

## 桂糖 47 号和桂糖 31 号对机械收获的生理适应性差异

邓宇驰, 吴建明, 王伦旺, 贤武, 黄海荣, 李燕娇, 王春玲, 王宇萍, 经艳, 罗霆\*

广西农业科学院甘蔗研究所/广西甘蔗遗传改良重点实验室/农业农村部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室, 广西南宁 530007

**摘要:** 当前甘蔗机械收获不能大面积推广的难点和痛点是机械碾压对甘蔗生长造成的负面影响。为了探明机械收获对桂糖 47 号 (GT47) 和桂糖 31 号 (GT31) 苗期主要农艺性状和重要生理指标的影响, 为甘蔗机械收获的生理适应性评价和适宜机械收获品种选育提供理论参考。试验采用随机区组设计, 设机械收获和人工收获 2 种处理, 对比分析不同处理的发株率、分蘖率、叶片主要成分、根系活力及相关酶类的差异。结果表明, 机械收获对 GT31 的发株率和分蘖率影响较大, 对 GT47 发株率的影响不明显; 2 个甘蔗品种人工收获时的含氮量差异极显著, 2 种收获方式对 GT47 的含氮量影响不明显; 人工收获时, GT47 和 GT31 的全磷含量差异极显著, 而机械收获时, 2 个品种的全磷含量无显著差异。钾含量受不同收获方式和不同甘蔗品种的影响都较大, 无论是机械收获还是人工收获, GT47 和 GT31 的全钾含量之间均存在极显著差异; 不同收获方式下, 不同甘蔗品种的根系活力差异较大, 机械收获时, GT47 和 GT31 的根系活力分别为 0.53 mg/(g·h) 和 0.82 mg/(g·h), 差异达到极显著水平, 而人工收获时, 2 个品种的根系活力无明显差异; 机械收获后, GT31 根系的 MDA 含量在机械收获后极显著高于人工收获, 而 GT47 根系的 MDA 含量在 2 种收获方式下无明显差异; 机械收获时, GT47 根系的 CAT 活性达到 688.07 nmol/(min·g), 极显著高于 GT31; 不同品种间, 相同品种的不同收获方式间, 根系的 Pro 含量和 POD 活性均差异不显著。不同甘蔗品种对不同收获方式的适应性存在差异, GT47 在机械碾压后, 在发株、分蘖等农艺性状和叶片营养、根系活力、根系抗逆相关酶类等生理指标变化上均表现出对机械碾压更快速和敏锐的反应能力, GT47 较 GT31 更适宜机械收获。

**关键词:** 桂糖 47 号; 桂糖 31 号; 机械收获; 机械碾压; 生理适应性

中图分类号: S566.1 文献标识码: A

## Difference of Physiological Adaptability of Guitang 47 and Guitang 31 to Mechanical Harvest

DENG Yuchi, WU Jianming, WANG Lunwang, XIAN Wu, HUANG Hairong, LI Yanjiao, WANG Chunling, WANG Yuping, JING Yan, LUO Ting\*

Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences / Guangxi Key Laboratory of Guangxi Sugarcane Genetic Improvement / Key Laboratory of Sugarcan Biotechnology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanning, Guangxi 530007, China

**Abstract:** At present, the difficulty and pain point that sugarcane mechanical harvesting cannot be widely promoted is that mechanical rolling has a negative effect on sugarcane growth. In order to explore the effects of mechanical harvesting on the main agronomic traits and important physiological indexes of GT47 and GT31 at seedling stage, and provide theoretical reference for the evaluation of physiological adaptability of sugarcane mechanical harvesting and selection of suitable mechanical harvesting varieties, a randomized block design was used to compare and analyze the

收稿日期 2022-01-25; 修回日期 2022-04-14

基金项目 广西自然科学基金项目 (No. 2019GXNSFBA245005); 广西科技重大专项课题 (桂科 AA22117002-6); 中国科学院华南植物园重点支持项目 (No. E36101)。

作者简介 邓宇驰 (1984—), 男, 硕士, 高级农艺师, 研究方向: 甘蔗育种与栽培。\*通信作者 (Corresponding author): 罗霆 (LUO Ting), E-mail: seafair@163.com。

differences of plant growth rate, tiller rate, main components of leaves, root activity and related enzymes between mechanical and artificial harvesting treatments. The results showed that mechanical harvesting had a great effect on the rate of plant initiation and tillering of GT31, but not on the rate of plant initiation of GT47. There was a significant difference in nitrogen content between the two varieties during artificial harvesting, and the two harvesting methods had no obvious effect on the nitrogen content of GT47. The difference of total P content between GT47 and GT31 was extremely significant in artificial harvest, while there was no significant difference in total P content between the two varieties in mechanical harvest. Potassium content was greatly affected by different fertilization methods and different sugarcane varieties, and there was a significant difference in total potassium content between GT47 and GT31 regardless of mechanical or artificial harvesting. The root activity of GT47 and GT31 was 0.53 mg/(g·h) and 0.82 mg/(g·h) respectively in mechanical harvesting, but there was no significant difference in the root activity of the two varieties in artificial harvesting. After mechanical milling, the MDA content of GT31 root was significantly higher than that of artificial harvesting, while the MDA content of GT47 root showed no significant difference between the two harvesting methods. The CAT activity in root system of GT47 was 688.07 nmol/(min·g), which was significantly higher than that of GT31. There was no significant difference in Pro content and POD activity in roots among different varieties and different harvesting methods of the same variety. The adaptability of different sugarcane varieties in different harvest way differed. GT47 responded more quickly in tillering and other agronomic traits, and leaf nutrition, root activity, root art related enzymes after mechanical compaction. GT47 is more suitable for mechanical harvest.

**Keywords:** Guitang 47; Guitang 31; mechanical harvesting; mechanical rolling; physiological adaptability

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.05.010

甘蔗是重要的糖料和能源作物, 广西是我国最大的糖料蔗和食糖生产基地, 甘蔗年种植面积约 77 万  $\text{hm}^2$ , 占全国甘蔗种植面积的 60% 左右, 蔗糖产量占全国 65% 以上, 在保证国家食糖有效供给和维护国家食糖安全方面起到了不可替代的作用。但我国甘蔗生产正面临巨大的成本压力, 生产成本相较于海外主要生产国处于明显的竞争劣势。机械化程度低, 尤其是收获机械化程度极低是甘蔗生产成本居高不下的主要原因。广西甘蔗机耕率 98%, 机种率 45%, 机收率仅 8%<sup>[1]</sup>。甘蔗人工砍收成本约 150~200 元/t, 以 7 t 原料蔗生产 1 t 蔗糖计, 仅人工收获一项就需要成本 1050~1400 元/t。2021 年, 我国生产的食糖交易价格 5300~5500 元/t, 从巴西、澳大利亚等甘蔗全程机械化生产国进口食糖仅 4200~4300 元/t, 我国的食糖产业正面临严峻考验。实现甘蔗生产全程机械化, 特别是机械收获的大范围推广应用, 是提高我国当前蔗糖竞争力的关键<sup>[2-3]</sup>。

目前, 我国机械化收获的推广应用存在以下难点和痛点: 机械碾压严重影响甘蔗宿根性。具体原因是机械压实后土壤容重增大, 甘蔗根系生长受到抑制, 根系数量、长度、干重、根系表面积和根系平均直径等指标不同程度下降, 对养分的吸收能力大幅度降低, 甘蔗生长发育受阻<sup>[4-7]</sup>; 同时还造成宿根留土的蔗蔸和蔗芽破损、留茬高度、蔗蔸破头率和上位芽的损伤程度明显增加,

发株率降低, 严重影响出苗率和苗期长势<sup>[8-11]</sup>。对土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶活性, 土壤细菌、真菌、放线菌的数量及土壤养分含量<sup>[12-14]</sup>和甘蔗加工性能等都造成不良影响。可见, 机械收获影响甘蔗宿根性, 这些不良影响是阻碍其推广应用的最主要原因之一。

但研究证实, 甘蔗本身的品种特性和生理特征对机械收获的适应性有很大差异。一些宿根性强、地下芽库数量足够的品种, 可以完全不受或极少受机械碾压的影响而正常发蔸成株, 从而保证产量, 而宿根性差、地下芽库数量少的品种则很难适应机械收获, 宿根再发时缺蔸缺苗, 产量损失严重<sup>[9, 14-15]</sup>。因此推断, 一些甘蔗品种能在机械碾压后通过调整自身生理代谢, 迅速修复机械碾压损伤, 使得正常的生长发育不受影响, 从而适应机械收获碾压。

为了探究不同甘蔗品种对机械收获的适应性, 本研究开展了机械收获对不同甘蔗品种宿根蔗苗期生长发育及生理变化的影响研究, 以期为宜机械化收获甘蔗品种的选育, 早日实现我国甘蔗生产全程机械化奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验材料选择受机械收获影响较小的桂糖 47 号和受影响较大的桂糖 31 号 2 个甘蔗品种。试验

地点位于广西农业科学院甘蔗研究所隆安育种基地(107°92'27"E, 23°06'79"N)。土壤类型为粘壤土, 含全氮 1.18 g/kg, 全磷 1.18 g/kg, 全钾 3.74 g/kg, 水解性氮 112.6 mg/kg, 有效磷 5.6 mg/kg, 速效钾 177.3 mg/kg, 有机质 26.8 g/kg。pH 5.69。

## 1.2 方法

试验采用完全随机区组设计, 每小区 10 行, 行长 7.0 m, 行距 1.2 m, 小区面积 75.6 m<sup>2</sup>, 试验设 3 次重复。新植蔗于 2020 年 3 月种植, 2021 年 1 月分别进行人工砍收和机械收获, 人工收获采用传统镰刀砍收方式, 沿土表砍下蔗茎, 并于生长点砍去蔗茎梢头部分, 机械收获采用凯斯 AF4000 轴流滚筒往复式收割机收获。试验期间管理与常规大田管理一致。在甘蔗收获前调查小区有效茎数, 宿根发株后调查小区发株数。按下列公式分别计算宿根发株率和分蘖率:

宿根发株率=宿根发株数/新植小区有效茎数×100%

宿根分蘖率=宿根分蘖数/宿根发株数×100%

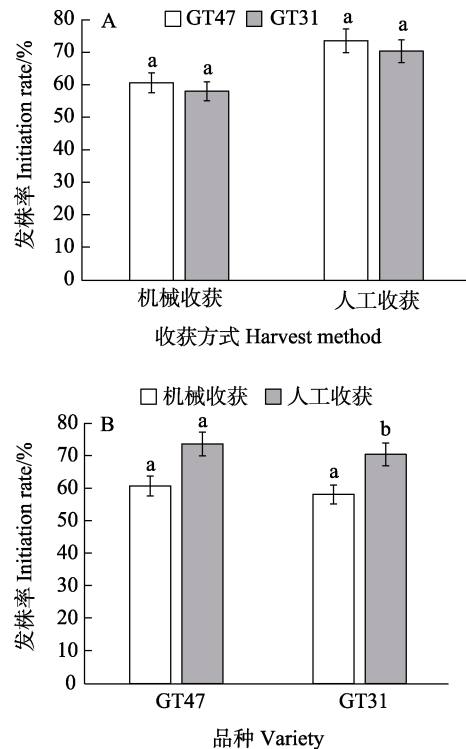
分别在 2021 年 4 月和 5 月, 每个处理采根系测定相关生理指标; 2021 年 7 月和 8 月, 每小区随机采+1 叶 5 片作为一个混合样, 测定营养物质(元素)含量。根系样品: 测定根系活力(TTC 法<sup>[16]</sup>)、丙二醛含量(硫代巴比妥酸法<sup>[17]</sup>)、脯氨酸含量(酸性茚三酮显色法<sup>[17]</sup>)、过氧化物酶(CAT)活性(过氧化氢还原法<sup>[18]</sup>)、过氧化氢酶(POD)活性(愈创木酚法<sup>[19]</sup>); 叶片样品: 采用硫酸-双氧水消解后, 测定总氮含量(凯氏定氮法<sup>[20]</sup>)、总磷含量(钼锑抗比色法<sup>[20]</sup>)、总钾含量(火焰光度计法<sup>[18]</sup>)。

## 2 结果与分析

### 2.1 机械收获对不同甘蔗品种宿根发株及分蘖的影响

2.1.1 宿根蔗发株 宿根蔗发株率和分蘖率的高低共同决定着甘蔗群体的大小, 是获得单位面积有效茎数的基础。由图 1A 可见, 机械收获碾压后, GT47 和 GT31 的发株率分别为 60.7%和 58.1%, 都较人工收获的低, 但同一收获方式下, 不同品种间的发株率无明显差异。图 1B 显示同一品种在不同收获方式下的发株率差异, 2 个不同品种在机械收获后发株率均下降, 其中 GT47 下降不明显, 2 种收获方式的发株率无显著差异。

而 GT31 机械收获和人工收获的发株率分别为 58.1%和 70.4%, 机械收获后发株率有显著下降。说明机械收获对 GT47 和 GT31 发株率的影响存在差异, 机械收获对 GT31 的发株率影响较大, 对 GT47 发株率的影响不明显。



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ( $P < 0.05$ ).

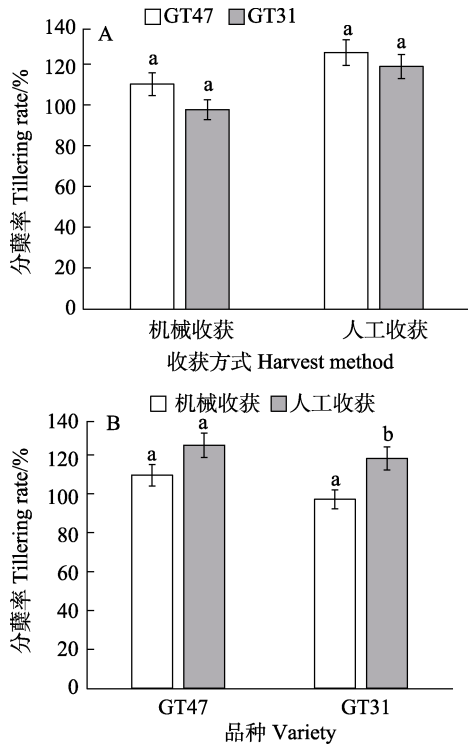
图 1 不同收获方式下不同甘蔗品种宿根发株率

Fig. 1 Ratoon seedling emergence of different sugarcane varieties under different harvesting methods

2.1.2 宿根蔗分蘖 由图 2 可见, 机械收获对宿根蔗分蘖和发株率的影响规律相似, GT47 机械收获和人工收获的分蘖率分别为 112.3%和 128.1%, GT31 机械收获和人工收获的分蘖率分别为 99.6%和 121.1%, 2 个甘蔗品种在机械收获后分蘖率均有所下降, 但 GT47 分蘖率下降不明显, 而 GT31 分蘖率显著降低, 且 2 种收获方式下, GT47 的分蘖率都高于 GT31, 说明 GT47 较 GT31 分蘖率更高, 其分蘖率受机械碾压的影响较 GT31 小。

2.2 机械收获对不同甘蔗品种苗期主要营养成分的影响

氮是构成蛋白质的主要成分, 对茎叶的生长和发育有重要作用。机械收获时, GT47 和 GT31 叶片含氮量分别为 24.1 g/kg 和 24.2 g/kg, 品种间无明显差异; 而人工收获时, 2 个甘蔗品种的含



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ( $P < 0.05$ ).

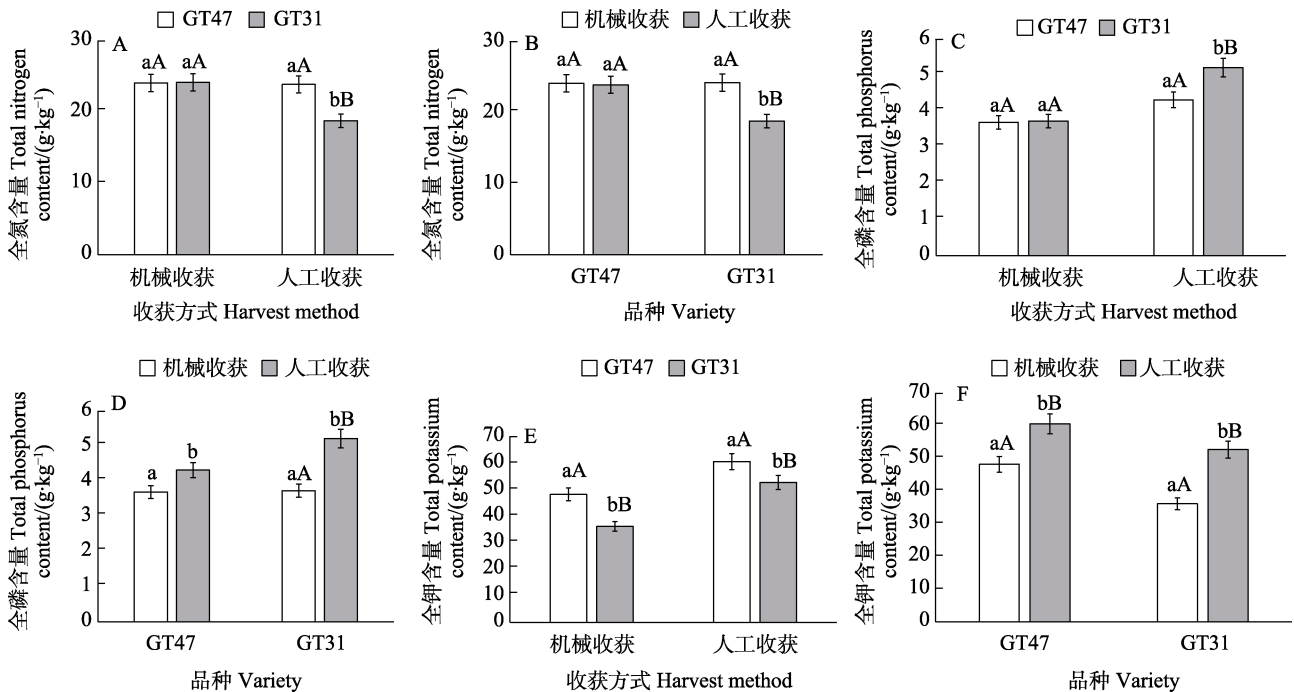
图 2 不同收获方式下不同甘蔗品种宿根分蘖率

Fig. 2 Ratoon tillering rate of different sugarcane varieties under different harvesting methods.

氮量差异极显著,GT31 的含氮量极显著低于 GT47 (图 3A)。GT47 机械收获和人工收获叶片含氮量分别为 24.1 g/kg 和 23.9%, 2 种收获方式对 GT47 的含氮量影响不明显, 但 GT31 机械收获的含氮量极显著高于人工收获 (图 3B)。说明 GT31 的叶片含氮量受不同收获方式的影响较大, 而 GT47 受影响较小。

不同收获方式对不同品种宿根蔗全磷含量的影响有较大差异。由图 3C 可见, 2 个甘蔗品种机械收获的全磷含量均低于人工收获, 人工收获时, GT47 的全磷含量为 4.3 g/kg, GT31 的全磷含量为 5.2 g/kg, 2 个品种的全磷含量差异极显著, 而机械收获时, 2 个品种的全磷含量无显著差异。由图 3D 可见, 同一品种在不同收获方式下的全磷含量都有较大差异, 人工收获时, GT47 的全磷含量显著高于机械收获的全磷含量, 而 GT31 的全磷含量则极显著高于机械收获时的全磷含量。说明不同收获方式能显著影响不同甘蔗品种的全磷含量, 且对 GT31 的影响大于 GT47。

钾含量受不同施肥方式和不同甘蔗品种的影响均较大,GT47 在机械收获和人工收获时的全钾含量分别为 48.3 g/kg 和 60.7 g/kg, 而 GT31 分别



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ( $P < 0.05$ ), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ( $P < 0.01$ ).

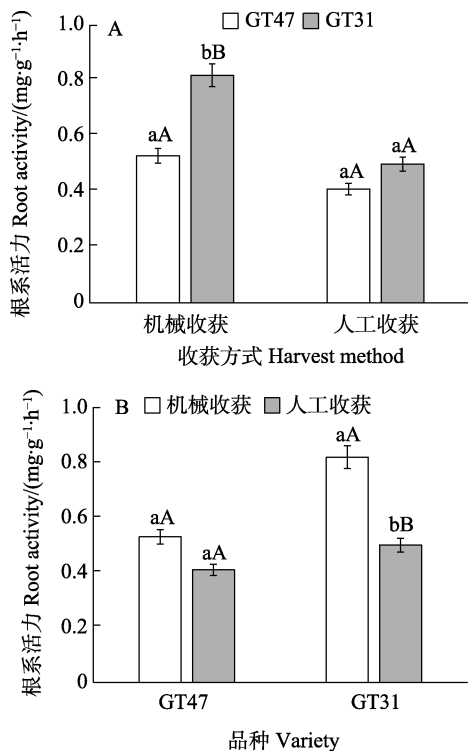
图 3 不同收获方式下不同甘蔗品种叶片主要营养成分

Fig. 3 Main nutrients in leaves of different sugarcane varieties under different harvesting methods

为 36.2 g/kg 和 52.8 g/kg, 无论是机械收获还是人工收获, 不同品种的全钾含量之间都存在极显著差异 (图 3E), 具体表现相同收获方式下, 不同品种的全钾含量存在极显著差异, 且同一品种机械收获的全钾含量都明显低于人工收获 (图 3F)。其中 GT47 机械收获后, 全钾含量显著低于人工收获, GT31 机械收获后, 全钾含量极显著低于人工收获。说明 2 个甘蔗品种自身的全钾含量存在较大差异, 机械收获对 GT31 全钾含量的影响大于 GT47。

### 2.3 机械收获对不同甘蔗品种苗期根系活力及相关生理特性的影响

**2.3.1 根系活力** 根系是土壤与植物的动态界面, 根系活力是表征植物根系质量的重要指标。不同收获方式下, 不同甘蔗品种的根系活力差异较大, 机械收获时, GT47 和 GT31 的根系活力分别为 0.53 mg/(g·h) 和 0.82 mg/(g·h), 差异达到极显著水平, 而人工收获时, 2 个品种的根系活力无明显差异 (图 4A); 机械收获后 GT47 的根系



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ( $P < 0.05$ ), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ( $P < 0.01$ ).

图 4 不同收获方式下不同品种宿根蔗根系活力

Fig. 4 Root vigor of different sugarcane varieties under different harvesting methods

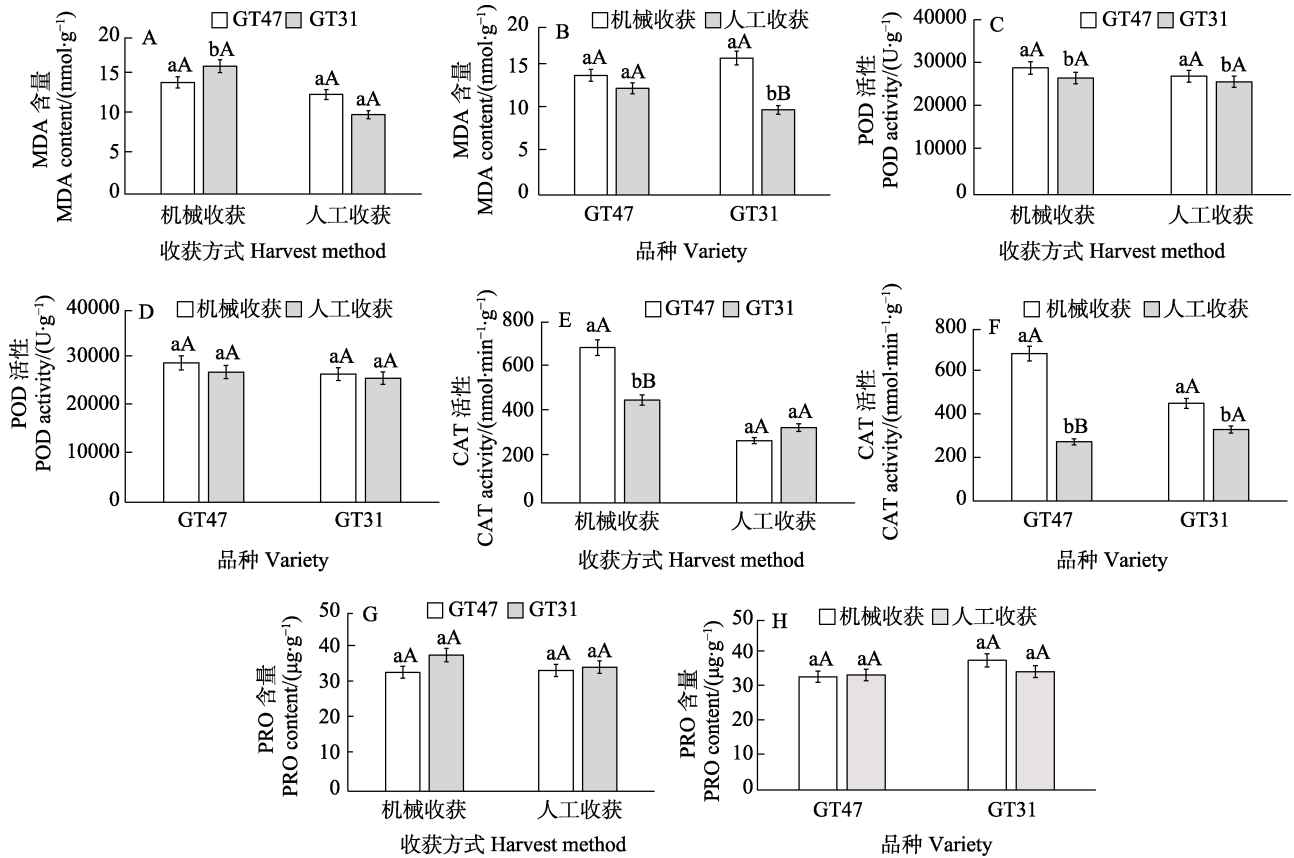
活力比人工收获高, 但无明显差异, 而 GT31 机械收获后根系活力升高幅度更大, 与人工收获间差异达极显著水平 (图 4B)。说明收获方式对 GT31 根系活力的影响较 GT47 大, 机械碾压后, GT31 的根系活力较 GT47 有更大幅度的增强。

**2.3.2 根系主要生理特性** 丙二醛 (MDA) 作为膜脂过氧化指标, 表示细胞膜脂的过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱。人工收获时, GT47 和 GT31 根系的 MDA 含量无明显差异, 但机械碾压后, GT47 和 GT31 根系的 MDA 含量分别为 14.28 nmol/g 和 16.34 nmol/g, 差异达到显著水平 (图 5A); GT31 根系的 MDA 含量在机械收获后极显著高于人工收获, 而 GT47 根系的 MDA 含量在 2 种收获方式下无明显差异 (图 5B)。

过氧化物酶 (POD) 是细胞内重要的内源性活性氧清除剂, 与植物抗病性有密切关系。机械收获时, GT47 和 GT31 根系的过氧化物酶活性分别为 29 040 U/g 和 26 720 U/g, 人工收获时, GT47 和 GT31 根系的 POD 活性分别为 27 133.33 U/g 和 25 866.67 U/g, 由图 5C 和图 5D 可见, 不同品种间, 相同品种的不同收获方式间, 根系的 POD 活性均差异不显著。说明在本研究中, POD 并不是 2 个甘蔗品种对机械收获适应能力的关键酶, 机械碾压后, POD 活性的变化差异不大。

过氧化氢酶 (CAT) 能清除体内的过氧化氢, 是生物防御体系的关键酶之一。在本研究中, 机械收获使得 GT47 根系内的 CAT 活性达到 688.07 nmol/(min·g), 极显著高于 GT31 的 CAT 活性 (图 5E), 相同品种在不同收获方式下的 CAT 活性也有较大差异 (图 5F), 机械收获时, GT47 根系内的 CAT 活性极显著低于人工收获, GT31 根系内的 CAT 活性显著低于人工收获。说明根系 CAT 活性受不同收获方式影响较大, 在机械碾压胁迫下, 2 个甘蔗品种的 CAT 活性都显著降低, GT47 根系中 CAT 活性下降幅度较 GT31 更大, 反映出 GT47 对机械碾压的生理调控更快速、敏锐。

植物体在干旱、高温、低温、盐渍等多种逆境下, 常常有脯氨酸 (Pro) 的明显积累。但在机械碾压胁迫下, GT31 根系的 Pro 略高于人工收获, 但不同品种间、相同品种的不同收获方式间, 根系的 Pro 含量均无显著差异 (图 5G, 图 5H)。说明 Pro 有可能不是甘蔗对机械碾压适应性的关键酶。



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ( $P < 0.05$ ), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ( $P < 0.01$ ).

图 5 不同收获方式下不同品种宿根蔗根系主要生理特性

Fig. 5 Root physiological indexes of different sugarcane varieties under different harvesting methods

### 3 讨论

#### 3.1 机械收获的品种适应性差异

在玉米<sup>[21-22]</sup>、马铃薯<sup>[23]</sup>、花生<sup>[24]</sup>、油菜<sup>[25]</sup>、鹰嘴豆<sup>[26]</sup>、甘蔗<sup>[27]</sup>等不同作物种类中, 都有机械收获适应性存在品种差异的报道。刘晓燕等<sup>[4]</sup>认为, 机械碾压植蔗垄后, 对甘蔗宿根性造成影响, 宿根性强弱是机械收获适应性大小的关键, 桂引 C1-2003 较云蔗 03-332 宿根性好, 更适合在广西蔗区进行机械收获; 李毅杰等<sup>[27]</sup>综合考量蔗汁损失率、机收含杂率、机收总损失率后, 认为桂糖 44 号和桂糖 47 号是比较适宜机械收获的品种。高欣欣等<sup>[28]</sup>认为, 机械碾压后宿根蔗成苗量多少决定了品种是否适宜机械收获, 而宿根蔗成苗量依赖地下芽库的萌发率, 地下芽库数量大的甘蔗品种, 其发株率和分蘖率高, 更适宜机械收获。在本研究中, GT47 和 GT31 两个甘蔗品种在机械收获后分蘖率和发株率均有所下降, 但 GT47 发株率和分蘖率下降不明显, GT31 发株率和分蘖率却

显著降低, 表现出对机械收获的品种适应性差异。

#### 3.2 甘蔗对机械碾压的生理适应性

甘蔗品种对机械碾压的适应能力包含对土壤环境变化的反应, 对农机操作后破头、破蔸的迅速修复, 根系在被碾压土壤中的生理变化等多个方面。由于机械碾压直接导致蔗地土壤容重增大和土壤含水量减少<sup>[12]</sup>, 作物的生长发育极易受到影响, 外在表现为出苗、发株、分蘖率等的降低, 但随着作物的生长发育和农事操作, 如蔗地的破垄松蔸, 土壤容重和土壤含水量的差异越来越小, 一些作物品种在该过程中能迅速调整体内生理代谢适应外界土壤、或人为造成的生存环境变化, 表现出对机械收获的生理适应性。在本研究中, 不同收获方式对 GT47 叶片中氮、磷、钾含量的影响较 GT31 小, 机械收获时, GT47 的氮含量变化不明显, 但 GT31 显著升高, 而磷、钾含量 2 个品种都显著降低, 刘晓燕等<sup>[4]</sup>认为, 机械压实可在一定程度上提高土壤含水量和氮、磷、钾等

基础肥力,这很可能是 GT47 叶片中部分营养成分提高的原因。此外,甘蔗是典型的氮敏感作物,在生长发育过程中需要大量的氮肥投入,每获得 1 t 蔗茎需氮量约为 7 kg,对氮缺乏也表现出比其他营养元素更强烈的生理反应,这进一步说明在机械碾压后,甘蔗叶片的氮含量变化和对磷、钾含量变化趋势不同。

GT31 的根系活力较 GT47 有更大幅度的增强,而前人研究表明机械压实后甘蔗根系生长受到抑制,根系数量、长度、干重、根系表面积和根系平均直径等指标不同程度下降,可能的原因是根系活力表征的是甘蔗根系在机械碾压胁迫下的应激生理反应,在一定程度上反映出甘蔗根系对碾压的敏感性,进一步证实 GT31 对机械碾压较 GT47 敏感。

研究认为,不同品种根系适应紧实胁迫的能力差异是其是否适宜机械收获的关键<sup>[29]</sup>。根系是植物响应环境变化最敏感和最活跃的部分,植物可以通过根系的生理变化来响应生境变化,维持植物正常生长发育以及抵抗不良环境。机械碾压增加蔗地土壤紧实度,限制了宿根甘蔗的根系生长,根系及地下芽中 ZR、IAA、ABA 和 GA<sub>3</sub> 等内源激素水平<sup>[28]</sup>,CAT、POD、SOD 等保护性酶的活性均有显著变化<sup>[29]</sup>,这些生理变化与地下芽库的萌发率高度相关<sup>[30]</sup>。生物体内,MDA 和 CAT 的生理作用不尽相同,自由基氧化脂质的最终产物为丙二醛,丙二醛通过蛋白质、核酸等生命大分子的交联聚合而产生细胞毒性,引起细胞代谢及功能障碍;而 CAT 存在于细胞的过氧化物酶体内,是过氧化物酶体的标志酶,主要存在于植物的叶绿体、线粒体、内质网,其酶促活性为机体提供了抗氧化防御机理,促使过氧化氢分解为分子氧和水,使细胞免于遭受 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的毒害。CAT 与植物抗性密切相关,活性高则植物抗逆性强,反之则弱。在本研究中,GT47 和 GT31 的 MDA 含量在机械碾压后均上升,但 GT47 的增幅比 GT31 小,反映出 GT47 的细胞膜损伤较 GT31 小;而 GT47 和 GT31 的 CAT 含量均上升,但 GT47 的增幅比 GT31 更大,进一步为 GT47 对机械碾压有更强的耐受能力提供生理证据。

赵培方<sup>[30]</sup>研究了机械碾压后不同甘蔗品种转录组的变化,对显著富集到生理代谢和膜转运通路中的基因进行了分析,发现有 36 个基因富集到生理代谢通路,认为这些基因应为土壤紧实度胁

迫下蔗芽萌发相关的候选基因。这些基因是否调控了机械碾压后甘蔗体内的激素、酶类等生理指标的代谢过程,值得进一步深入研究。

### 3.3 适宜机械化收获的甘蔗品种选育

适应机械碾压甘蔗品种的推广应用,是甘蔗机械化收获能大面积推广应用的关键,是我国甘蔗糖业健康、高效发展的瓶颈问题。但我国适宜机械化收获品种选育起步较晚,常规育种中更注重高产、高糖、抗病等特性,对宿根性、抗倒伏、根系发育、耐受机械碾压等与机械收获更相关的性状关注较少。当前,桂糖系列新品种打破新台糖 22 号(ROC22)垄断我国蔗区 20 余年的局面,成为新时期的甘蔗当家品种,这些品种兼具高糖、高产、抗病等符合常规育种选择最主要目标的优良特性,其中一些还具有抗倒伏、宿根性强等适宜机械收获的特性,对其适宜机械收获的生长发育特点和生理特性进行研究,将有助于适宜机械收获种质资源的创新。本研究对不同基因型甘蔗品种 GT47 和 GT31 在机械碾压后的苗期生长发育、叶片中养分含量变化、根系 MDA 和 CAT 等逆境相关酶水平及根系活力进行了讨论,得到 GT47 对机械碾压有更强的生理适应性,更适合机械收获的结论。在今后育种实践中,甘蔗苗期生长发育水平、叶片养分含量及根系 MDA 含量和 CAT 活性等变化可以作为甘蔗是否适宜机械收获的参考。我国当前甘蔗育种存在亲本遗传背景狭窄的突出问题,要在适应机械化甘蔗品种选育中取得突破性进展,需要更多优良种质资源的引进、改良及利用,为拓宽我国甘蔗适宜机械化育种资源,早日实现甘蔗生产全程机械化奠定基础。

### 参考文献

- [1] 江垣德. 广西甘蔗生产机械化的实践与思考[J]. 现代农业装备, 2018(1): 21-23.  
JIANG H D. Practice and thinking on mechanization of sugarcane production in Guangxi[J]. Modern Agricultural Equipment, 2018(1): 21-23. (in Chinese)
- [2] 范军灿. 突破广西甘蔗机收“瓶颈”的思考[J]. 广西农业机械化, 2018(1): 12-15.  
FAN J C. Thoughts on breaking through the “bottleneck” of sugarcane machine harvest in Guangxi[J]. Guang Xi Agricultural Mechanization, 2018(1): 12-15. (in Chinese)
- [3] ZHAO P F, GUO J W, GAO X X, LIU G Y, LI Y R,

- BURNER D M, YANG L T. Small-scale mechanical harvesting and tractor-caused soil compaction reduce early growth in sugarcane[J]. *Agronomy*, 2019, 9(12): 830.
- [4] 刘晓燕, 韦晔, 王维赞, 梁强, 董文斌, 李长宁, 李毅杰, 谢金兰. 机械压实对蔗田土壤理化性状、微生物活性和甘蔗生长的影响[J]. *西南农业学报*, 2018, 31(8): 1669-1675.
- LIU X Y, WEI M, WANG W Z, LIANG Q, DONG W B, LI C N, LI Y J, XIE J L. Effects of mechanical compaction on physicochemical properties, microbial activity of sugarcane fields soil and growth of sugarcane[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(8): 1669-1675. (in Chinese)
- [5] 梁强, 谢金兰, 李毅杰, 罗亚伟, 李长宁, 刘晓燕, 朱秋珍, 董文斌, 周会, 王维赞. 不同收获方式对蔗田土壤容重及甘蔗宿根出苗的影响[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(7): 1221-1224.
- LIANG Q, XIE J L, LI Y J, LUO Y W, LI C N, LIU X Y, ZHU Q Z, DONG W B, ZHOU H, WANG W Z. Effects of different harvesting methods on soil bulk density and seedling roots of ratoon sugarcane[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(7): 1221-1224. (in Chinese)
- [6] 李毅杰, 梁强, 董文斌, 陈泉, 刘晓燕, 谢金兰, 李长宁, 王维赞, 李杨瑞. 土壤压实对宿根甘蔗出苗及根系形成的影响[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(9): 2041-2047.
- LI Y J, LIANG Q, DONG W B, CHEN Q, LIU X Y, XIE J L, LI C N, WANG W Z, LI Y R. Effect of mechanical compaction on seedling emergence and roots formation of ratoon sugarcane[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(9): 2041-2047. (in Chinese)
- [7] LACLAU P B, LACLAU J P. Growth of the whole root system for a plant crop of sugarcane under rainfed and irrigated environments in Brazil[J]. *Field Crops Research*, 2009, 114(3): 351-360.
- [8] 杨荣仲, 梁强, 桂意云, 周会, 陈家慧, 王伦旺, 贤武, 邓宇驰. 机械化收获对甘蔗宿根发株的影响[J]. *西南农业学报*, 2014, 27(5): 2195-2202.
- YANG R Z, LIANG Q, GUI Y Y, ZHOU H, CHEN J H, WANG L W, XIAN W, DENG Y C. Impact on stubble seedling of mechanical harvesting and crosses screening for rolling resistance[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, 27(5): 2195-2202. (in Chinese)
- [9] 陈超君, 梁和, 何章飞, 莫清贵, 黄严, 邝伟生, 李天绍, 陆国盈. 甘蔗机械收获对蔗莖质量和宿根蔗生长影响初探[J]. *广东农业科学*, 2011, 38(23): 26-30.
- CHEN C J, LIANG H, HE Z F, MO Q G, HUANG Y, KUANG W S, LI T S, LU G Y. Effects of mechanical harvesting on sugarcane stubble quality and growth of ratoon[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(23): 26-30. (in Chinese)
- [10] 秦培钊, 罗艺, 米超, 陈超君, 邝伟生, 黄严, 莫清贵, 陆国盈, 梁和. 机械收割对不同种植行距宿根蔗苗期生长的影响[J]. *南方农业学报*, 2012, 43(2): 236-240.
- QIN P Z, LUO Y, MI C, CHEN C J, KUANG W S, HUANG Y, MO Q G, LU G Y, LIANG H. Effect of mechanical harvesting on shoot growth of ratoon cane with different row spacing[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2012, 43(2): 236-240. (in Chinese)
- [11] 黄严, 梁和, 陈超君, 莫清贵, 陈世凡, 何波涛. 机械收割对不同种植行距宿根蔗的生长效应研究[J]. *中国农机化学报*, 2016, 37(9): 250-253, 279.
- HUANG Y, LIANG H, CHEN C J, MO Q G, CHEN S F, HE B T. Research on effect of mechanical harvesting on growth of ratoon cane with different row space[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2016, 37(9): 250-253, 279. (in Chinese)
- [12] 张聘, 商贺阳, 李宇峰, 郭强, 黄有总. 机械收获对甘蔗根际土壤物理性状、酶活性和农艺性状的影响[J]. *热带农业科学*, 2017, 40(3): 30-33.
- ZHANG P, SHANG H Y, LI Y F, GUO Q, HUANG Y Z. Effects of different harvesting methods on soil physical properties and enzyme activities and agronomic traits of sugarcane[J]. *Tropical Agricultural Science & Technology*, 2017, 40(3): 30-33. (in Chinese)
- [13] 彭娜, 姚姿婷, 黄江峰, 陈保善, 张木清. 甘蔗机械收获后糖损失的影响因素分析[J]. *中国糖料*, 2020, 42(1): 2226.
- PENG N, YAO Z T, HUANG J F, CHEN B S, ZHANG M Q. Major factors for controlling sucrose losses of mechanized-harvested sugarcane[J]. *Sugar Crops of China*, 2020, 42(1): 2226. (in Chinese)
- [14] 高欣欣, 刘高源, 刘少春, 郭家文. 机械压实对蔗田土壤和甘蔗根系的影响研究进展[J]. *热带农业科学*, 2020, 40(11): 29-34.
- GAO X X, LIU G Y, LIU S C, GUO J W. Research progress in the effect of mechanical compaction on soil and root growth in sugarcane fields[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2020, 40(11): 29-34. (in Chinese)
- [15] 杨业彬, 韦开军, 邓思, 阳康春, 周颀, 覃耀冠, 张燕. 适应机械收获的宿根甘蔗不同种植行距研究[J]. *广东农业科学*, 2019, 46(6): 15-22.
- YANG Y B, WEI K J, DENG S, YANG K C, ZHOU Q, QIN Y G, ZHANG Y. Study on different planting distances of ratoon sugarcane adapted to mechanical harvesting[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2019, 46(6): 15-22. (in Chinese)
- [16] 朱秀云, 梁梦, 马玉. 根系活力的测定(TTC法)实验综述报告[J]. *广东化工*, 2020, 47(6): 211-212.
- ZHU X Y, LIANG M, MA Y. A review report on the experiments for the determination of root activity by TTC

- method[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(6): 211-212. (in Chinese)
- [17] 徐林, 吴凯朝, 邓智年, 庞天, 黄成丰, 黄海荣, 李毅杰, 刘晓燕, 王维赞. 种植密度对甘蔗单芽生长发育及产量的影响[J]. 甘蔗糖业, 2021, 50(1): 51-56.  
XU L, WU K C, DENG Z N, PANG T, HUANG C F, HUANG H R, LI Y J, LIU X Y, WANG W Z. The effect of planting density on the development and yield in single bud of sugarcane[J]. Sugarcane and Canesugar, 2021, 50(1): 51-56. (in Chinese)
- [18] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 123-124.  
ZHANG Z L, QU W J. Experimental guidance of plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003: 123-124. (in Chinese)
- [19] HAMMERSCHMIDT R, NUCKLES E M, KUĆ J. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to colletotrichum lagenarium[J]. Physiol Plant Pathol, 1982, 20(1): 73-76.
- [20] 孟博, 周一帆, 战健, 杨林生, 邓燕. 广西蔗区土壤肥力和叶片养分状况调查研究[J]. 中国土壤与肥料, 2022, 298(2): 181-188.  
MENG B, ZHOU Y F, ZHAN J, YAHG L S, DENG Y. Investigation on soil and sugarcane leaf nutrient status in Guangxi[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022, 298(2): 181-188. (in Chinese)
- [21] ZHANG Z T, MING B, LIANG H W, HUANG Z F, WANG K R, YANG X G, WANG Z G, XIE R Z, HOU P, ZHAO R X, LI S K. Evaluation of maize varieties for mechanical grain harvesting in mid-latitude region, China[J]. Agronomy Journal, 2021, 113(2): 1766-1775.
- [22] 刘佳媛, 刘倩倩, 陈祥, 邓宗林, 袁继超, 孔凡磊. 不同玉米品种籽粒耐破碎性差异及影响因素[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(12): 207-220.  
LIU J Y, LIU Q Q, CHEN X, DENG Z L, YUAN J C, KONG F L. Diversity and influencing factors of kernel breakage tolerance of different maize cultivars[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(12): 207-220. (in Chinese)
- [23] 占鹏, 郭焱, 陈伟, 朱俊峰. 马铃薯收获环节损失率测算及比较分析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(4): 191-199.  
ZHAN P, GUO Y, CHEN W, ZHU J F. Calculation and comparative analysis of the loss during potato harvesting[J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(4): 191-199. (in Chinese)
- [24] 曲杰, 高建强, 吴丽青, 程亮. 主茎高对适宜机械收获品系产量及机收特性的影响[J]. 农业科技通讯, 2021(11): 138-142, 147.  
QU J, GAO J Q, WU L Q, CHENG L. Effects of main stem height on yield and mechanical harvest characteristics of suitable mechanical harvest lines[J]. Agricultural Science and Technology Communication, 2021(11): 138-142, 147. (in Chinese)
- [25] 胡承伟, 周志淑, 朱程, 刘希忠, 黄桃翠. 不同油菜品种机械化种植的适应性研究[J]. 上海农业学报, 2021, 37(4): 47-51.  
HU C W, ZHOU Z S, ZHU C, LIU X Z, HUANG T C. Study on the adaptability of mechanized planting of different rapeseed varieties[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2021, 37(4): 47-51. (in Chinese)
- [26] BASHA S J, JAYALAKSHMI V, AHAMMED S K, KAMAKSHI N. Studies on growth and yield characters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties suitable for mechanical harvesting[J]. Tropical Plant Research, 2020, 7(3): 634-637.
- [27] 李毅杰, 刘晓燕, 王维赞, 庞天, 罗亚伟, 梁闾, 梁强, 黄成丰. 机械收获对不同甘蔗品种收获质量及宿根蔗生长的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(8): 1645-1652.  
LI Y J, LIU X Y, WANG W Z, PANG T, LUO Y W, LIANG T, LIANG Q, HUANG C F. Effect of mechanical harvesting on harvest quality and growth of different varieties of ratoon sugarcane[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(8): 1645-1652. (in Chinese)
- [28] 高欣欣, 赵培方, 刘高源, 刘少春, 郭家文. 机械收获对宿根蔗地下芽库及成苗的影响研究[J]. 中国糖料, 2021, 43(1): 17-22, 2.  
GAO X X, ZHAO P F, LIU G Y, LIU S C, GUO J W. The effects of mechanical compaction on underground bud bank (UBB) and their sprouting in ratoon sugarcane[J]. Sugar Crops of China, 2021, 43(1): 17-22, 2. (in Chinese)
- [29] 李毅杰, 梁强, 谢金兰, 梁闾, 罗亚伟, 李长宁, 刘晓燕, 王维赞, 林善海. 机械收获条件下宿根甘蔗根系生长发育及理化特性的研究[Z]. 南宁: 广西壮族自治区广西农业科学院甘蔗研究所, 2020-04-10.  
LI Y J, LIANG Q, XIE J L, LIANG T, LUO Y W, LI C N, LIU X Y, WANG W Z, LIN S H. Study on root growth and physicochemical characteristics of perennial sugarcane under mechanical harvesting conditions[Z]. Nanning: Guangxi Zhuang Autonomous Region. Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, 2020-04-10. (in Chinese)
- [30] 赵培方. 机收对宿根蔗地下芽库构成及萌发的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2020.  
ZHAO P F. The impact of mechanical harvesting on amount and germination of underground bud bank in ratoon sugarcane[D]. Nanning: Guangxi University, 2020. (in Chinese)