广东农业科学 2021，48（1）：72–78
Guangdong Agricultural Sciences DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2021.01.009

蒋淑停，彭李顺，曹峥英，杨本鹏，杨学 . 甘蔗脱毒原种苗生物量累积特征及水分需求研究［J］. 广东农业科学，2021，48（1）：72–78.

甘蔗脱毒原种苗生物量累积特征及水分需求研究

蒋淑停[1,2]，彭李顺[2]，曹峥英[2]，杨本鹏[2]，杨　学[2]

（1. 海南大学园艺学院，海南 海口　570228；
2. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所 / 中国热带农业科学院甘蔗研究中心 /
农业农村部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室，海南 海口　571101）

摘　要：【目的】探讨甘蔗脱毒原种苗生长和水分需求规律，为甘蔗脱毒原种苗田间繁育栽培和水分管理提供参考依据。【方法】通过分析甘蔗脱毒原种苗的干物质量累积规律，结合广西扶绥试验基地气象数据的采集，采用作物系数法计算广西扶绥县甘蔗脱毒原种苗各生长发育时期的作物需水量及水分盈亏量。【结果】甘蔗脱毒原种苗干物质量积累主要集中在茎伸长生长期，8 月中旬开始拔节至 10 月下旬，平均每日干物质累积量达 2.92 g，11 月后干物质量日均累积速率减缓至 1.77 g，至 12 月下旬可收获约 15 节健康种茎。甘蔗脱毒原种苗需水量整体呈先上升后下降的变化趋势，其中 8 月中旬至 9 月下旬需水量最大，日需水量达 5.5 mm。甘蔗脱毒原种苗生育期内广西扶绥试验地降雨主要集中在 7 月中旬至 9 月中旬，累积降雨量达 177.9 mm，9 月下旬至 12 月降雨较少，累积降雨量仅 22.3 mm。甘蔗脱毒原种苗仅苗期表现为水分盈余，其余时间 7 月下旬至 12 月水分表现为持续亏缺，总亏缺量达 473.4 mm。【结论】明确了甘蔗脱毒原种苗干物质量累积特征和水分需求规律，为今后甘蔗脱毒原种苗田间繁育和规模化生产过程中合理栽培和科学灌溉提供理论依据和参考。

关键词：甘蔗；脱毒苗；干物质量；需水量；水分盈亏量

中图分类号：S311；S274　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1004–874X（2021）01–0072–07

Study on the Characteristics of Biomass Accumulation and Water Requirement of Disease–free Sugarcane Original Seedlings

JIANG Shuting[1,2], PENG Lishun[2], CAO Zhengying[2], YANG Benpeng[2], YANG Xue[2]

（1.*College of Horticulture, Hainan University*, *Haikou* 570228,*China;*
2.*Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/ Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Haikou* 571101, *China*）

Abstract:【Objective】The study was conducted to explore the rules of growth and water requirement of disease–free sugarcane original seedlings, and provide a reference for the field breeding and water management of disease–free sugarcane original seedlings.【Method】In this study, by analyzing the dry matter accumulation rule of the disease–free sugarcane seedlings with the meteorological data of Guangxi Fusui Experimental Base, the crop coefficient method was used to calculate the water requirement and water deficit in each growth period of the disease–free sugarcane original

收稿日期：2020–10–12
基金项目：国家重点研发计划项目（2018YFD0201100）；国家现代农业产业技术体系（甘蔗）建设专项资金（CARS–170716）
作者简介：蒋淑停（1993—），女，在读硕士生，研究方向为甘蔗栽培生理，E–mail：Jiangst0518@163.com
通信作者：杨本鹏（1964—），男，研究员，研究方向为甘蔗生物技术及耕作栽培，E–mail：y–bp@163.com

seedlings in Fusui County, Guangxi.【Result】The dry matter accumulation of the disease-free sugarcane seedlings was mainly concentrated in the growth period of stem elongation. The stem elongation stage started from mid-August to the end of October, with an average daily dry matter accumulation of 2.92 g. After November, the average daily dry matter accumulation rate decreased to 1.77 g, and about 15 healthy stems could be harvested in late December. The water requirement of disease-free sugarcane original seedlings showed a decline trend after an initial ascent. In the period of mid-August to late September, the water requirement was the largest, and the daily water requirement reached 5.5 mm. During the growth periods of the disease-free sugarcane original seedlings, the rainfall at the Fusui test site in Guangxi was mainly concentrated from mid-July to mid-September, with a cumulative rainfall of 177.9 mm, and less rainfall from late September to December, with a cumulative rainfall of only 22.3 mm. The disease-free sugarcane original seedlings showed water surplus only at the seedling stage, and the water deficit continued from late July to December, with a total deficit of 473.4 mm.【Conclusion】Through the above analysis, the dry matter accumulation characteristics and water requirement rules of the disease-free sugarcane original seedlings were clarified, which provided theoretical basis and references for rational cultivation and scientific irrigation in the field breeding and large-scale production of disease-free sugarcane original seedlings in the future.

Key words: saccharum spp. hybrid; disease-free seedlings; dry matter quality; water requirement; water surplus and deficit

【研究意义】甘蔗（*Saccharum* spp. *hybrid*）是大宗无性繁殖作物，长期无性繁殖易遭受多种病原物（花叶病和宿根矮化病等）的反复侵染，导致多种病害积累，造成减产[1]。通过热处理结合茎尖分生组织培养技术培育的甘蔗脱毒健康种苗可以很好地解决这些病害问题[2]，相比常规种苗，脱毒健康种苗还具有生长快速、分蘖能力强、产量高等特性[3-5]。因此，甘蔗脱毒健康种苗的推广种植可以有效减少甘蔗病害发生，提高甘蔗产量和蔗农收益。甘蔗脱毒健康种苗的推广离不开种苗繁育，其中由脱毒原种苗到健康种茎的生产种植过程是最重要的环节之一。甘蔗脱毒原种苗幼嫩、生长速度快，在田间繁育过程中栽培和水分管理至关重要，明确甘蔗脱毒原种苗的生长规律和水分需求，可以为甘蔗脱毒种苗繁育和健康种茎的规模化生产提供指导。

【前人研究进展】目前针对甘蔗干物质量累积规律和水分需求方面的研究，主要集中在原料蔗上。原料蔗以春植蔗为主，生长周期通常为10—12月，干物质量累积呈现明显“中间大两头小”的趋势，生长前期干物质量累积相对较少，6月开始拔节进入茎伸长生长期，干物质量快速大量累积，11月后逐渐进入工艺成熟期，生长和干物质量累积速度均大幅减缓[6-8]。与干物质量规律相似，原料蔗水分需求呈明显单峰曲线变化，全年需水量为1 050~1 250 mm，在苗期和分蘖期需水相对较少、不足30%，伸长期需水量较高、占近60%，成熟期占10%左右。我国甘蔗主产区的年降雨量为1 000~2 000 mm，其中广西区年降雨量约为1 400 mm，4—9月为降雨充沛的雨季，降水量占全年总降水量的75%左右，10月至次年3月为旱季，降水较少。春植蔗出苗期的降雨量仅能满足甘蔗需水量的70%左右，分蘖期约能满足甘蔗需水量的65%；而在秋季，甘蔗成熟期的降雨量仅能满足甘蔗需水量的35%左右[9-14]。

【本研究切入点】甘蔗脱毒原种苗从大田移栽到健康达到最佳全茎做种要求（12~15茎节）时收获[15]，种植周期通常仅6个月，其在生长和水分供需规律方面与原料蔗存在较大差异。【拟解决的关键问题】本研究通过对甘蔗脱毒原种苗繁育过程中生物量累积和生长过程进行监测，同时结合广西扶绥县试验地气象站的气象资料和观测数据，利用作物系数法对甘蔗脱毒原种苗各生长发育阶段的需水规律及水分需求状况进行分析，旨在为甘蔗脱毒原种苗田间繁育过程中栽培和水分管理提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2019年7—12月在广西壮族自治区崇左市扶绥县昌平乡国家甘蔗脱毒健康种苗繁育基地进行。

供试甘蔗脱毒健康种苗品种为中糖1号，为中大茎、中晚熟品种，产量高、宿根性，由中国热带农业科学院热带生物技术研究所于2018年育成登记，目前在广西扶绥、海南等蔗区推广种植。

1.2 试验方法

本试验甘蔗脱毒原种苗是经过脱毒培育的原

原种苗，再经增殖快繁、诱导生根后形成完整原种苗，于2019年6月15日洗净根系移栽至苗圃地进行穴盘假植培养25 d，7月10日再移栽至田间种植，12月31日采收健康种茎，参照相关甘蔗脱毒原种苗的生产标准进行田间管理。

1.2.1 生物量 选择移栽大田后长势基本一致的甘蔗脱毒原种苗，于2019年7月20日、7月31日、8月31日、9月30日、10月31日、11月30日和12月31日，分别采样一次，每次取样后烘干，称取整株干重，5次重复。

1.2.2 作物需水量 作物需水量（ET_c）的计算通过作物系数法确定，主要取决于气象因素（当年气象资料来自广西扶绥试验基地气象站）和具体作物生物学特性：

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

式中，ET_c为作物需水量（mm/d），K_c为作物系数，ET_0为参照腾发量（mm/d）。

ET_0综合考虑了各种气候因素的主要影响，利用联合国粮食及农业组织（FAO）推荐使用的Penman–Monteith公式法[16–17]计算参照腾发量（ET_0）：

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta\ (R_n - G) + \gamma \dfrac{900}{T+273} U_2\ (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\ (1 + 0.34U_2)}$$

式中，ET_0为参照腾发量（mm/d），R_n为表面的净辐射（MJ m²/d），G为土壤热通量（MJ m²/d），T为2 m高度处的空气温度（℃），U_2为2 m高度处的风速（m/s），e_s为饱和水汽压（kPa），e_a为实际水汽压（kPa），$e\text{-}e_a$为饱和水汽压差（kPa），Δ为水汽压曲线斜率（kPa/℃），γ为湿度计常数（kPa/℃）。

K_c主要随具体作物的各种特性和气候的有限范围而变化，以FAO提供的作物生长在$RH_{min} \approx 45\%$、$U_2 \approx 2$ m/s的气候区、无水分胁迫、管理水平高条件下甘蔗的系数为基准，根据甘蔗脱毒原种苗的实际因素进行修正校准[16–20]：

$$K_c = K_{ctab} + 0.04 \times (U_2 - 2 - RH_{min} + 45)\ (\frac{h}{3})^{0.3}$$

式中，K_{ctab}为不同生育阶段标准条件下的作物系数，U_2为2 m高度的风速（m/s），RH_{min}为该生育阶段内日最低相对湿度的平均值，h为该生育阶段内作物平均高度（m）。

1.2.3 降雨量 在作物生长发育期，能被作物利用的降雨量为有效降雨量。有效降雨量是指该段时间内天然降雨量减掉深层渗透量及地下径流量后所剩余水量，计算公式如下：

$$P = \alpha \cdot P_0$$

式中，α为降雨有效利用系数，参考广西糖料蔗灌溉定额及灌溉技术规程[21]确定；P_0为天然降雨量（mm），利用雨量器进行测定。

1.2.4 作物水分盈亏 作物水分盈亏用于作物测定需水量进而制定灌溉制度，由于试验地地下水位较深，地下水补给量G可忽略。

$$\Delta W = P - ET_c$$

式中，ΔW为作物水分盈亏量（mm），反映了试验地作物水分盈亏量，P为时段内有效降雨量（mm），ET_c为作物需水量（mm）。

当$P > ET_c$时，水分盈亏量为正，此时有效降雨量能满足作物需水量；当$P < ETC$时，水分盈亏量为负，此时有效降雨量不能满足作物需水量。

1.3 统计分析

采用Excel 2010进行数据整理分析，采用SPSS进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 甘蔗脱毒原种苗生物量累积变化

作物生物量为作物长势及作物产量监测提供重要指标。从图1可以看出，7月中旬至8月上旬甘蔗脱毒原种苗正处于苗期和分蘖期，蔗株生物累积量相对较少，仅占整个生育期3.9%。8月中旬甘蔗脱毒原种苗开始拔节进入茎伸长生长期，至8月31日甘蔗脱毒原种苗已有4茎节，此期间生物量开始快速大量累积，8月中旬至10

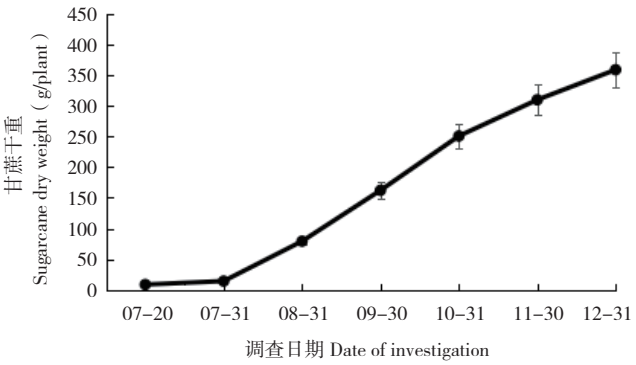

图1 甘蔗脱毒原种苗生物量累积变化

Fig. 1 Variation of biomass accumulation of disease–free sugarcane original seedlings

月下旬茎节累积至 11 茎节，日均累积量可达到 2.92 g。11 月上旬至 12 月下旬甘蔗脱毒原种苗茎节数增长减缓至月均 2 节，生物量累积速度也明显减缓，日均累积量降至 1.77 g。

2.2 甘蔗脱毒原种苗需水量变化

广西扶绥甘蔗脱毒原种苗生育期内总作物需水量为 659.6 mm，整体呈先上升后下降趋势（图 2）。在 7 月中旬（苗期）甘蔗脱毒原种苗植株较小、叶面积较小、植株蒸腾量较小，因此在苗期甘蔗脱毒原种苗的作物需水量较少，仅占全生育期需水量的 2.2%。7 月下旬进入分蘖期后作物需水量整体开始增长，占全生育期需水量的 11.8%。8 月中旬后进入茎伸长生长期，至 9 月下旬（茎伸长生长期 0~8 茎节）需水量累积达 275.2 mm，占全生育期的 41.7%，各旬需水量维持在 46.1~58.9 mm，10 月开始气温、地面温度降低，需水量整体有所下降，10 月至 12 月下旬（茎伸长生长期 9~15 茎节）各旬平均需水量为 32.4 mm。

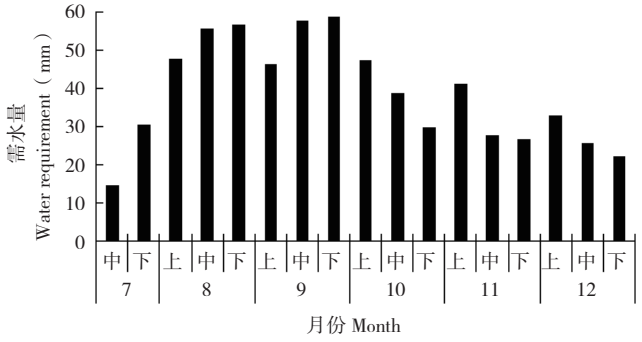

图 2 甘蔗脱毒原种苗需水量变化

Fig. 2 Variation of water requirement of disease-free sugarcane original seedlings

2.3 甘蔗脱毒原种苗有效降雨量变化

甘蔗脱毒原种苗生育期内总降雨量仅为 200.3 mm，且不同时期降雨量分布不均匀。由图 3 可知，降雨主要集中在甘蔗脱毒原种苗生长前期（7 月中旬至 9 月中旬），占整个生长周期总降水量的 88.9%。在此期间，除 7 月下旬和 8 月中旬降雨量较低，分别为 6.7、0 mm 外，其余各旬平均降雨量为 34.3 mm，在 8 月下旬时最高、达 54.4 mm。进入 9 月下旬后，有效降雨量大幅减少，除 11 月中旬降雨达到 15.8 mm 外，10 月上下旬、11 月和 12 下旬仅有零星降雨，其余各旬均无降雨量记录。

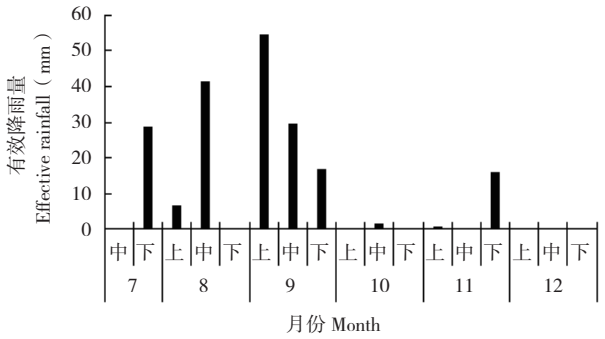

图 3 甘蔗脱毒原种苗生育期有效降雨量变化

Fig. 3 Variation of effective rainfall at growth periods of disease-free sugarcane original seedlings

2.4 甘蔗脱毒原种苗水分盈亏量变化

作物水分盈亏主要由降雨量与作物需水量之差表示，当水分亏缺时需要进行灌溉，否则会造成减产。在甘蔗脱毒原种苗整个生育期内，仅有苗期（7 月中旬）水分呈现盈余状态，其余各生育期均表现为水分亏缺。在甘蔗脱毒原种苗分蘖期（7 月下旬至 8 月上旬）累积亏缺量为 30.0 mm，7 月下旬亏缺量达 23.9 mm。茎伸长生长期（8 月中旬至 12 月下旬）累积亏缺量达 443.5 mm，占总亏缺量的 93.7%，其中 8 月中旬和 9 月下旬亏缺量分别高达 55.7、58.9 mm，其余各旬平均亏缺量为 27.4 mm。

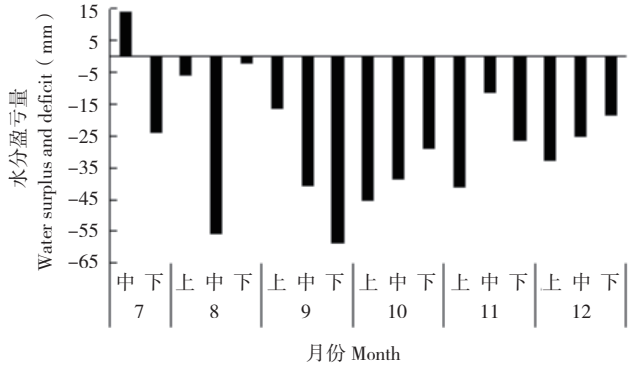

图 4 甘蔗脱毒原种苗水分盈亏量变化

Fig. 4 Variation of water surplus and deficit of disease-free sugarcane original seedlings

3 讨论

与原料蔗不同，甘蔗脱毒原种苗种植以收获具有萌发能力较强蔗芽的种茎为目的，生长周期仅为 6 个月，大约在移栽 1 个月后即开始拔节进入生物量快速累积的茎伸长生长期，8 月中旬至 10 月下旬共可产生约 11 个茎节，月均可产生 4

个茎节。进入 11 月后，甘蔗脱毒原种苗生物量累积速率开始变缓，至 12 月底月均可产生 2 个茎节，此阶段为种茎生理成熟期，基部蔗茎芽眼具有饱满、新鲜、萌发能力强等特点，可进行健康种茎的采收。12 月底，每株甘蔗平均可产生 15 个茎节，此时采收可在保持种茎质量的同时兼具较好经济性。

根据作物系数法计算出甘蔗脱毒原种苗在广西扶绥全生育期总需水量约为 659.6 mm，相当于原料蔗 65% 左右[14,22]。在不同生育阶段，甘蔗脱毒原种苗与原料蔗的需水量比例也存在一定差异。甘蔗脱毒原种苗在苗期、分蘖期、茎伸长生长期及种茎生理成熟期需水量占全生育期需水量分别为 2.2%、11.8%、59.3% 和 26.7%。相比而言，原料蔗苗期和分蘖期由于生长周期较长，需水量占比也相对更高，分别达到整个生育期 8%~18%、15%~21%；伸长期需水量占比与甘蔗脱毒原种苗茎伸长生长期需水量占比接近，均达到 60% 左右；成熟期原料蔗生长大幅减缓，后期接近停滞，需水量占比也相对较少，降至 10% 左右[10,23-25]。

降雨是甘蔗脱毒原种苗生长所需水分的重要来源，降雨量多少和降雨时间分布都会对甘蔗生物量的累积及产量产生较大影响[26]。在 2019 年甘蔗脱毒原种苗繁育周期内总有效降雨量仅为 200.3 mm，相较于广西扶绥县历年同期（约为 300.0 mm[27]）减少 100.0 mm 左右，但 2019 年及历年有效降雨量均不及甘蔗脱毒原种苗总需水量的 50%。在繁育周期内降雨分布方面，不同月份存在明显差异，7—9 月正值雨季，降雨相对较为集中，平均每旬有效降雨量为 22.2 mm，占整个生育期 88.9%；10 月后进入旱季，大部分时间仅有零星降雨，平均每旬有效降雨量仅为 2.5 mm。对比前期报道，发现 7—9 月通常为雨季，降雨普遍较为充沛，10 月后降雨量明显减少[28-31]，表明 2019 年广西扶绥试验地降雨分布基本符合广西蔗区的降雨分布特征。

在甘蔗脱毒原种苗生育期内，有效降雨量仅为需水量的 30.3%，且主要集中在甘蔗生长前期，因此甘蔗脱毒原种苗大部分时期均表现出不同程度的亏缺状况。在苗期，由于需水量相对较少，而降雨较多，表现为水分盈余，非常利于移栽后蔗苗新生根系生长。进入分蘖期后，需水量开始明显上升，水分开始出现明显亏缺，而此阶段是甘蔗脱毒原种苗单位面积有效茎数形成的关键时期，应根据水分亏缺状况进行适时灌溉，以促进蔗株快速生长和分蘖率的提高。8 月中旬甘蔗脱毒原种苗进入生长速度最快的茎伸长生长期，是甘蔗脱毒原种苗种茎形成的关键时期，此阶段水分亏缺最为严重，累积亏缺量达到 287.1 mm，占整个生育期亏缺量的 60.7%，因此需要保持一定灌溉强度，以保证土壤水分的持续供给能力，维持甘蔗持续旺盛生长。11 月开始进入种茎生理成熟期，至 12 月下旬表现为持续水分亏缺，亏缺量达到 156.3 mm，占整个生育期亏缺量的 33.0%，此阶段甘蔗脱毒原种苗蔗茎仍有月均 2 节的生长速度，需要根据各旬水分亏缺量保持持续的补充灌溉，保证蔗茎正常生长，达到最佳采收状态。

4 结论

甘蔗脱毒原种苗移栽后经过半年的田间繁育每株甘蔗可产生约 15 个茎节，此时采收可在保持种茎质量的同时兼具较好经济性。在水分需求方面，甘蔗脱毒原种苗生育期内总需水量为 659.6 mm，呈先升后降的趋势，其中 8—10 月对水分需求最高，每旬达到 48.7 mm。在繁育周期内，2019 年下半年广西扶绥县有效降雨量偏低，仅为甘蔗脱毒原种苗需水量的 30.3%，除苗期外各时期均表现出不同程度水分亏缺，因此需要根据各旬水分亏缺状况，及时合理的补充灌溉，才能保证甘蔗脱毒原种苗的持续快速生长，确保收获时健康种茎的质量和数量，提高甘蔗脱毒健康种苗繁育效率。

参考文献（References）：

[1] 武媛丽，王俊刚，蔡文伟，张树珍，杨本鹏.不同热处理对甘蔗蔗茎脱毒效果的影响[J].广东农业科学，2016,43(11):14-21. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2016.11.003.
WU Y L, WANG J G, CAI W W, ZHANG S Z, YANG B P. The effect of different heat treatments on the detoxification effect of sugarcane stems[J].*Guangdong Agricultural Sciences*, 2016,43(11):14-21. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2016.11.003.

[2] 吕平，张继，檀小辉，程琴，庞新华，金刚，苏文潘，黄惠芳.甘蔗03-75品系脱毒苗培育技术研究[J].广东农业科学，2014,41(6):32-34. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.06.017.
LYU P, ZHANG J, TAN X H, CHENG Q, PANG X H, JING G, SU W P, HUANG H F. Study on the cultivation technology of virus-free seedlings of sugarcane 03-75 line[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014,41(6):32- 34. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.06.017.

[3] 杨本鹏，张树珍，蔡文伟，张洪溢，龚康达，王永壮，冯翠

莲，王俊刚，杨学.甘蔗健康种苗田间栽培主要农艺性状比较[J].热带作物学报，2010,31(2):171-175.DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2010.02.002.
YANG B P, ZHANG S Z, CAI W W, ZHANG H Y, GONG K D, WANG Y Z, FENG C L, WANG J G, YANG X. Comparison of main agronomic characters of sugarcane healthy seedlings cultivated in field[J].*Chinese Journal of Tropical Crops*, 2010,31(2):171-175. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2010.02.002.

[4] 何为中，范业赓，刘红坚，翁梦苓，许树宁.甘蔗健康组培苗后代主要农艺性状的田间表现研究[J].广东农业科学，2013,40(14):30-32.DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2013.14.044.
HE W Z, FAN Y G, LIU H J, WENG M L, XU S N. Field performance of the main agronomic traits of the offspring of healthy tissue culture seedlings of sugarcane[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013,40(14): 30-32. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2013.14.044.

[5] 陈月桂，谭嘉娜，罗剑飘，罗青文，谢静，杨俊贤，李奇伟.粤糖60号与新台糖22号健康种苗假植与田间对比试验[J].广东农业科学，2014,41(18):24-27. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.18.025.
CHEN Y G, TAN J N, LUO J P, LUO Q W, XIE J, YANG J X, LI Q W. Fake planting and field comparative experiment of healthy seedlings of Yuetang 60 and Xintaitang 22[J].*Guangdong Agricultural Sciences*,2014,41(18): 24-27. DOI:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.18.025.

[6] 甘仪梅，杨本鹏，曾军，彭李顺，冯信平，张树珍，王秀兰，蔡文伟，武媛丽.甘蔗新台糖22号的干物质及氮素积累与分配特征[J].热带作物学报，2013,34(9):1742-1746.DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2013.09.020.
GAN Y M, YANG B P, ZENG J, PENG L S, FENG X P, ZHANG S Z, WANG X L, CAI W W, WU Y L. Dry matter and nitrogen accumulation and distribution characteristics of sugarcane Xintaitang 22[J].*Chinese Journal of Tropical Crops*, 2013,34(9):1742-1746. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2013.09.020.

[7] 黄振瑞，陈迪文，江永，李奇伟，陈清，张福锁.施用缓释肥对甘蔗干物质积累及氮素利用率的影响[J].热带作物学报，2015,36(5):860-864.DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2015.05.006.
HUANG Z R, CHEN D W, JIANG Y, LI Q W, CHEN Q, ZHANG F S. Effects of slow release fertilizer on dry matter accumulation and nitrogen use efficiency of sugarcane[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2015,36(5):860-864. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2015.05.006.

[8] 陈潇，冯利平，彭明喜，陈燕丽. 钟模型法建立甘蔗发育期模拟模型[J].中国农业气象，2019,40(3):186-194. DOI:10.3969/j.issn.1000-6362.2019.03.006.
CHEN X, FENG L P, PENG M X, CHEN Y L. Building a simulation model of sugarcane development period by clock model method [J].*Chinese Journal of Agrometeorology*,2019,40(3):186-194. DOI:10.3969/j.issn.1000-6362.2019.03.006.

[9] 谭宏伟，周柳强，谢如林，黄美福.蔗区降雨分布与甘蔗需水及加肥灌溉效应[J].西南农业学报，2008(5):1381-1384.DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2008.05.036.
TAN H W, ZHOU L Q, XIE R L, HUANG M F. Rainfall distribution in sugarcane area and water requirement and fertilizer irrigation effect of sugarcane[J].*Southwest ChinaJournal of Agricultural Sciences*, 2008(5):1381-1384. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2008.05.036.

[10] 罗维钢，褚俊英，黄忠华，廖婷，桑学锋，谭文艳，莫凡，田军.甘蔗需水量及其与气象因素的相关性分析[J].南方农业学报，2016,47(1):74-82.DOI:10.3969/j:issn.2095-1191.2016.01.74.
LUO W G, YAN J Y, HUANG Z H, LIAO T, SANG X F, TAN W Y, MO F, TIAN J. Water requirement of sugarcane and its correlation with meteorological factors[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2016,47(1):74-82. DOI:10.3969/j:issn.2095-1191.2016.01.74.

[11] 谭宏伟，周柳强，谭俊杰，杨尚东.甘蔗节水灌溉及高效施肥关键技术参数研究[J].南方农业学报，2016,47(5):638-643. DOI:10.3969/j:issn.2095-1191.2016.05.638.
TAN H W, ZHOU L Q, TAN J J, YANG S D. Study on key technical parameters of water-saving irrigation andefficient fertilization for sugarcane[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2016,47(5):638-643. DOI:10.3969/j:issn.2095-1191.2016.05.638.

[12] 李淏源.广西甘蔗水分供需特征及干旱分析[D].南京:南京信息工程大学，2018.
LI H Y. Characteristics of water supply and demand and drought analysis of sugarcane in Guangxi[D]. Nanjing:Nanjing University of Information Engineering, 2018.

[13] 谢平，周鸿凯，陈晓宏.湛江甘蔗田水分供需状况与干旱特征分析[J].灌溉排水学报，2015,34(9):93-98. DOI:10.13522/j.cnki.ggps.2015.09.019.
XIE P, ZHOU H K, CHEN X H. Analysis of water supply and demand status and drought characteristics of sugarcane fields in Zhanjiang [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2015, 34(9):93-98. DOI:10.13522/j.cnki.ggps.2015.09.019.

[14] 黄维，李家文，吴炫柯，刘永裕，刘梅，唐国敏.柳州市甘蔗生长季内水分供求情况分析[J].湖北农业科学，2019,58(2):88-95. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2019.02.020.
HUANG W, LI J W, WU X K, LIU Y Y, LIU M, TANG G M. Analysis on water supply and demand of sugarcane in growing season in Liuzhou city[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019,58(2):88-95. DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2019.02.020.

[15] 杨本鹏，张树珍.甘蔗良种繁育与脱毒种苗技术[M].北京:中国农业出版社，2019.
YANG B P, ZHANG S Z. Sugarcane fine seed breeding and virus-free seedling technology[M].Beijing:China Agriculture Press, 2019.

[16] DOORENBOS J, PRUITT W O. Crop water requirements[R]. Rome:Irrigation and Drainage Paper, FAO, 1975(24):1-179.

[17] ALLEN R G, PEREIRA LS, RAES D,SMITH M.Crop evapotranspiration : guidelines for computing crop water requirements [M]. Rome:FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998.

[18] KASHYAP P S, PANDA R K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region[J]. *Agricultural Water Management*,2001,50:9-25. DOI:10.1016/S0378-3774(01)00102-0.

[19] WATANABE K, YAMAMOTO T, YAMADA T, SAKURATANI T, NAWATA E, NOICHANA C, SRIBUTTA A, HIGUCHI H. Changes inseasonal evapotranspiration, soil water content and crop coeffificients in sugarcane, cassava and maize fifields in Northeast Thailand[J]. *Agricultural Water Management*,2004,67:133-143. DOI:10.1016/

j.agwat.2004.02.004.

[20] SILVA V D, SILVA B B, DE ALBUGUERQUE W G, BORGES C J R, SOUSA I F D E, DANTAS N J. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil[J]. *Agricultural Water Management*, 2013,128: 102–109. DOI:10.1016/j.agwat.2013.06.007.

[21] DB 45/T 1197—2015, 糖料蔗灌溉定额及灌溉技术规程[S].2015.
DB 45/T 1197–2015,Sugarcane irrigation quota and irrigation technical regulations[S].2015.

[22] 林阿典, 黄振瑞, 敖俊华, 林翠兰, 周文灵, 陈迪文, 卢颖林, 江永, 李奇伟.甘蔗需水量及土壤墒情评价指标体系研究[J].甘蔗糖业, 2017(3):16–23. DOI:10.3969/j.issn.1005–9695.2017.03.004.
LIN A D, HUANG Z R, AO J H, LIN C L, ZHOU W L, CHEN D W, LU Y L, JIANG Y, LI Q W. Study on evaluation index system of sugarcane water demand and soil moisture[J]. *Sugarcane Sugar Industry*, 2017(3):16–23. DOI:10.3969/j.issn.1005–9695.2017.03.004.

[23] 李国章.广西甘蔗的需水与灌溉[J].广西水利水电, 1993(2):62–67. DOI:10.16014/j.cnki.1003–1510.1993.02.014.
LI G Z. Water demand and irrigation of sugarcane in Guangxi[J]. *Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering*, 1993(2):62–67. DOI:10.16014/j.cnki.1003–1510.1993.02.014.

[24] 裴润梅, 褶维言.南宁甘蔗田水分供需状况的分析[J].广西蔗糖, 2000(4):9–13.
PEI R M,XUAN W Y. Analysis of water supply and demand in Nanning sugarcane field[J]. *Guangxi Sucrose*, 2000(4):9–13.

[25] 郭长强, 崔远来, 李新建, 粟世华.广西糖料甘蔗需水量和灌溉定额空间变异[J].农业工程学报, 2016,32(8):89–97. DOI:10.11975/j.issn.1002–6819.2016.08.013.
GUO C Q, CUI Y L, LI X J, SU S H. Spatial variation of water requirement and irrigation quota for sugarcane in Guangxi[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016,32(8):89–97. DOI:10.11975/j.issn.1002–6819.2016.08.013.

[26] 阮红燕.气候变化对广西甘蔗生产潜力影响的模拟研究[D].南宁:广西大学, 2018. DOI:10.7666/d.Y3434808.
RUAN H Y. Simulation study on the impact of climate change on sugarcane production potential in Guangxi[D]. Nanning:Guangxi University,2018.DOI:10.7666/d.Y3434808.

[27] 何雪娥, 黄丽玫, 刘兆颖.浅析2018年扶绥县沃柑喜获丰收的气候成因[J].南方农业, 2019, 13(9):154,158.DOI:10.19415/j.cnki.1673–890x.2019.09.080.
HE X E, HUANG L M, LIU Z Y. Analysis of the climatic causes of the bumper harvest of Wo orange in Fusui County in 2018[J]. *South China Agriculture*, 2019,13(9):154,158. DOI:10.19415/j.cnki.1673–890x.2019.09.080.

[28] 卢小凤, 匡昭敏, 李莉, 刘一江.气候变化背景下广西甘蔗秋旱演变特征分析[J].南方农业学报, 2016,47(2):217–222. DOI:10.3969/j:issn.2095–1191.2016.02.217.
LU X F, KUANG Z M, LI L, LIU Y J. Analysis on the characteristics of autumn drought of sugarcane in Guangxi under the background of climate change[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2016,47(2):217–222. DOI:10.3969/j:issn.2095–1191.2016.02.217.

[29] 吴卫熊, 莫明珠.1958—2015年广西木薯有效降雨量和需水量的变化规律[J].节水灌溉, 2020(2):80–82,87.
WU W X, MO M Z. Variation patterns of effective rainfall and water demand of cassava in Guangxi from 1958 to 2015[J]. *Water-saving Irrigation*, 2020(2): 80–82,87.

[30] 覃卫坚, 李栋梁. 近50a来广西各级降水气候变化特征分析[J].自然资源学报, 2014,29(4):666–676. DOI:10.11849/zrzyxb.2014.04.011.
QIN W J, LI D L. Analysis on the characteristics of precipitation climate change at various levels in Guangxi in the past 50 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014,29(4):666–676.DOI:10.11849/zrzyxb.2014.04.011.

[31] 孙桂凯, 高沫, 黄亚, 杨庆, 王大洋, 余璇.广西近50年降水结构时空变化特征分析[J].水电能源科学, 2016,34(9):1–4.
SUN G K, GAO M, HUANG Y, YANG Q, WANG D Y, SHE X. Analysis on the characteristics of temporal and spatial changes of precipitation structure in Guangxi in the past 50 years[J]. *Water Resources and Power*, 2016,34(9):1–4.

（责任编辑　白雪娜）