

Research Progress on Potassium Nutrition in Sugarcane

Diwen Chen, Yong Jiang*, Junhua Ao, Wenling Zhou, Ying Huang, Dachun Shen, Qing Wang, Zhenrui Huang, Qiwei Li

Guangdong Key Lab of Sugarcane Improvement & Bio-Refinery, Guangdong Provincial Bioengineering Institute (Guangzhou Sugarcane Industrial Research Institute), Guangzhou Guangdong
Email: *gz510316@sina.com

Received: Sep. 8th, 2017; accepted: Sep. 21st, 2017; published: Sep. 27th, 2017

Abstract

Sugarcane is a kind of crop that is addicted to potassium. Potassium enhances sugarcane yield and stress resistance. Many research papers related to potassium nutrition in sugarcane have been carried out both at home and abroad. Studies on potassium nutrition in sugarcane are reviewed in this paper, which mainly includes the effects of potassium on physiological activities such as photosynthesis in sugarcane, the effects of potassium on growth and yield of sugarcane; potassium accumulation and distribution in sugarcane; genotype differences in potassium uptake in sugarcane; potassium transformation and release in sugarcane field; soil potassium grading of sugarcane field; the effects of other elements on the utilization of potassium; potassium increases the salinity tolerance and sodium-potassium substitution; potassium increases other resistance of sugarcane. It is hoped that these studies can guide our research in this field and to promote the healthy development of sugarcane production in China.

Keywords

Sugarcane, Potassium, Research Progress

甘蔗钾营养研究进展

陈迪文, 江永*, 敖俊华, 周文灵, 黄莹, 沈大春, 王庆, 黄振瑞, 李奇伟

广东省生物工程研究所(广州甘蔗糖业研究所), 广东省甘蔗改良与生物炼制重点实验室, 广东 广州
Email: *gz510316@sina.com

收稿日期: 2017年9月8日; 录用日期: 2017年9月21日; 发布日期: 2017年9月27日

*通讯作者。

文章引用: 陈迪文, 江永, 敖俊华, 周文灵, 黄莹, 沈大春, 王庆, 黄振瑞, 李奇伟. 甘蔗钾营养研究进展[J]. 农业科学, 2017, 7(6): 443-450. DOI: 10.12677/hjas.2017.76057

摘要

甘蔗是一种喜钾作物,钾利于提高甘蔗产量与增强抗逆性。国内外已开展许多与甘蔗钾营养相关的研究。本文综述了甘蔗钾营养的相关研究,它们主要集中在:对甘蔗光合作用等生理活动的影响,对甘蔗生长和产量形成的影响,甘蔗对钾的吸收积累与分配特性,甘蔗对钾吸收利用的基因型差异,蔗田土壤钾素形态转化与释放,蔗田土壤钾素肥力分级,甘蔗钾肥施用方式和用量,其他元素对甘蔗钾吸收利用的影响,钾提高甘蔗耐盐性及钠-钾替代,提高甘蔗其他抗性等方面。希望通过对这些研究的总结分析,以指导我国在该领域的研究,推动我国甘蔗生产的健康发展。

关键词

甘蔗, 钾, 研究进展

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钾既是植物的一种必需营养元素,也被称为“品质元素”。甘蔗是一种喜钾作物,它的整个生育期对主要营养元素的吸收积累总量从大到小依次为:钾 > 氮 > 磷[1][2]。钾对甘蔗而言是一种非常重要的营养元素,一方面能增加甘蔗产量,另一方面能增强病害抵抗能力和抗倒伏等抗逆性能。钾是植株代谢中很多酶的一种催化剂,钾对于甘蔗叶片合成糖分以及转运到储存库一茎中具有重要的作用,同时在控制水合物和渗透压方面扮演了重要角色。从1929年,Hartt [3]研究缺钾对甘蔗生长的影响至今,国内外已开展许多与甘蔗钾素营养相关的各方面研究,但未见有甘蔗钾素营养研究综述相关报道。本文综述了甘蔗钾素营养方面的相关研究,主要集中在钾对甘蔗生理生长的影响、甘蔗对钾素吸收特性、蔗田土壤钾素分级、甘蔗钾肥施用等方面,以期为我国在该领域的研究同行提供参考。

2. 钾对甘蔗生理及生长的影响

2.1. 钾对甘蔗光合作用等生理活动的影响

钾作为植物的必需元素参与了包括光合作用在内各种生理代谢活动,当供钾不足会对甘蔗光合作用等各种生理代谢活动产生不利影响,从而使生长受到抑制。研究表明,在水培条件下进行缺钾培养三周后,甘蔗苗开始出现缺钾症状[4],主要表现为生长受到抑制,叶尖枯死,叶片出现斑点。缺钾会导致甘蔗吸收更多的磷、铁、钙、镁和硅,特别是在生育期的前几个月。缺钾时甘蔗植株含氮量下降而含磷量提高[5],甘蔗叶片的光合作用下降,光合产物的转移也会下降,蔗糖运输会受到抑制,而呼吸作用加强[6]。进一步研究结果表明,在缺钾情况下,即使植株没有表现缺素症状,叶片¹⁴C向基部的迁移也减少了[7]。李奇伟等人采用营养液培养的方法研究了低钾胁迫对甘蔗不同品系生长和光合特性的影响。结果表明,低钾胁迫显著抑制了甘蔗的正常生长,植株干重显著下降,仅为正常钾供钾条件下的51.93%~74.10% ($P < 0.05$),甘蔗净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均低于正常钾处理,但胞间CO₂浓度升高,植株生物量与净光合速率之间存在极显著正相关关系,低钾胁迫降低了甘蔗的净光合速率,进而影响了甘蔗的正常生

长[8]。另外,硝酸还原酶对氮素非常敏感,能较好地反映蔗株体内的氮素代谢,而钾对该酶亦有促进作用[9]。

2.2. 钾对甘蔗生长和产量形成的影响

钾能促进甘蔗地上部和根系生长,提高生物量和甘蔗产量。苗期研究表明,与正常供钾相比,缺钾会抑制甘蔗生长,使植株矮小,叶色加深,生物量显著下降[10]。通过组培方式的研究表明,随着培养基中钾水平的升高,甘蔗组培苗的干重、株高和根冠比均呈显著增加趋势,甘蔗根系形态参数包括总根长、根平均直径、根表面积与根体积均随着培养基钾水平的升高而显著增大[11]。施钾促进甘蔗根部、茎叶部生长,降低根冠比,提高光合速率,有利于生物量的积累[12]。另外,钾能改善甘蔗宿根发芽,干物质分配及营养吸收。钾肥对甘蔗增产潜力有很大帮助,施钾增加干物质积累和有效茎数,后期还能增加株高和宿根性,提升宿根甘蔗产量[13]。一般情况下,在一定范围内甘蔗产量随施钾量的增加而增加,但过多施用钾肥对甘蔗品质会产生负面影响,导致糖分降低[14]。

3. 甘蔗对钾的吸收特点与基因型差异

3.1. 甘蔗对钾的吸收积累与分配

甘蔗对钾的吸收积累与分配在不同生育阶段、不同器官部位及不同环境条件下均有不同程度的差异。首先,随着甘蔗生育期的进展和生物量的增加,钾在甘蔗植株体内的稀释效应明显,植株含钾量(浓度)以生长前期较高,后期较低。研究表明甘蔗吸收钾不受光照的影响,不论白天黑夜甘蔗都能吸收钾[7]。增施钾肥后甘蔗吸钾量明显增加,新植蔗、宿根蔗对钾肥的利用率分别为 34.3%~40.6%, 29.4%~31.7% [15]。在广西的红壤土、气候、主栽品种及当地施肥水平的条件下,生产每吨原料蔗吸收的钾素量在 $2.06 \pm 1.39 \text{ kg}$ 范围内变化,不同施肥水平、土壤肥力及栽培制度条件对结果均有影响[16]。不同生育期甘蔗植株钾浓度在分蘖期达到最高,之后开始下降;植株的钾积累总量随着生育期的推进而增加,伸长后期不同品种甘蔗植株钾积累量在茎中分配的比例在 75.40%~90.90%之间,为最主要的积累部位,叶片中钾积累量所占的比例在 3.68%~12.60%之间,叶鞘的比例与叶片接近[2]。低钾胁迫下,甘蔗会通过提高最大吸收速率来增加根系对钾离子的亲和力,同时随着钾的供应增加,根系干物质积累比例得到提高[17]。

3.2. 甘蔗钾吸收利用的基因型差异

甘蔗对钾的吸收利用存在基因型差异,不同基因型或甘蔗品种对钾的吸收利用存在显著差异。研究表明,在不同钾水平的砂培条件下,不同品种甘蔗的生物量、根系形态、光合速率都存在显著差异[12]。同样,在组培条件下,当培养基处于 0~0.2 mmol/L 的低钾胁迫下,不同基因型甘蔗组培苗的生物量、钾含量和钾积累量均存在显著差异[11]。另外,采用水培方法研究结果表明不同基因型甘蔗根系钾离子的吸收动力学参数存在差异,最低养分浓度临界值(C_{\min})与对钾离子的亲和力(K_m)在不同基因型中存在差异[18]。国外学者通过大田试验对 12 个中晚熟甘蔗品系进行营养效率评估[19],结果表明甘蔗地上部钾的总吸收量从 108.55 kg/ha 到 305.98 kg/ha 不等,高与低之间相差近 3 倍,平均 210.25 kg/ha。平均生产 1 吨甘蔗需要吸收钾 2.09 kg,最少的需要 1.44 kg,最多的为 2.91 kg,两者相差一倍多。由于不同基因型甘蔗对钾养分吸收积累存在差异,因此对生产上的建议是施肥需要根据品种特性因种而异[2]。

4. 蔗田土壤钾素形态转化与肥力分级

4.1. 蔗田土壤钾素形态转化与释放

钾在蔗田土壤中存在一定程度的淋溶流失以及不同形态的转化。毛里求斯的科研人员通过连续三年两

地的试验研究了甘蔗土壤钾淋溶的情况。结果发现只有极少的钾通过淋溶而流失，分期施用钾肥会导致多雨水地区的钾过剩，同时还发现钾肥使用会显著增加钙和镁的淋溶作用[20]。斐济甘蔗科技人员调查了甘蔗种植土壤和至少三十年没有耕作的土壤的钾状态，结果表明土壤的含钾量与土壤风化程度有关，高度风化的土壤含钾量较低，风化较低还有粘土矿的土壤全钾和非交换性钾含量都比较高，交换性钾的含量在大部分的土壤中都较低，土壤钾含量的差异主要是由于不同的钾肥使用量，以及作物的吸收和淋溶作用导致钾的流失，而有些土壤由于有很高的表面负电荷的存在使得土壤保持钾的能力较高[21]。Kwong等人[22]的研究结果表明，施用钾肥之前，土壤水溶性钾、交换性钾和非交换性钾都很低，实际值与土壤的类型和所在气候区域都相关，土壤在施用了 350 kg/hm² 的氯化钾之后，土壤中各形态的钾含量指标都上升了，增加的具体趋势为：非交换性钾 > 交换性钾 > 水溶性钾。不同施肥条件对甘蔗吸收利用钾素以及土壤中钾素的移动和平衡均有影响，施钾处理较不施钾处理耕作层土壤钾离子淋溶量明显增加[15]。一般来说，施用钾肥的一半左右增加了土壤中非交换性钾的含量，增加幅度决定于土壤中阳离子交换能力和粘土含量。尽管土壤中钾在各种形态之间相互转换，但是总钾的量还是上升的，说明施用于甘蔗土壤的钾肥具有长期的有效性。土壤中的非交换性钾的释放速率开始较快，但是施用两周后的速率下降到一个稳定的范围，虽然有很多数学方程来描述土壤中钾的释放动力学，但是没有一个能很好的预测土壤非交换性钾的释放。因此，要更精确的提供甘蔗钾肥推荐使用量，还需要把钾的释放速率这个因素考虑在内，还应注重氮、磷、钾合理配施，提高肥料利用率[15]。

4.2. 蔗田土壤钾素肥力分级

为了给甘蔗钾肥施用提供参考依据，生产上通常会根据土壤的肥力，即土壤钾素含量水平将土壤进行分级。黄智刚等[23]应用地统计学方法分析了农场尺度的红壤蔗区土壤表层的土壤速效钾、缓效钾的空间分布结构。结果表明，研究区域内的土壤速效钾和缓效钾含量都存在极强的空间相关性，在整个区域的空间分布具有相似性，研究结果可为甘蔗的钾肥精准管理提供依据。甘蔗对土壤钾的响应主要决定于土壤中有效钾的含量，有效钾含量低则甘蔗的响应比较明显，评估甘蔗对钾的响应也要考虑到甘蔗作为半多年生植物的这个因素(注：甘蔗砍收之后的蔗头还能长出新的苗继续生长称为宿根蔗，且能循环持续多年)，在这样一个背景下，甘蔗能够持续挖掘土壤中的钾资源。另外平衡各种营养特别是氮和钾对于提高产量来说是不能忽视的，一般来说，甘蔗对于钾肥的响应是钾肥能提高甘蔗的产量而对糖分没有直接影响，钾肥的施用量应该是保持充分供给来使甘蔗的产量最大化和帮助调节成熟度从而使糖分的积累最大化。有人将蔗田土壤根据砂土、壤土和粘土质地对我国甘蔗第一大产区——广西甘蔗种植区土壤钾素肥力进行分级。将甘蔗种植区土壤速效钾的临界值分别为：砂土 46.2 mg/kg，壤土 51.4 mg/kg，粘土 60 mg/kg。砂土、壤土和粘土土壤速效钾肥分级指标分别为：低级水平 < 46 mg/kg、< 52 mg/kg 和 < 60 mg/kg，中级水平 46~90 mg/kg、52~110 mg/kg 和 60~120 mg/kg，高级水平 > 90 mg/kg、> 110 mg/kg 和 > 120 mg/kg [24]。

5. 甘蔗钾肥合理施用

5.1. 甘蔗钾肥施用方式

关于钾肥的施用方法、时期与用量国内外做了大量相关研究，由于土壤、气候和甘蔗品种等各种因素影响，不同试验结果也存在一定差异。Mathew 进行了三年的宿根甘蔗试验，来确定钾肥的施用时机和方法。试验结果显示，土壤施钾肥按当地推荐用量的 75% 为基肥，25% 为叶面肥可以显著增加甘蔗的产量和甘蔗有效茎数，而蔗汁质量不受影响，研究表明在甘蔗宿根苗长出 90 天后，不管是对土壤还是对甘蔗叶片施用钾肥对甘蔗产量和质量都没有显著影响，而钾肥 100% 作为叶面喷施不能提高甘蔗的产量和质量 [25]。Kwong 认为从调整施肥时机来改善甘蔗钾营养和产量没有很大的发展空间，而改变施肥方式则可能

更可取[26]。在施肥方式上应用滴灌施肥技术,可以节省钾肥的施用量。研究表明通过滴灌系统施用钾肥,用量为常规推荐施用量的一半即可获得较常规施肥高三成以上的产量,既有经济效益,又有环境效益[27]。

5.2. 甘蔗钾肥施用量

钾是甘蔗吸收量最大的元素,在一定范围内,甘蔗产量随着钾肥用量增加而增加,但过高则会造成糖分下降,产量降低,因此钾肥在甘蔗生产上是必需的,而具体用量则根据具体情况有所区别。研究表明,第1年新植蔗增施钾肥后,甘蔗吸钾量为466.0~723.0 kg/ha,甘蔗对钾肥的利用率为34.3%~40.6%,第2年宿根蔗增施钾肥后,甘蔗吸钾量为331.2~594.1 kg/ha,甘蔗对钾肥的利用率为29.4%~31.7% [15]。南非过去三十多年里进行了大量的田间或者温室试验研究甘蔗的钾肥需求,众多数据也表明钾对甘蔗生产的重要性。Wood 通过土壤与叶片分析、作物对钾肥的响应,以及肥料对甘蔗质量的影响之间的相互关系,基于土壤和叶片分析甘蔗需求量来推荐甘蔗的施肥量,并且根据最新的研究报道来不断的进行修订[28]。研究结果表明不同的土壤质地和气候因子能显著的影响甘蔗利用钾素的效率,从而影响了甘蔗大田钾肥推荐用量的可信度[29]。各国种植甘蔗的土壤和气候都不一样,所以大田施肥量也有所差异,报道中每公顷施用钾肥量为50~600 kg 之间 [30] [31] [32] [48]。

5.3. 其他元素对甘蔗钾吸收利用的影响

其他元素对甘蔗吸收利用钾存在一定的影响。Kumar 报道平衡氮、磷、钾的施肥量有利于甘蔗对养分的吸收利用,使甘蔗产量达到最大化[33]。Zende 注意到 N、P、K 吸收量之间具有显著的正相关,即其中三种元素吸收量都是同步增加[34]。而 Abayomi 的研究没有发现氮肥和钾肥的明显的互作效应[35]。另外有研究表明,将钾和氮复合配成复硝钾施用能提高甘蔗单位面积内的有效茎数,增加单茎重,增加产量,提高蔗茎蔗糖分,降低蔗汁还原糖量,改善原料蔗品质[36]。马林应用同位素示踪技术和放射自显影技术研究了甘蔗苗期和分蘖期喷施 300 mg/L 硝酸稀土对钾素吸收、运转和分配的影响。结果表明,稀土元素处理能促进甘蔗根部及叶片对钾素(^{86}Rb)的吸收和向外运转以及在生长旺盛部位的累积。生长盛期喷施 300 mg/L 硝酸稀土也能显著提高甘蔗叶片全钾量[37]。另外,将钾添加到生物肥中形成生物钾肥施用可以增加体内束缚水的含量,增强抗旱力,促进蔗糖积累,增加株高,增大茎径,从而大幅度地提高单位面积产量[38]。

6. 钾营养与甘蔗抗逆性

6.1. 钾提高甘蔗耐盐性及钠-钾替代

钾能显著提高甘蔗在耐盐胁迫方面的抗性。Ashraf 利用水培方法研究施用钾对甘蔗盐胁迫(NaCl)的改善作用。结果表明氯化钠胁迫显著降低了甘蔗的茎和根的干物质量,在盐敏感基因型中表现尤为明显,盐胁迫显著抑制了甘蔗对钾和钙的吸收,而施用钾或者硅钾结合施用可以显著抑制甘蔗根茎对钠的吸收转运,增加甘蔗干物质量,提高钾的吸收量和 K^+/Na^+ 比,钙和硅的吸收量也显著的增加。钾提升甘蔗耐盐性的原因是由于降低了甘蔗体内 Na^+ 的浓度和增加了钾浓度而改善了 K^+/Na^+ 比,这是一个评估植物耐盐性的重要指标[27] [39]。同样,国内也有研究利用水培方法研究了甘蔗在盐胁迫下,供给不同浓度钾对甘蔗苗期生长的影响。结果表明,在盐胁迫下供钾能促进甘蔗生长,增加甘蔗生物量、根长、株高和根冠比,提高蔗叶的保水力和 SPAD 值,提高 K^+/Na^+ 比,从而增强甘蔗耐盐性[40]。同时,钠也可以作为一种钾的替代元素被甘蔗吸收利用。在温室试验结果表明,一定水平的钠对增加甘蔗产量有正效应,施用 $125 \text{ kg}/\text{hm}^2$ NaCl 能获得最高糖产量,这个主要是由于甘蔗的产量和蔗汁的质量得到了提升所致。有迹象表明钠是甘蔗所必需的一种元素,而且可以阻止钾在蔗汁中的积累。20%~40% KCl 为 NaCl 所替代后对

甘蔗生长没有负面影响, 60% KCl (240 kg/ha) + 40% NaCl (125 kg/ha)这个处理的甘蔗糖产量最高, 比全部施用氯化钾的糖产量高了很多。田间试验也表明 K-Na 部分替代不影响甘蔗产量和糖产, 由此可见以钠部分替代钾对于甘蔗而言是可行的[41]。另外研究表明积累更多钾的甘蔗基因型可能比积累更少钾的基因型耐盐度更强[42]。

6.2. 钾提高甘蔗其他抗性

除了耐盐性, 钾对甘蔗抗酸性、抗旱性、抗病性等方面也有帮助。研究表明, 在水培酸性胁迫条件下, 供钾不足时, 甘蔗幼苗干物质量下降, 株高降低, 根冠比增大, 根系形态参数如根总长、根平均直径、根总表面积与根总体积均显著减小, 根系活力下降, 植株钾含量降低。当钾水平提高到 3 mmol/L 时则可以恢复正常生长[43]。Subasinghe 评估氮钾胁迫对于两个不同抗旱和耐盐性的甘蔗品种吸收硝酸根和钾离子的影响, 在两个品种中, 氮钾的增加都会明显改善根系对硝酸根和钾离子的亲和力从而增加吸收量。随着氮钾的供给减少, 根系的干物质量分配增加, H69-8235 这个品种耐干旱和耐盐性较强, 表现出对营养缺乏环境的更强的适应力。这是由于其根系发达以及在氮钾胁迫下对硝酸根和钾的高亲和力, 由此表明甘蔗对于多种不同的环境胁迫可能是同一种响应机制[17]。在抗病方面的研究表明, 适量施钾可增加健株的蔗茎及蔗糖产量, 又可部分减少由甘蔗花叶病导致的产量损失[44]。

7. 问题与展望

综上所述, 国外对甘蔗的钾营养方面的研究进行了大量的工作, 但是甘蔗这个大田经济作物不像粮食作物如水稻、小麦等那样种植广泛和研究深入, 甘蔗的钾素相关研究相对浅而泛, 没有对于甘蔗钾的某一个方面进行深入而系统的研究, 对于甘蔗钾的吸收、利用和转运机制, 甘蔗-土壤系统钾的循环等方面都存在许多不足。而且不同人的研究结果存在不一致的情况。除了以上所提到的相关研究外, 还有很多与钾相关研究可以开展或者进一步深入。

不同栽培方式对甘蔗钾的吸收有一定影响, Bokhtiar 等研究表明, 与甘蔗单作相比, 甘蔗间作马铃薯后消耗的土壤养分相对减少, 间作土壤有机质提高 33%, 土壤有效钾含量提高 6.9% [45]。Imam 等报道, 单作甘蔗产量低于间作马铃薯的甘蔗产量, 其主要原因是马铃薯收获后残留了一些利于甘蔗吸收的磷、钾元素。同时, 用稻草覆盖行间可使甘蔗和马铃薯双双获得增产[46]。钾素快速诊断方面, 利用叶片和组织钾含量来进行甘蔗植株钾素营养速测诊断方法研究也是非常具有理论和实践意义的[17] [47]。甘蔗生产上应用的新型钾肥以及钾肥增效剂等产品也将有更多研究[38] [48] [49]。在分子水平上, 国内学者将拟南芥钾吸收调控基因转入甘蔗, 提高了甘蔗耐低钾能力[50] [51]。曾巧英等利用 RT-PCR 技术从低钾胁迫的甘蔗根系中克隆得到钾通道蛋白基因, 该基因对甘蔗耐低钾、干旱、盐胁迫具有一定的作用[52]。

基于国内外的甘蔗钾素研究现状, 对甘蔗钾应用的研究应加强以下几个方面探索: 甘蔗钾营养高效筛选以及甘蔗钾高效分子生理机制、甘蔗钾的吸收转运分配与利用、甘蔗钾营养调控等。

基金项目

广东省自然科学基金(2016A030313416); 国家现代农业产业技术体系糖料作物专项(CARS-170203); 广东省科技厅项目(2014B070705002); 广东省科学院创新驱动发展能力建设专项 2017GDASCX-0105 资助。

参考文献 (References)

- [1] 苏广达. 甘蔗的钾素营养[J]. 广东农业科学, 1981(4): 12-13.
- [2] 陈迪文, 卢颖林, 敖俊华, 等. 不同基因型甘蔗氮磷钾养分累积与分配特征研究[C]. 中国作物学会甘蔗专业委员会第 15 次学术讨论会论文集, 海口, 2013.

- [3] Hartt, C.E. (1929) Potassium Deficiency in Sugar Cane. *Botanical Gazette*, **88**, 229-261. <https://doi.org/10.1086/333997>
- [4] Hartt, C.E. (1934) Some Effects of Potassium upon the Growth of Sugarcane and upon the Absorption and Migration of Ash Constituents. *Acta Agronomica Sinica*, **9**, 399-451.
- [5] Sinha, N.C. and Singh, J.N. (1977) Dry Matter Accumulation and Mineral Composition of Sugarcane as Affected by Potassium Deficiency. *Potash Review*, **3**, 1.
- [6] Hartt, C.E. (1969) Effect of Potassium Deficiency upon Translocation of ^{14}C in Attached Blades and Entire Plants of Sugarcane. *Plant Physiology*, **44**, 1461-1469.
- [7] Hartt, C.E. (1970) Effect of Potassium Deficiency upon Translocation of ^{14}C in Detached Blades of Sugarcane. *Plant Physiology*, **45**, 183-187. <https://doi.org/10.1104/pp.45.2.183>
- [8] 李奇伟, 卢颖林, 周文灵, 等. 低钾胁迫对甘蔗不同品系生长和光合特性的影响[J]. 甘蔗糖业, 2011(6): 1-5.
- [9] 张勇, 陈西凯. 钾对甘蔗叶片中硝酸还原酶的影响及其与生长的关系[J]. 西南农业大学学报, 1989(2): 189-193.
- [10] 金玉峰, 陈迪文, 李奇伟, 等. 不同钾水平对甘蔗萌芽及幼苗生长的影响[J]. 广东农业科学, 2013, 40(8): 72-74.
- [11] 陈迪文, 卢颖林, 江永, 等. 不同基因型甘蔗组培苗钾营养特性研究[J]. 中国农学通报, 2013(22): 96-102.
- [12] 郑超, 李奇伟, 黄振瑞, 等. 不同品种甘蔗对钾素吸收差异性的研究[J]. 热带作物学报, 2011(12): 2221-2225.
- [13] El-Tilib, M.A., Elnasikh, M.H. and Elamin, E.A. (2004) Phosphorus and Potassium Fertilization Effects on Growth Attributes and Yield of Two Sugarcane Varieties Grown on Three Soil Series. *Journal of Plant Nutrition*, **27**, 663-699. <https://doi.org/10.1081/PLN-120030375>
- [14] Shukla, S.K., Yadav, R.L., Singh, P.N., et al. (2009) Potassium Nutrition for Improving Stubble Bud Sprouting, Dry Matter Partitioning, Nutrient Uptake and Winter Initiated Sugarcane (*Saccharum spp.* hybrid complex) Ratoon Yield. *European Journal of Agronomy*, **30**, 27-33.
- [15] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 不同施肥条件下甘蔗对钾的吸收利用研究[J]. 南方农业学报, 2011, 42(3): 295-298.
- [16] 恽绵, 朱秋珍, 苏群忠. 广西旱地甘蔗养分吸收参数研究第 1 报甘蔗 N 素养分吸收参数的研究[J]. 广西蔗糖, 1998(1): 1-4.
- [17] Subasinghe, R. (2007) Effect of Nitrogen and Potassium Stress and Cultivar Differences on Potassium Ions and Nitrate Uptake in Sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, **29**, 809-825. <https://doi.org/10.1080/01904160600649146>
- [18] 陈迪文, 卢颖林, 江永, 等. 不同基因型甘蔗 K⁺吸收动力学研究[J]. 广东农业科学, 2012(20): 12-14.
- [19] Rakkiyappan, P., Thangavelu, S., Bhagyalakshmi, K.V., et al. (2007) Uptake of Nitrogen, Phosphorus and Potassium by Some Promising Mid Late Maturing Sugarcane Clones. *Sugar Tech*, **9**, 23.
- [20] Paul, J., Kwong, K., Deville, J., et al. (1999) Potassium Leaching in Soils under Rainfed Sugar Cane in Mauritius. *Meeting of Agricultural Scientists*, 71-74.
- [21] Gawander, J.S., Gangaiya, P. and Morrison, R.J. (2002) Potassium Studies on Some Sugarcane Growing Soils in Fiji. *South Pacific Journal of Natural & Applied Sciences*, **20**, 15-21.
- [22] Kwong, K.F.N.G. and Ramasawmy-Chellen, G. (2006) Potassium in Soils Cropped with Sugarcane in Mauritius. *Sugar Tech*, **8**, 239-245. <https://doi.org/10.1007/BF02943563>
- [23] 黄智刚, 蒋代华. 红壤蔗区土壤有效态钾的空间变异研究[J]. 广西农业生物科学, 2007(1): 67-70.
- [24] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 等. 广西甘蔗种植区土壤钾素肥力分级研究[J]. 广西科学, 2003, 10(4): 321-324.
- [25] Mathew, T., Kurian, T.M., George, B., et al. (2004) Effect of Time and Mode of Application of Potassium on the Growth, Yield and Quality of Sugarcane Ratoon. *Sugar Tech*, **6**, 81-83. <https://doi.org/10.1007/BF02942624>
- [26] Kwong, K. and Deville, J. (1989) Timing Potassium Fertilizer Applications to Sugarcane in Mauritius. Nutrient Cycling in Agroecosystems. <https://doi.org/10.1007/BF01054550>
- [27] 陆树华, 张承林, 邓兰生, 等. 滴灌条件下不同施钾量对甘蔗产质量的影响[J]. 中国糖料, 2009(1): 12-14.
- [28] Wood, R. and Meyer, J. (1986) Factors Affecting Potassium Nutrition of Sugarcane in South Africa. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*, **60**, 198-204.
- [29] Wood, R.A. (1990) The Roles of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in the Production of Sugarcane in South Africa. *Fertilizer Research*, **26**, 89-98. <https://doi.org/10.1007/BF01048746>
- [30] Matsuoka, M. (2006) Sugarcane Cultivation and Sugar industry in Japan. *Sugar Tech*, **8**, 3-9. <https://doi.org/10.1007/BF02943734>
- [31] Uchôa, S.C.P., Alves Júnior, H.D.O., Alves, J.M.A., et al. (2009) Response of Six Varieties of Sugarcane to Potassium Dosages On Savannah (Cerrado) Ecosystem. *Revista Ciencia Agronomica*, **40**, 505-513.

- [32] Silva, A.B.D., Dantas Neto, J., Farias, C.H.D.A., *et al.* (2009) Yield and Quality of Irrigated Sugarcane under Covering Nitrogen and Potassium Fertilization. *Caatinga*, **22**, 236-241.
- [33] Kumar, V., Singh, S., Singh, S., *et al.* (1999) Performance of Sugarcane Genotypes Grown under Sodic Soil and Water Conditions. *Agricultural Water Management*, **41**, 1-9.
- [34] Zinde, G.K. and Kibe, M.M. (1983) Correlation between Soil Attributes, Uptake of Nutrients, Agronomic Characters and the Cane Yield of an Adsali Crop of Sugarcane. *Maharashtra Sugar*, **8**, 79-89.
- [35] Abayomi, A.Y. (1987) Growth, Yield and Crop Quality Performance of Sugarcane Cultivar Co957 under Different Rates of Application of Nitrogen and Potassium Fertilizers. *The Journal of Agricultural Science*, **109**, 285-292. <https://doi.org/10.1017/S0021859600080709>
- [36] 甘晓伟, 苏广达, 李玉潜. 甘蔗施用复硝钾增产增糖机理探讨[J]. 华南农业大学学报, 1994(2): 112-117.
- [37] 马林. 喷施硝酸稀土对甘蔗钾素吸收、运转和分配的影响[J]. 稀土, 2003, 24(3): 47-50.
- [38] 韦启光, 喻忠刚, 覃文显, 等. 生物钾肥对甘蔗产量、糖分的影响[J]. 甘蔗, 2000(3): 32-34.
- [39] Ashraf, M., Rahmatullah, A.R., *et al.* (2010) Amelioration of Salt Stress in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) by Supplying Potassium and Silicon in Hydroponics. *Pedosphere*, **20**, 153-162.
- [40] 陈华文, 陈迪文, 黄莹, 等. 钾对盐胁迫下甘蔗苗期生长的影响[J]. 甘蔗糖业, 2014(3): 20-23.
- [41] Ismail, I. (2007) Application of Na and Partial Substitution of K-Na in Different Varieties of Sugarcane Planted on Inceptisol Soil. *Sugar Tech*, **9**, 256-262.
- [42] Lingle, S.E., Wiedenfeld, R.P. and Irvine, J.E. (2000) Sugarcane Response to Saline Irrigation Water. *Journal of Plant Nutrition*, **23**, 469-486. <https://doi.org/10.1080/01904160009382033>
- [43] 陈迪文, 黄莹, 卢颖林, 等. 低pH条件下钾对液培甘蔗幼苗生长及根系形态的影响[J]. 甘蔗糖业, 2016(6): 18-21.
- [44] 周仲驹, 施木田, 林奇. 不同钾镁施用水平下甘蔗花叶病对甘蔗产量的影响[J]. 福建农学院学报, 1991(4): 398-402.
- [45] Bokhtiar, S., Hossain, M., Mahmud, K., *et al.* (2003) Site Specific Nutrient Management for Sugarcane Potato and Sugarcane Onion intercropping Systems. *Asian Journal of Plant Sciences*, **17**, 1205-1208.
- [46] Hossain, A., Sikka, L., *et al.* (1990) Agronomic Management of Potato Sugarcane Intercropping and Its Economic Implications. *Field Crops Research*, **25**, 111-122.
- [47] 段昌坪. 钾素供应水平与甘蔗吸收效应研究[J]. 中国糖料, 1998(4): 14-16.
- [48] 赵凤兰, 钱发军, 邓挺. 长效硅钾肥对甘蔗产量及含糖量影响初探[J]. 地域研究与开发, 2003, 22(3): 82-84.
- [49] 孙秀廷, 曾璧容. 钾镁硫复肥生物学效应的研究——钾镁硫复肥对甘蔗产量和品质的影响[J]. 土壤, 2001, 33(6): 312-315.
- [50] 樊丽娜, 曾巧英, 何慧怡, 等. 拟南芥钾吸收调控基因 *AtCIPK23*、*AtCBL9* 和 *AtAKT1* 农杆菌介导共转化甘蔗[J]. 分子植物育种, 2015, 13(2): 361-366.
- [51] Li, Q.W., Fan, L.N., Luo, Q.W., *et al.* (2014) Co-Overexpression of *AtCBL9*, *AtCIPK23* and *AtAKT1* Enhances K^+ Uptake of Sugarcane under Low- K^+ Stress. *Plant Omics*, **7**, 188-194.
- [52] 曾巧英, 李昱, 刘睿, 等. 甘蔗(*Saccharum species hybrid*)钾通道蛋白基因 *SsAKT1* 的克隆及对胁迫的响应[J]. 分子植物育种, 2014, 12(4): 754-759.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjas@hanspub.org