垦农技推广与体系建设专项经费（16NJSN-22）；湛江农垦农业技术试验示范项目（湛垦函字〔2016〕321 号）
作者简介：经福林（1984—），男，硕士，农艺师，研究方向为农业技术管理与推广，E-mail：1004596264@qq.com

【研究意义】甘蔗作为世界上最重要的糖料和能源作物，广泛种植于热带及亚热带地区[1]。甘蔗栽培分为新植蔗与宿根蔗，国外甘蔗生产栽培方式如巴西一般新植 1 年、宿根 4~5 年，澳大利亚、美国等一般新植 1 年、宿根 2~3 年[2-4]；我国糖料蔗生产栽植方式为一般新植 1 年，宿根 1~3 年，其中宿根蔗面积约占甘蔗总面积的 40%~60%，宿根蔗是否淘汰主要取决于上茬蔗产量，对此不同地区标准不一致，但由于蔗农对宿根蔗生产种植缺乏重视，田管粗放，造成糖料蔗产量普遍低，提早淘汰，宿根年限短[5-7]。因此，寻求一种有效提高糖料蔗宿根产量，延长宿根年限的方法已成为当前糖料蔗生产种植中急需解决的问题。【前人研究进展】国外甘蔗宿根长的国家对宿根蔗生产田管相当重视，机械化程度较高（如日本、美国）[8]，宿根性优良的品系多（如巴西）[9]以及采用先进滴水灌溉系统（如以色列）[10]等。而近些年我国也开始重视宿根蔗的生产田管，关于提高宿根蔗产量有许多研究报道，如马泽辉等[11]对宿根蔗盖膜技术的研究，马丽等[12]关于宿根性优良品系的选育，敖俊华等[13]对甘蔗进行测土配方施肥，陆绍德等[14]、陈建国等[15]、周爱芳等[16]将水肥一体化技术应用到甘蔗田管及宿根甘蔗机械培土施肥推广等，在一定程度上提高了糖料蔗宿根产量。【本研究切入点】目前，基于水肥一体技术延长糖料蔗宿根年限方面的研究尚未见报道。【拟解决的关键问题】根据广东省雷州半岛气候、甘蔗田管模式及水利基础设施条件[17-18]，利用水肥一体化技术，以常规施肥作为参照，通过比较新植蔗农艺、经济性状与收益，筛选水肥一体化技术最佳肥料配方应用到宿根蔗田管，明确水肥一体化技术延长糖料蔗宿根年限效果，为有效提高糖料蔗产量、宿根年限及增加收入寻找出一种科学有效的方法。

1 材料与方法

1..1 试验地概况

试验地设在广东省火炬农场 16 队，位于广东省雷州半岛西海岸，地势平整，水利设施完善，属南亚热带海洋性季风气候，温度较高，冬春干旱，夏秋多雨有台风，年平均气温 23 ℃，年平均降雨量 1 273 mm，试验区面积 11.6 hm^2，土质为玄武岩砖红壤土，土壤偏酸，土壤有机质含量 1.0~20.0 g/kg 处于中下水平，全氮含量 0.5~0.75 g/kg 处于低水平，碱解氮含量 60.0~90.0 mg/kg 处于中下水平，速效磷含量 5.0~10.0 mg/kg 处于中下水平，速效钾含量 50.0~100.0 mg/kg 处于中水平。前茬作物为糖料蔗[18]。

1.2 试验材料

供试糖料蔗品种为粤糖 00-236。水肥一体化滴灌材料：N16 贴片式滴灌管带，16PE 软管球阀旁通及主管 Φ63PE 软水管。供试肥料：尿素（N ≥ 46%），农用钙镁磷肥（P_2O_5 ≥ 18%），农用硫酸钾（K_2O ≥ 50%），复合肥（N ∶ P ∶ K=15 ∶ 15 ∶ 15，总养分 ≥ 45%），有机肥鸡粪含有机质 145.84 g/kg、氨态氮 11.52 g/kg、速效磷（P_2O_5）5.38 g/kg、速效钾（K_2O）5.44 g/kg、pH 值 6.2。

1.3 试验方法

采用随机区组设计，3 次重复，施用肥料配方设计见表 1，小区面积 0.4~0.8 hm^2。试验地糖

表 1 糖料蔗施肥处理配方设计

Table 1 Design of fertilization formula for sugarcane

处理 Treatment	尿素 Urea（kg/hm^2）	钙镁磷肥 Calcium magnesium phosphate fertilizer（kg/hm^2）	复合肥 Compound fertilizer（kg/hm^2）	农用硫酸钾肥 Agricultural potassium sulfate（kg/hm^2）	有机肥 Organic fertilizer（kg/hm^2）	肥料成本（元 /hm^2） Fertilizer cost（yuan/hm^2）
CK	750	1500	450	300	1350	6390
F1	150	1500	90	60	1350	3318
F2	300	1500	180	120	1350	4086
F3	450	1500	270	180	1350	4854
F4	600	1500	360	240	1350	5622
F5	750	1500	450	300	1350	6390

注：肥料价格：尿素 2 000 元 /t，钙镁磷肥 800 元 /t，复合肥 3 200 元 /t，硫酸钾 3 000 元 /t，有机肥 1 000 元 /t。

Note: The price of fertilizer: 2 000 yuan/t for urea, 800 yuan/t for calcium magnesium phosphate fertilizer, 3 200 yuan/t for compound fertilizer, 3 000 yuan/t for agricultural potassium sulfate and 1 000 yuan/t for organic fertilizer.

料蔗为夏繁全茎蔗种，下种量均为 10.5 t/hm²，单行一字型排列，行距 1 m，2015 年 1 月种植，每年 12 月砍收。

田间管理：对照采用当地常规田管施肥方法（含新植和宿根），分两次施肥，第 1 次拖拉机施基肥，施钙镁磷肥（全部）、有机肥（全部）、尿素 300 kg/hm²、复合肥 225 kg/hm²、钾肥 150 kg/hm²，余下肥料在伸长初期，拖拉机培土施下。处理 F1 ～ F5 第 1 年施肥方法分 4 次施肥，第 1 次与对照 CK 方法一致，拖拉机施基肥，施钙镁磷肥（全部），有机肥（全部），余下尿素、复合肥、钾肥利用试验区水肥设备等量的分别在糖料蔗苗期、分蘖期、伸长期进行施肥，并根据试验区糖料蔗需水情况进行 1~4 次滴灌淋水[19]；第 2 年保留经济效益最优配方试验小区重复第 1 年施肥方法，直至淘汰。田间管理：第 1 年的基肥在种植时施下，之后几年基肥在糖料蔗砍收清理蔗园后机械破垄施下，田间防病虫、除草管理相同。

1.4 调查项目及方法

糖料蔗农艺、经济性状的测定参照《中国甘蔗品种志》[20]，第 1 年调查区组所有试验小区，第 2 年之后只调查对照与经济效益最优配方试验小区，直至淘汰。采用五点取样法调查每个试验小区糖料蔗的生长状况，每个样点取单行 10 m 内糖料蔗作为样方，调查其农艺、经济性状。在苗期调查发株率，收获期调查有效茎数、株高、蔗茎重、产量、蔗糖分。每个样点随机测量 20 条生长正常蔗茎的株高与重量并计算平均株高（cm）与蔗茎重（kg）；从测蔗茎重的甘蔗中随机选取 10 株，在每株上、中、下部 3 点（无虫口）钻取蔗茎汁，用手持锤度计测定并计算平均锤度；产量按实际收获统计；各处理区所采集的数据取平均值。

有效茎数（条 /hm²）= 样方中所有株高超过 1.0 m 的糖料蔗 / 样方面积（hm²）

蔗糖分（%）= 平均田间锤度（%）×1.0825–7.703。

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 软件进行统计分析与作表，并用统计软件 SAS 9.0 duncan 新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 新植糖料蔗农艺、经济性状及经济效益

2.1.1 新植糖料蔗农艺、经济性状　由表 2 可知，各处理对新植糖料蔗发株率及糖分的影响差异不明显，而对株高、有效茎数、蔗茎重及蔗产量的影响存在差异显著，其中随着处理 F1~F5 化学肥料量的增加，新植糖料蔗株高、有效茎数、蔗茎重及蔗产量也表现出相应增加，与常规施肥（CK）比较，处理 F1 和 F2 的株高、有效茎数、蔗茎重及蔗产量差异不显著，而 F3、F4、F5 则显著高于常规施肥（CK），但它们之间差异不显著。

2.1.2 新植糖料蔗经济效益　由表 3 可知，5 个新植糖料蔗肥料配方成本与常规施肥（CK）比较，依次为处理 F1>F2>F3>F4>F5，节省成本最高为处理 F1（3 072 元 /hm²）；5 个新植糖料蔗甘蔗收入与常规施肥（CK）比较，依次为处理 F5>F4>F3>F2 >F1，甘蔗收入增加最高为处理 F5，但除去肥料成本后，处理 F3 实际增加经济收入最高（43 206 元 /hm²），结合上述新植糖料蔗农艺、经济性状情况，处理 F3 为水肥一体化最优肥料配方。

表 2　新植糖料蔗农艺、经济性状

Table 2　Agronomic and economic characters of new planted sugarcane

处理 Treatment	发株率 Emergence rate（%）	株高 Plant height（cm）	有效茎数 Number of effective stalk（stem/hm²）	蔗茎重 Cane stalk weight（kg）	蔗产量 Cane yield（t/hm²）	蔗糖分 Sucrose content（%）
CK	86.72 ± 2.05a	189.1 ± 13.2b	65753 ± 3053b	1.52 ± 0.15ba	94.20 ± 5.25cb	13.16 ± 0.37a
F1	85.81 ± 2.75a	188.3 ± 15.1b	65443 ± 2753b	1.41 ± 0.14b	90.15 ± 3.75c	13.06 ± 0.43a
F2	86.07 ± 2.56a	197.5 ± 13.8ab	66703 ± 2564b	1.57 ± 0.16ba	98.55 ± 4.80b	13.14 ± 0.47a
F3	86.63 ± 2.74a	203.2 ± 12.2a	69465 ± 2844a	1.68 ± 0.13a	106.80 ± 3.60ba	13.08 ± 0.31a
F4	85.92 ± 1.95a	207.3 ± 10.5a	70155 ± 2654a	1.71 ± 0.11a	108.15 ± 5.25a	13.02 ± 0.26a
F5	86.58 ± 2.11a	208.4 ± 11.3a	70245 ± 3113a	1.72 ± 0.12a	109.95 ± 4.65a	12.92 ± 0.32a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences.

表 3　新植糖料蔗经济效益

Table 3　Economic benefits of new planted sugarcane

处理 Treatment	肥料成本（元 /hm²）Fertilizer cost（yuan/hm²）	甘蔗产量 Sugarcane yield（t/hm²）	甘蔗收入（元 /hm²）Sugarcane income（yuan/hm²）	去除成本后增加收入（元 /hm²）Increased income after removing costs（yuan/hm²）
CK	6390	94.20	42390.0	36000.0
F1	3318	90.15	40567.5	37249.5
F2	4086	98.55	44347.5	40261.5
F3	4854	106.80	48060.0	43206.0
F4	5622	108.15	48667.5	43045.5
F5	6390	109.95	49477.5	43087.5

注：糖料蔗按地区收购价格 450 元 /t。

Note: The purchasing price of sugarcane is 450 yuan/t in the region.

2.2　宿根糖料蔗农艺、经济性状

由表 4 可知，宿根糖料蔗田管应用水肥一体化技术（处理 F3），其发株率、株高和有效株数明显优于常规施肥（CK），并且随着宿根年限增长，其优势表现越显著，如 2018 年和 2019 年宿根糖料蔗的发株率、株高及有效茎数均显著高于常规施肥（CK），其中有效茎数在整个宿根期均显著高于常规施肥（CK）。由表 5 可知，应用水肥一体化技术（处理 F3）的宿根糖料蔗糖分与常规施肥（CK）没有明显差异，但在宿根蔗产量及茎重方面，显著高于常规施肥（CK）。

2.3　糖料蔗生产成本

由表 6 可知，新植糖料蔗应用水肥一体化技术（处理 F3）田管成本与常规施肥（CK）比较，增加成本为 2 130 元 /hm²；宿根糖料蔗应用水肥一体化技术（处理 F3）田管成本与常规施肥（CK）比较，2016—2019 年分别增加 1 554、1 404、1 254、1 104 元 /hm²，宿根增加成本合计 7 446 元 /hm²。因此，2015—2019 年糖料蔗应用水肥一体化技术（处理 F3）田管成本比常规施肥（CK）累计增加成本 9 576 元 /hm²。

2.4　糖料蔗经济收益情况

由表 7 可知，2015—2019 年糖料蔗应用水肥一体化技术（处理 F3）与常规施肥（CK）比较，产量增加 80.85 t/hm²，其中新植蔗增加 12.6 t/hm²，宿根蔗增加 68.25 t/hm²；收入增加 36 382.5 元 /hm²，其中新植蔗增加 5 670 元 /hm²，宿根蔗增加 30 712.5 元 /hm²。核减糖料蔗增加的

表 4　宿根糖料蔗农艺状

Table 4　Agronomic characters of new planted ratoon sugarcane

年份 Year	发株率 Emergence rate（%）		株高 Plant height（cm）		有效茎数 Number of effective stalk（stem/hm²）	
	CK	F3	CK	F3	CK	F3
2016	121.12 ± 3.05a	133.23 ± 3.68a	184.2 ± 13.8b	202.2 ± 12.9a	64472 ± 2241b	68554 ± 2251a
2017	101.03 ± 3.65b	122.19 ± 3.89a	169.0 ± 12.6a	176.0 ± 14.3a	62161 ± 3341b	66753 ± 3672a
2018	98.12 ± 2.98b	119.66 ± 4.02a	162.3 ± 14.7b	184.8 ± 13.9a	55148 ± 4352b	66143 ± 3012a
2019	85.29 ± 2.87b	111.17 ± 3.42a	160.1 ± 13.5b	177.8 ± 15.0a	53497 ± 3142b	64062 ± 3322a

注：同一指标同行数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same line of the same index represent significant differences.

表 5　宿根糖料蔗经济性状

Table 5　Economic characters of new planted ratoon sugarcane

年份 Year	蔗茎重 Cane stalk weight（kg）		蔗产量 Cane yield（t/hm²）		蔗糖分 Sucrose content（%）	
	CK	F3	CK	F3	CK	F3
2016	1.51 ± 0.19a	1.66 ± 0.24a	89.55 ± 5.40b	102.45 ± 6.75a	13.13 ± 0.27a	13.21 ± 0.24a
2017	1.31 ± 0.22b	1.53 ± 0.21a	61.20 ± 7.20b	77.10 ± 4.65a	12.42 ± 0.52a	12.76 ± 0.48a
2018	1.45 ± 0.15b	1.65 ± 0.17a	73.05 ± 6.75b	92.40 ± 4.20a	12.75 ± 0.41a	13.16 ± 0.29a
2019	1.38 ± 0.19b	1.59 ± 0.21a	62.70 ± 7.20b	82.80 ± 4.05a	12.52 ± 0.49a	12.86 ± 0.34a

注：同一指标同行数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same line of the same index represent significant differences.

表 6 糖料蔗田管成本情况

Table 6 Cost of sugarcane field management

成本 Cost	常规（CK） Conventional（CK）		水肥一体化技术（F3） Fertiogation technology（F3）				
	新植蔗（元 /hm²） New planted cane （yuan/hm²）	宿根蔗（元 /hm²·年） Ratoon cane（yuan/ hm²·year）	新植蔗（元 /hm²） New planted cane （yuan/hm²）	宿根（元 /hm²） Ratoon cane（yuan/hm²）			
				2016	2017	2018	2019
肥料费用 Cost of fertilizer	6390	6390	4854	4854	4854	4854	4854
滴管材料及安装费用 Costs of dropper materials and installation			2706	2130	2130	2130	2130
机械施肥费用 Cost of mechanical fertilization	375	750		375	375	375	375
施水肥费用 Cost of applying water and fertilizer			585	585	585	585	585
滴灌淋水费用 Cost of drip irrigation			600	600	450	300	150
防病虫及除草费用 Cost of pest control and weeding	450	450	450	450	450	450	450
其他费用 Other cost			150	150	150	150	150
合计 Total	7215	7590	9345	9144	8994	8844	8694

注：（1）机械破垄施肥一次 375 元 /hm²，滴灌淋水一次 150 元 /hm²，施水肥一次 195 元 /hm²；（2）N16 贴片式滴灌管带 0.14 元 /m、12 000 m/hm²，16PE 软管球阀旁通 1.2 元 / 个、180 个 /hm²，主管 Φ63PE 软水管 2 元 /m、180 m/hm², 安装费用 450 元 /hm²，球阀旁通和主管可以连续使用，其他含设备折旧及维护等费用。

Note:（1）The cost of mechanical ridge breaking and fertilization is 375 yuan /hm² for one time, the drip irrigation for one time is 150 yuan/hm², and the application of water and fertilizer is 195 yuan /hm²;（2）The cost of N16 patch type drip irrigation belt is 0.14 yuan/m（12 000 m/hm²）, 16 PE hose valve switch is 1.2 yuan/piece（180 piece/ hm²）, Φ 63 PE water hose of main pipe is 2 yuan/m（180 m/hm²）;（3）The cost of pipeline installation is 450 yuan/hm². The ball valve switch and the main pipe can be used continuously. Other costs include equipment depreciation and maintenance.

表 7 糖料蔗经济收益情况

Table 7 Economic benefits of sugarcane

年份 Year	甘蔗产量 Sugarcane yield（t/hm²）		甘蔗收入（元 /hm²） Sugarcane income（yuan/hm²）	
	CK	F3	CK	F3
2015	94.20	106.80	42390.0	48060.0
2016	89.55	102.45	40297.5	46102.5
2017	61.20	77.10	27540.0	34695.0
2018	73.05	92.40	32872.5	41580.0
2019	62.70	82.80	28215.0	37260.0
合计 Total	244.95	461.55	110227.5	207697.5

成本费用后，应用水肥一体化技术（F3）实际比常规施肥（CK）增加收入 26 806.5 元 /hm²。

3 讨论

水肥一体化技术能减少化学肥料的施用，提高作物对化学肥料的利用率，使其增产增收[21]。将水肥一体化技术应用到糖料蔗生产田管中，通过比较新植蔗农艺、经济性状与收益，筛选出最优肥料配比：尿素 450 kg/hm²、农用钙镁磷肥 1 500 kg/hm²、农用硫酸钾 180 kg/hm²、复合肥 270 kg/hm²、有机肥 1 350 kg/hm²，合计施用化学肥料量为 2 400 kg/hm²，比常规施肥对照 3 000 kg/hm²，减少 600 kg/hm²，节省化学肥料 20%，但糖料蔗发株率、株高，有效茎数、蔗茎重和蔗产量仍显著高于常规施肥对照。这与杨胜[10]、陈建国[15]、马富国[21]报道水肥一体化技术能提高肥料利用率相一致，但对比国外如以色列（节肥率在 40%~50%）等发达国家，其节肥率仍有待进一步深入研究。

糖料蔗应用水肥一体化技术可以增加甘蔗收入[18]。按本地区实际生产效益，糖料蔗种植到第 3 年产量小于 75 t/hm² 将淘汰重新种植，常规施肥对照第 3 年（2017 年）宿根产量为 61.2 t/hm²，故 2018 年和 2019 年不作比较，因此常规施肥糖料蔗收入按 3 年计算（新植 1 年，宿根 2 年），甘蔗收入为 110 227.5 元 /hm²，去除田管成本 22 395 元 /hm² 和砍收成本 35 517.75 元 /hm²（本地区人工砍收等费用 145 元 /t，下同），实际收入 52 314.75 元 /hm²。应用水肥一体化技术糖料蔗种植达到 5 年（新植 1 年，宿根 4 年），比常规施肥对照延长宿根 2 年，其前 3 年甘蔗收入为 128 857.5 元 /hm²，去除田管成本 27 483 元 /hm² 和砍收成本 41 520.75 元 /hm²，实际收入 59 853.75 元 /hm²，比常规施肥对照实际增加收入 7 539 元 /hm²；其后两年宿根蔗甘蔗收入 78 840 元 /hm²，去除田管成本 17 538 元 /hm² 和砍收成

本 25 404 元 /hm²，实际收入 35 898 元 /hm²。因此，糖料蔗田管应用水肥一体化技术，比常规施肥对照实际累计增加收入 43 437 元 /hm²。

本研究发现试验地糖料蔗种植行距太窄，试验进行到第 6 年，因蔗垄过高大，机械破垄施基肥难以开展，糖料蔗被迫淘汰。国内冯志高等[22]已报道不同行距对甘蔗产量及糖分的有一定影响，而国外甘蔗宿根年限长的国家如巴西[23]，甘蔗种植行距一般在 1.4 m 以上。因此，糖料蔗进行多年宿根，种植行距应控制在 1.2~1.4 m，以适应机械化田管作业。

4 结论

应用水肥一体化技术进行糖料蔗田管，能延长宿根年限 2 年，减少化学肥料的施用量，增加经济收入，可作为提升本地区宿根蔗田管质量、产量及延长宿根年限技术大面积推广应用。这是国内首次研究水肥一体化技术延长糖料蔗宿根年限，也为糖料蔗提质增效提供了一种新途径。

参考文献（References）：

[1] 刘燕群，李玉萍，梁伟红，宋启道，秦小立，叶露 . 国外甘蔗产业发展现状[J]. 世界农业，2015(8):147–152. doi: 10.13856/j.cn11–1097/s.2015.08.030.
LIU Y Q, LI Y P, LIANG W H, SONG Q D, QIN X L, YE L. Development status of sugarcane industry abroad[J]. *World Agriculture*, 2015(8):147–152. doi: 10.13856/j.cn11–1097/s.2015.08.030.

[2] 李如丹，张跃彬，刘少春，郭家文，王炎炎 . 国内外甘蔗生产技术现状和展望[J]. 中国糖料，2009(3):54–56,64. doi:10.3969/j.issn.1007–2624.2009.03.021.
LI R D, ZHANG Y B, LIU S C, GUO J W, WANG Y Y. Present situation and prospect of sugarcane production technology at home and abroad[J].*Sugar Crops of China*, 2009(3):54–56,64. doi:10.3969/j.issn.1007–2624.2009.03.021.

[3] 覃伟，吴才文，赵俊，赵培方，杨昆，陈学宽，姚丽，曾千春 . 甘蔗宿根性研究 I 甘蔗宿根蔗蔸形态特征与其宿根性的关系[J]. 西南农业学报， 2017,30(5):989–993. doi:10.16213/j.cnki.scjas.2017.5.002.
QIN W, WU C W, ZHAO P F, YANG K, CHEN X K, YAO L, ZENG Q C. Research on ratoon ability of sugarcane I relationship between ratooning ability and morphological characteristics of ratoon stools[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*,2017,30(5):989–993. doi:10.16213/j.cnki.scjas.2017.5.002.

[4] FáBIO R M, JUAN I R E, JOSE A, PATRICIO G. On–farm sugarcane yield and yield components as influenced by number of harvests[J]. *Field Crops Research*, 2019(6):134–142. doi:10.1016/j.fcr.2019.06.011.

[5] HUNSIGI G, KRISHNA K R. Science of field crops[M]. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co, 1998:328–352.

[6] 谭俊杰 . 中国甘蔗生产成本结构分析及国际竞争力比较[J]. 农业与技术，2018,38(21):161–164.
TAN J J. Cost structure analysis and international competitiveness comparison of sugarcane production in China[J]. *Agriculture and Technology*,2018,38(21):161–164.

[7] 严艳荣 . 粤西地区甘蔗产业对外贸易的发展现状及对策[J]. 桉树科技，2019,36(2):57–62. doi:10.3969/j.issn.1674–3172.2019.02.011.
YAN Y R. Development status and countermeasures of foreign trade of sugarcane industry in western Guangdong[J]. *Eucalypt Science &Technology*,2019,36(2):57–62. doi:10.3969/j.issn.1674–3172.2019.02.011.

[8] 韦丽娇，严晓丽，李明， 覃荣刚，董学虎，黄伟华，李日华 . 宿根甘蔗机械化管理技术研究进展[J]. 现代农业装备，2017(5):33–38. doi:10.3969/j.issn.1673–2154.2017.05.011.
WEI L J, YAN X L, LI M, QIN R G, DONG X H, HUANG W H, LI R H. Research progress in the mechanized management techniques of ratoon sugarcane[J]. *Modern Agricultural Equipments*, 2017(5):33–38. doi:10.3969/j.issn.1673–2154.2017.05.011.

[9] 李杨瑞，杨丽涛，杨柳，陈赶林，刘昔辉 . 巴西甘蔗糖业高效低耗的经验与启示[J]. 中国糖料，2015,37(4):73–76. doi:10.3969/j.issn.1007–2624.2015.04.028.
LI Y R, YANG L T, YANG L, CHEN G L, LIU X H. Experience and enlightenment of efficient and low consumption of sugarcane and sugar industry in Brazil[J]. *Sugar Crops of China*,2015,37(4):73–76. doi:10.3969/j.issn.1007–2624.2015.04.028.

[10] 杨胜 . 以色列地埋式滴灌技术在甘蔗生产中的应用和推广[J]. 吉林农业，2010(9):133–134.
YANG S. Application and popularization of buried drip irrigation in sugarcane production in Israel[J]. *Jilin Agricultural*, 2010(9):133–134.

[11] 马泽辉，薛晶，张会华，何文志，王定权 . 不同覆盖模式对宿根甘蔗农艺性状和产量的影响[J]. 热带农业科技，2014,37(1):28–29. doi:10.3969/j.issn.1672–450X.2014.01.010.
MA Z H, XUE J, ZHANG H H, HE W Z, WANG D Q. The effect of different cover patterns on agronomic traits and yield of ratoon sugarcane[J]. *Tropical Agricultural Science & Technology*, 2014,37(1):28–29. doi:10.3969/j.issn.1672–450X.2014.01.010.

[12] 马丽，蔡青，应雄美，刘新龙，毛钧 . 五年宿根蔗种质材料的产量与糖分评价[J]. 中国糖料，2008(2):33–34. doi:10.3969/j.issn.1007–2624.2008.02.011.
MA L, CAI Q, YING X M, LIU X L, MAO J. Appraisement of yield and sucrose content to the fifth year ratoon sugar cane[J]. *Sugar Crops of China*, 2008(2):33–34. doi:10.3969/j.issn.1007–2624.2008.02.011.

[13] 敖俊华，黄振瑞，李奇伟，邓海华 . 湛江蔗区甘蔗测土配方施肥[J]. 中国糖业，2009(3):36–38.
AO J H, HUANG Z R, LI Q W, DENG H H. Formula fertilization by soil testing on sugarcane in Zhanjiang[J]. *Sugar Crops of China*, 2009(3):36–38.

[14] 陆绍德，关经伦，黄所，陈建辉 . 甘蔗水肥一体化技术应用效果[J]. 中国热带农业，2013,10(5):62–63. doi:10.3969/

j.issn.1673–0658.2013.05.023.

LU S D, GUAN J L, HUANG S, CHEN J H. Application effect of integrated technology of sugarcane fertilizer and water[J]. *China Tropical Agriculture*,2013,10(5):62–63. doi:10.3969/j.issn.1673–0658.2013.05.023.

[15] 陈建国, 郭家文, 张跃彬, 杨洪昌, 邓军, 李俊. 水肥一体化技术在云南蔗区应用前景分析[J]. 中国糖料, 2016,38(2):72–73.

CHEN J G, GUO J W, ZHANG Y B, YANG H C, DENG J, LI J. Analyze the application prospect of integrated water and fertilizer technology in sugarcane area of Yunnan province[J]. *Sugar Crops of China*, 2016,8(2):72–73.

[16] 周爱芳,宁发洲. 水肥一体化技术在甘蔗上的应用试验[J].广西糖业, 2019(3):29–30,45. doi:10.3969/j.issn.1007–4732.2019.03.006.

ZHOU A F, NING F Z. Application of integrated water and fertilizer technology in sugarcane[J]. *Guangxi Sugar Industry*, 2019,106(3):29–30,45. doi:10.3969/j.issn.1007–4732.2019.03.006.

[17] 梁文经. 雷州半岛甘蔗需水量及灌溉制度[J]. 广东水利水电, 1998(1):39–43.

LIANG W J. Water demand and irrigation system for sugarcane in Leizhou Peninsula[J]. *Guangdong Water Conservancy and Hydropower*, 1998(1):39–43.

[18] 经福林, 关经伦, 黄所, 陈建辉. 甘蔗水肥一体化节水灌溉技术的示范应用[J]. 热带农业工程, 2014.38(6):5–7.

JING F L, GUAN J L, HUANG S, CHEN J H. The summarize of demonstration application of water–saving irrigation technology and integration of water and fertilizer on sugarcane[J]. *Tropical Agricultural Engineering*, 2014,38(6):5–7.

[19] 陆绍德, 黄所, 关经伦, 陈红伟, 陈建辉, 冯大权, 周有洋, 吴志雄. HJYDS–1 型移动式水肥药一体化施肥车研制与推广[J]. 现代农业装备, 2012,33(9):48–50.

LU S D, HUANG S, GUAN J L, CHEN H W, CHEN J H, FENG D Q, ZHOU Y P, WU Z X. Development and promotion of HJYDS–1 type mobile water and fertilizer medicine integrated fertilizer truck[J]. *Modem Agricultural Equipments*, 2012,33(9):48–50..

[20] 邓重泰. 中国甘蔗品种志[M]. 广州:广东科技出版社, 1991:115–117.

DENG C T. China sugarcane varieties[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1991:115–117.

[21] 马富裕, 刘扬, 崔静, 樊芦阳, 李明仁. 水肥一体化研究进展[J]. 新疆农业科学, 2019,56(1):183–192. doi: 10.6048/j.issn.1001–4330.2019.01.022.

MA F Y, LIU Y, CUI J, FAN, L Y, LI M R. Review on the research progress of water and fertilizer integration[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*,2019,56(1):183–192. doi: 10.6048/j.issn.1001–4330.2019.01.022.

[22] 冯志高, 农秋平, 周泽秀. 不同宽窄行行距对甘蔗产量和糖分的影响[J]. 南方农业, 2014(21):26–27. doi: 10.19415/j.cnki.1673–890x.2014.21.014 .

FENG Z G, NONG Q P, ZHOU Z X. Effects of narrow line spacing of different widths to sugarcane yield and sugar content[J].*South China Agriculture*,2014(21):26–27. doi: 10.19415/j.cnki.1673–890x.2014.21.014.

[23] HENRIQUE B D, PAULO C S. Dimensioning the impact of irrigation on sugarcane yield in brazil[J]. *Sugar Technology*, 2019,21(1):29–37. doi:10.1007/s12355–018–0619–x.

（责任编辑　邹移光）