

稀土对甘蔗增产增糖机理的探讨

苏广达 刘汉德*

(农学系)

摘要 以盆栽试验为主,结合大田生产试验来研究稀土微肥对甘蔗增产增糖的机理。研究表明,稀土能提高甘蔗叶片叶绿素含量,改善叶片的超微结构,增加叶肉细胞和维管束鞘细胞的叶绿体数,增加叶肉细胞叶绿体中的基粒数和基粒片层数,增大叶片光合膜面积;能促进根系生长,提高根系活力,促进根系对N、P、K等营养元素的吸收;能提高甘蔗体内K、Ca、Zn、Cu等元素的水平,而相对降低Mn、Na等元素的水平;能提高甘蔗伸长期叶片酸性转化酶活性,降低成熟期叶片酸性转化酶活性,提高伸长期及成熟期叶片中性转化酶活性,协调甘蔗的生长和蔗糖分的积累;能调节细胞的渗透压,维持细胞膜结构和功能的稳定性和完整性,增强细胞壁的伸缩性,提高甘蔗的抗旱性;能改善质膜的透性,提高其选择吸收能力,减轻高浓度 Na^+ 的毒害,提高甘蔗的耐盐能力。

关键词 稀土微肥; 光合膜; 营养元素比例关系; 激素平衡关系; 抗旱性; 耐盐性; 高产高糖

自1933年苏联科学家首先对稀土对植物的生理效应开展研究以来,罗马尼亚、保加利亚等对此也进行研究^[12]。我国对稀土农用的研究是从1972年开始的,1979年成立全国稀土农用协作网,肯定了稀土对多种粮食作物和经济作物有增产效果^[10],对甘蔗具有增产增糖、改善品质的良好效应^[11],并已通过技术鉴定。但有关稀土对甘蔗增产增糖机理的研究则甚少,还没有进行过系统的研究。本研究从叶片超微结构、营养代谢、转化酶活性的变化及抗逆性等方面较系统地研究稀土对甘蔗增产增糖的机理。

1 材料与方法

本研究于1987年3月开始,直到1989年3月才基本结束。盆栽试验在华南农业大学农学系试验场进行、大田试验部分在华南农大、部分在四会县大旺农场进行,所用品种均为粤糖71/210,春植。盆栽试验每盆植1个双芽苗,分蘖期后每盆只留3条苗,部分盆栽用砂培,用于研究根系的生长情况;大田试验采用比较试验设计,6次重复,每米下7个双芽苗,一切栽培措施均按常规。在甘蔗分蘖盛期叶面喷施0.03% (有效成分) 硝酸稀土溶液1次,以喷清水为对照,尔后每隔一定时期取样测定叶片等的生理性状。

几种主要生理指标的测定方法:

1.1 叶片超微结构观察 取+1叶片中部叶缘同中脉之间的部位,切成 1.0mm^3 大小,先用4.0%戊二醛于 $0\sim 4^\circ\text{C}$ 下固定24 h,用0.2 M 磷酸缓冲液漂洗5次,用1.0%四氧化

* 刘汉德现分配在广东省糖纸工业公司工作。

1989年11月13日收稿

饿固定12 h, 再经漂洗后, 用丙酮脱水, 环氧树脂包埋剂包埋, 然后放于45℃下聚合24 h。用玻璃刀切片, 于透射电镜下观察拍片。

1.2 用体积法^[7]收集蔗茎伤流液, 分别用茚三酮法^[1]、蒽酮法^[1]、定磷法^[1]测定伤流液的游离氨基酸、可溶性糖、无机磷等含量, 用 PE-2280 原子吸收光谱仪测定伤流液的 K^+ 、 Na^+ 含量。

1.3 用 TTC 法^[1]测定根系活力, 用离体法^[6]测定叶片硝酸还原酶活性 (NRA)。

1.4 叶片 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等元素含量的测定 取+3叶片剪碎于105℃下烘干8 h, 然后称取0.5 g 于马氏炉中450℃灰化3 h, 冷却, 取出用5.0 ml 20%盐酸液冲洗过滤, 用去离子水定容, 稀释成一定倍数, 加入适量抗干扰剂, 用 ICP-原子发射光谱仪和 PE-2280 原子吸收光谱仪测定各元素含量。

1.5 参照西南农业大学介绍的方法^[5]测定叶片酸性转化酶和中性转化酶的活性。

1.6 抗旱性试验 采用盆栽试验的甘蔗 (每次处理和对照各5盆), 分期放于玻璃房中不浇水让其自然干旱, 待土层10~20 cm 处的含水量降至8%~10%时, 甘蔗下位叶片已干枯, 上位叶片萎蔫, 此时取+1、+2叶片混合测定其水分含量, 分别用酸性茚三酮法^[2]、茚三酮法^[1]、蒽酮法^[1]测定其游离脯氨酸、总游离氨基酸、可溶性糖等含量, 用电导法^[8]测定叶片的相对电导率, 用折射法^[3]测定叶片的自由水和束缚水含量, 用原子发射光谱法和原子吸收光谱法测定叶片 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等元素含量。

1.7 耐盐试验 分期搬盆栽试验甘蔗于玻璃房中, 每天傍晚淋0.5%~2.0%食盐水一次, 5~6 d 后取样。按抗旱性试验方法测定各种抗逆指标。

2 结果与分析

2.1 叶片超微结构比较分析

1987年6、8、10、12月, 观察叶片超微结构, 结果表明, 喷施稀土的甘蔗叶片叶肉细胞及维管束鞘细胞中的叶绿体比对照的多, 叶肉细胞叶绿体中的基粒数及基粒片层数也比对照的多。如6月14日观察, 处理的叶肉细胞剖面叶绿体数、鞘细胞叶绿体数、叶肉细胞每个叶绿体的基粒数及每个基粒的片层数分别为5.33、5.50、27.00和31.17, 比对照分别增多1.66、2.00、9.14和11.17。说明稀土能增加叶肉细胞及维管束鞘细胞的叶绿体数, 增加单位叶面积的叶绿体数; 同时还能增加叶绿体中的基粒数及基粒片层数, 从而提高叶片的光合膜面积, 增强其光合能力。

观察还发现, 喷施稀土的甘蔗叶片维管束鞘细胞叶绿体中含有较多的淀粉粒, 平均为7.5个, 比对照增多2.0个, 说明喷施稀土的甘蔗叶片光合能力较强, 在光照下很快就能合成更多的光合产物。喷施稀土的甘蔗叶肉细胞线粒体膜系统的折叠程度也较高, 利于各种生物信息的传递和各种生化反应的进行, 增强代谢能力。

2.2 根系的生长及其吸收能力

喷施稀土的甘蔗根系的生长较快, 根的体积、鲜重及干重均比对照的大, 根系白根数较多, 生活力较强。1987年6月26日和8月3日测定, 根系的 TTC 还原量分别为0.533和0.740 mg/g (根鲜重)·h, 分别比对照大0.108和0.173, 均达到显著差异水

平。

通过蔗茎伤流量及伤流成分的分析,也说明喷施稀土的甘蔗根活力较强,单位时间内吸收的 N、P、K 量较多。如1987年8月3日测定,蔗株的伤流量为3.05 ml/株·h,比对照增加1.18 ml;根系吸收氮并合成为氨基酸向地上部的运输量为0.423 mg/株·h,比对照增加0.196;根吸收无机磷及 K^+ 的量,分别为4.127 mg/株·h 和0.691 mg/株·h,分别比对照增加2.157 μ g 和0.443 mg。

喷施稀土的甘蔗,体内硝酸还原酶活性较强,如1988年9月3日、9月17日、11月22日测定,处理分别为0.266、0.203和0.055 mg NO_2^- /g·h,分别比对照增大0.051、0.040和0.007,差异均达到显著水平。

2.3 甘蔗体内营养元素含量及其比例关系

1987年9月21日测定盆栽试验甘蔗+3叶片 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等8种元素含量,处理分别为9.93、0.078、4.309、0.978、0.124、0.044、0.008 6、0.195 mg/g,而对照分别为9.160、0.087、4.015、0.922、0.121、0.029、0.009 2和0.202。说明稀土能提高甘蔗叶片 Zn、Ca、Mg、K 等元素水平,降低 Na、Mn 等元素水平。

1988年7月7日再次测定盆栽试验甘蔗叶片 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等8种元素含量,处理分别为29.225、0.900、3.069、0.969、0.123、0.032 1、0.004 0和0.129,而对照分别为28.827、1.172、3.055、0.894、0.150、0.026 6、0.003 8和0.120。说明稀土能提高甘蔗体内 K、Zn、Mg、Cu 等元素水平,降低 Na 等元素的水平;提高 K/Ca、Zn/Fe、Zn/Mn、Mg/Fe、Ca/Fe、Cu/Fe 等元素比值,而相对降低其它元素的比例。大田试验测定结果同盆栽试验基本一致。只是处理 Ca 含量提高的幅度更大。

2.4 叶片酸性转化酶及中性转化酶活性的变化

分别于1988年7、8、9、11、12月测定叶片酸性转化酶及中性转化酶活性,结果可用图1和图2来表示,说明喷施稀土的甘蔗在伸长期叶片酸性转化酶活性远比对照的高,在成熟期则相对降低;中性转化酶活性则在各个生育期均高于对照,在成熟期尤其明显。

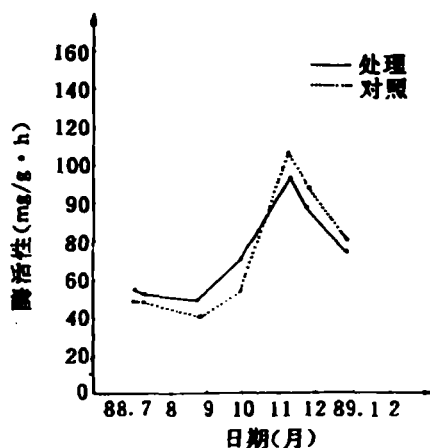


图1 叶片酸性转化酶活性变化曲线

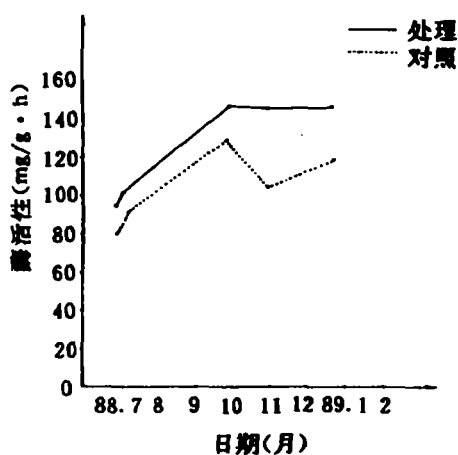


图2 叶片中性转化酶活性变化曲线

2.5 抗逆性

2.5.1 抗旱性 1987年8月对盆栽试验甘蔗进行干旱逆境处理后测定叶片的游离脯氨酸、总游离氨基酸、可溶性糖、叶绿素、总水分等含量, 喷施稀土的分别为0.386、30.385、33.206、1.506 mg/g (叶干重) 和65.80%, 分别比对照增加0.061、8.017、3.441、0.396 mg 和5.83% (绝对值)。于1988年9月测定干旱逆境处理后叶片的游离脯氨酸、总游离氨基酸、可溶性糖、叶绿素、总水分、自由水、束缚水等含量及相对电导率, 喷施稀土的分别为0.488、13.016、16.304、5.49 mg/g (叶鲜重) 和64.273、30.723、33.550、17.572%, 而对照分别为0.395、12.086、13.982、5.59、64.453、46.637、17.821、19.419。说明稀土能提高甘蔗在干旱逆境下叶片的游离脯氨酸、总游离氨基酸及可溶性糖等物质含量, 增加原生质的浓度, 降低细胞的渗透压, 提高细胞的保水能力; 能维持细胞膜结构的完整性, 减轻干旱脱水对质膜的破坏程度; 还能提高组织的束缚水含量, 相对降低自由水含量, 提高甘蔗的抗旱能力。

测定1988年7月干旱处理的甘蔗叶片 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等元素含量, 结果表明, 喷施稀土的甘蔗, 尽管受干旱为害, 叶片 K、Ca、Zn、Cu 等元素还能保持较高的水平, 而 Na 则明显降低; K/Na、Zn/Mn、Ca/Fe、Cu/Mn 等元素比值也明显增大。

2.5.2 耐盐能力 经过多次高盐逆境处理后, 叶片游离脯氨酸、束缚水、相对电导率等抗逆指标的变化同干旱处理的变化基本一致, 表现为多种可溶性物质及束缚水含量的提高, 降低细胞的水势, 增强其保水能力, 减轻由于高盐浓度而使组织脱水发生生理干旱的为害。

测定1988年9月耐盐试验甘蔗叶片 K、Na、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn 等8种元素的含量, 处理分别为14.387、12.885、4.004、1.007、0.146、0.033 4、0.003 90和0.198 mg/g (叶干重), 对照分别为12.757、16.253、3.682、0.974、0.134、0.029 4、0.003 7和0.172; K/Na 比值, 处理为1.384, 对照为0.803, 差异达到显著水平。说明稀土能维持甘蔗在高浓度 Na^+ 胁迫下对 K^+ 的吸收, 相对减少对 Na^+ 的吸收, 降低细胞内 Na^+ 的浓度, 减轻毒害; 喷施稀土的甘蔗在盐胁迫下还能维持较高的 Ca、Mg、Fe、Zn、Cu 等元素水平。

3 讨 论

3.1 稀土对甘蔗增产增糖原因剖析

稀土微肥能促进甘蔗根系的生长, 增加根的有效吸收表面积, 提高根系活力, 促进根系对 N、P、K、Ca 等常量营养元素和 Zn、Cu 等微量营养元素及水分的吸收, 为地上部生长提供充足的养分和水分, 为地上部生长打下坚实的基础; 硝酸还原酶和酸性转化酶等活性的提高, 增强植株的代谢能力; 叶片光合膜面积的增大, 加速光合作用的进行, 促进光合产物的产生。在逆境下, 稀土能大大提高甘蔗体内束缚水含量; 并能调节细胞的渗透压, 改善细胞的透性, 维护细胞膜系统结构和功能的稳定性; 促进根系对 K^+ 、 Ca^{2+} 等有利于增强抗逆性的营养离子的吸收, 而抑制根系对 Na^+ 等有害离

子的吸收,从而提高甘蔗的抗旱性及耐盐能力,减轻不利环境对甘蔗生长的影响,减少产量损失。因此喷施稀土的甘蔗产量较高。

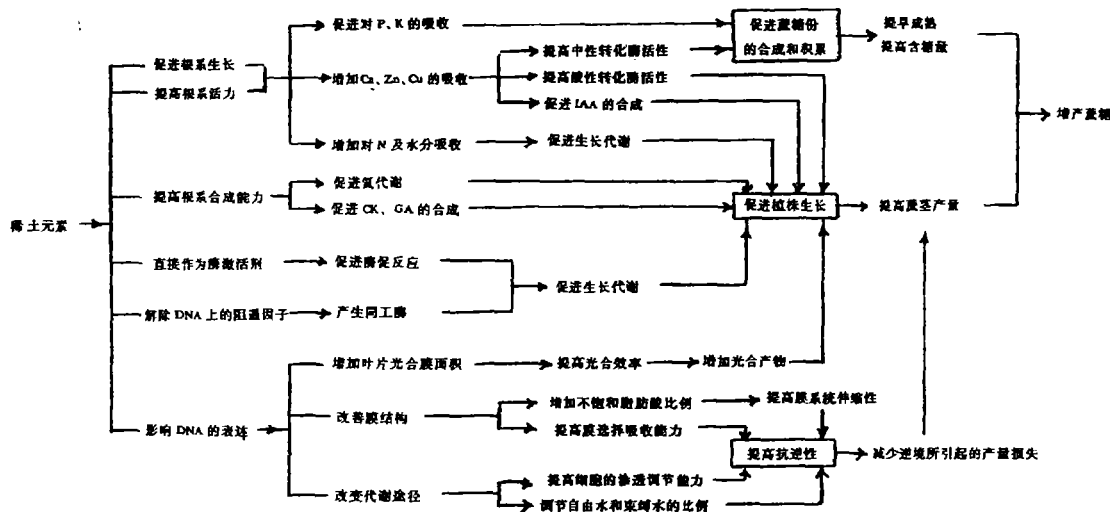
喷施稀土的甘蔗在各个生育期,叶片中性转化酶活性均较高,利于蔗糖分的积累,在蔗茎伸长过程中可能就积累一定的蔗糖分。同时由于甘蔗提早拔节,使生育期相对延长并提前,有可能较早进入成熟期,较大量地积累蔗糖分。因而在成熟前期蔗茎蔗糖分含量较高,表现为提早成熟。由于蔗糖分积累提早进行,相对延长蔗糖积累的时间,同时由于中性转化酶活性的提高,也加速蔗糖积累的进程,使蔗茎有可能积累更多的蔗糖分,最终表现为增糖。在成熟后期,甘蔗体内中性转化酶活性还很高,能促进还原糖合成为蔗糖积累于液泡中,并抑制蔗糖的水解,因而稀土能降低蔗汁还原糖含量,提高蔗茎品质。

3.2 稀土对甘蔗增产增糖机理假设

稀土元素可能通过调节植株体内营养元素的平衡关系和激素的平衡关系,从而实现了对甘蔗生长的调节。稀土能大大提高甘蔗体内 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 等离子水平,从而提高体内生长素的水平,促进植株的生长。 Ca^{2+} 对于生长和激素之间存在着密切的联系和效应相似性^[13],还可作为细胞内功能调节的第二信使,在与 CaM (钙调蛋白) 结合后调节了细胞内多种酶的活性和细胞的功能,改善多种生化反应途径,从而协调植株的生长^[9,14]。稀土元素的某些离子还可能影响 DNA 的表达,改善叶片和叶绿体的结构,使其有利于对光量子的捕捉,加速光能向化学能的转化,改善光合产物的运输系统,从而加速光合作用的进行,还可能使 DNA 中原来被阻遏的部位得以解遏,使其能翻译成新的酶类或产生某种活性较强的同工酶,从而实现对生化代谢途径的调节。稀土元素的某些离子还可能直接作用于酶系,做为某些酶的活化剂或某些酶促反应的催化剂,加速酶促反应的进行,提高植株的代谢能力。

稀土能促进甘蔗根系的生长,提高根系合成能力,合成更多的细胞分裂素等对生长有促进作用的激素运往地上部;同时,由于体内 Zn^{2+} 水平较高,利于生长素的合成,提高植株体内生长素的水平,同细胞分裂素等一并促进甘蔗生长。而当植株受到水分胁迫或 Na^{+} 离子为害时,体内 CK、IAA、GA 的水平可能降低,而代之以较高的 ABA、乙烯水平。激素水平的改变会改善细胞膜的特性,膜特性的改变可以使气孔关闭,改善代谢库的容量和与膜相结合的酶的活性,从而调节多种代谢反应途径^[13]。稀土元素还可能改变 DNA 的表达,改善细胞膜系统的结构组成,增加不饱和脂肪酸的比例,增大膜的伸缩性,使膜系统在水分胁迫下能维持结构和功能的稳定性,从而提高细胞的抗逆性。

为此,对稀土的作用机理提出如下图示:



参 考 文 献

- 1 山东农学院等编. 植物生理学实验指导. 济南: 山东科学技术出版社, 1980. 179~190, 196~222, 308~310
- 2 朱广廉等. 植物生理学通讯, 1983 (1): 35~37
- 3 华东师范大学生物系编. 植物生理学实验指导. 上海: 高等教育出版社, 1986. 5~7, 145~146
- 4 孙大业. 植物生理学通讯, 1984 (6): 13~19
- 5 陈伟栋等. 四川甘蔗科技, 1985 (3): 27~36
- 6 林国栋. 福建农学院学报, 1987, 16 (4): 293~298
- 7 许鸿源. 广西植物, 1986 (3): 230~234
- 8 周鸿凯等. 甘蔗糖业 (甘蔗分刊), 1988 (2): 39~41
- 9 栾升等. 植物生理学报, 1987 (2): 168~173
- 10 李华富. 四川甘蔗, 1987 (2): 20~22
- 11 郭伯生. 稀有金属 (稀土农用专辑), 1981 (1): 1~10
- 12 N. I. 斯克列勃科. 郭伯生译. 稀有金属 (稀土农用专辑), 1982 (2): 22~24
- 13 O. L. 朗格等著. 水分与植物生活 (问题与研究状况). 樊梦康等译. 北京: 科学出版社, 1985. 149~185
- 14 Hanson, J. B. Advances in Plant Nutrition. Praeger, New York, 1984. Vol 1: 149~208

STUDY ON THE MECHANISM OF INCREASED YIELD AND INCREASED
SUCROSE CONTENT OF SUGARCANE SPRAYED WITH RARE
EARTH SOLUTIONS

Su Guangda Liu Hande

(Department of Agronomy)

Abstract The mechanism of increased yield and sucrose content of sugarcane sprayed with rare earth (RE) solution was studied by means of pot experiments and field production experiments. The results showed that RE could increase the chlorophyll content and improve the ultrastructure of leaves and increase the number of grana and grana lamellae in the chloroplasts. So, it could increase the area of the photosynthetic membranes and the photosynthesis rate of the sugarcane. It could increase the activity of roots and promote the absorption of more N, P and K, and enhance nutrition metabolism. Sugarcane sprayed with RE solution had high levels of K, Ca, Zn, Cu and relatively low levels of Mn and Na. RE might regulate cane growth by regulating the balance of nutrient elements in the sugarcane.

The activity of acid and neutral invertases was raised in the stem elongation stage. But in the maturity stage, the activity of acid invertase was lowered while the activity of neutral invertase still remained very high. The sugarcane sprayed with RE solution grew quickly in the elongation stage and slowed down in the mature period to accumulate sucrose. RE could raise the drought resistance of sugarcane by maintaining the structure and function of the plasmalemma, controlling the osmotic pressure of cells and raising the plasticity of cell walls. It could also raise the salt tolerance of sugarcane by improving the permeability and the selective absorption of the plasmalemma, thus decreasing the harm due to high Na^+ content.

Key Words Rare earth elements; Area of the photosynthetic membranes; Relationship of nutritional elements; Relationship of hormones; Drought resistance; Salt tolerance; Increased yield and sucrose content