

磷素对不同基因型甘蔗生长的影响

赵丽萍^{1,2}, 刘家勇^{1,2*}, 咎逢刚^{1,2}, 赵培方^{1,2}, 赵俊^{1,2}, 朱建荣^{1,2},
杨昆^{1,2}, 覃伟^{1,2}, 姚丽^{1,2}, 夏红明^{1,2}, 陈学宽^{1,2}, 吴才文^{1,2}

(1.云南省农业科学院甘蔗研究所, 云南 开远 661699; 2.云南省甘蔗遗传改良重点实验室, 云南 开远 661699)

摘 要: 采用盆栽方法, 以 ROC22、云蔗 06-407、云蔗 05-211 为试验材料, 研究磷素(磷浓度分别为 0.2、1 000 $\mu\text{mol/L}$, 分别记为 P_1 、 P_2)对 3 个甘蔗品种(系)生长的影响。结果表明: P_1 处理下, 云蔗 06-407 的总根长、根表面积、根直径、根体积、茎径、冠鲜重、冠干重比 P_2 处理分别增加了 19.50%、31.63%、11.11%、42.25%、14.21%、39.99%和 36.31%, ROC22、云蔗 05-211 的总根长、根表面积、根体积、茎径、冠鲜重、冠干重均低于 P_2 处理; 在 P_2 处理下, ROC22 具有较高的磷利用效率, 在 P_1 和 P_2 处理下, 云蔗 06-407 的磷利用效率均较高。综合分析结果表明, P_1 处理下, 云蔗 06-407 的根系和地上部生长较好; P_2 处理下, ROC22、云蔗 05-211 的根系和地上部生长较好。

关 键 词: 甘蔗; 根系形态; 磷利用效率

中图分类号: S566.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2015)06-0590-05

Effects of phosphorus on the growth of different genotypes of sugarcane

Zhao Liping^{1,2}, Liu Jiayong^{1,2*}, Zan Fenggang^{1,2}, Zhao Peifang^{1,2}, Zhao Jun^{1,2}, Zhu Jianrong^{1,2},
Yang Kun^{1,2}, Qin Wei^{1,2}, Yao Li^{1,2}, Xia Hongming^{1,2}, Chen Xuekuan^{1,2}, Wu Caiwen^{1,2}

(1.Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kaiyuan, Yunnan 661699, China; 2.Yunnan Provincial Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan, Yunnan 661699, China)

Abstract: The impact of phosphorus on the growth of sugarcane cultivars was conducted by a pot test. Phosphorus was applied at two levels, i.e., 0.2 $\mu\text{mol/L}$ (P_1), 1 000 $\mu\text{mol/L}$ (P_2) for three sugarcane cultivars which were ROC22, Yunzhe 06-407 and Yunzhe 05-211. The results indicated that root length, root surface, root diameter, root volume, diameter, plant dry weight, plant fresh weight in Yunzhe 06-407 treatment were 19.50%, 31.63%, 11.11%, 42.25%, 14.21%, 39.99%, and 36.31%, respectively, higher than those of in P_2 , whereas root length, root surface, root volume, diameter, plant fresh weight, plant dry weight in ROC22 and Yunzhe 05-211 were lower than those of in P_2 . The utilizing efficiency of phosphorus was higher for ROC22 in P_2 , the same was true for Yunzhe 06-407 in P_1 and P_2 treatments. This study showed that the root and plant growth of Yunzhe 06-407 were better under P_1 treatment, while they were better for ROC22 and Yunzhe 05-211 cultivars in P_2 treatment.

Keywords: sugarcane; root morphology; phosphorus

甘蔗是重要的糖料作物。磷对促进植物的生长发育和新陈代谢起着非常重要的作用^[1]。蔗区绝大

部分土壤为酸性红壤。磷素匮乏成了制约蔗区甘蔗生产的主要限制因子之一。施用磷肥是提高农作物

产量的有效途径^[2-3]。土壤中大部分磷素难以被植物直接吸收利用,从而造成土壤有效磷缺乏和磷肥利用率低。植物对土壤中磷素的吸收利用存在显著的基因型遗传差异,发掘作物自身磷营养高效利用的遗传潜力,提高植物对土壤磷素的吸收利用能力已成为提高磷肥利用效率的主要途径^[2]。根系是最先感受养分胁迫的器官,其生长及生理代谢直接影响作物生长发育与产量品质的形成^[4-6]。根系对获得磷营养也有决定性影响^[7]。磷胁迫时作物根系产生一系列复杂的形态学变化,在缺磷逆境中,植物常常通过根系适应性反应来提高对磷的吸收能力。磷胁迫在一定程度上能促进植株根系的生长,从而增加对磷的吸收。近年来,根系生物学已成为一个新兴研究领域,根系遗传改良在育种中受到越来越多的关注。国内外有关磷素对甘蔗生理方面的研究主要集中在地上部分,施用磷肥对甘蔗根系形态、磷素在植株体内的分布以及根系与地上部的相关性研究报道较少。本试验中以3个甘蔗品种(系)为材料,探讨2个施磷水平下甘蔗根系形态、地上部的生长情况和磷素在植株各部位的分布、根系的磷吸收效率、根系的磷利用效率及根系性状与地上部性状的相关性,旨在为磷高效基因型甘蔗品种根系性状的改良和品种选育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

3个甘蔗品种(系)分别为新台糖22号(ROC22)、云蔗06-407和云蔗05-211。

1.2 试验设计

试验在云南省农业科学院甘蔗研究所内进行。袋内径25 cm,高30 cm。袋内基质为冲洗干净的河沙。取种苗中、上部单芽(5 cm/芽)种植。2芽/袋。种植后用自来水浇灌。甘蔗出苗后去除多余种苗,每袋留1株,采用Hoagland's(霍格兰氏)营养液为培养介质,设0.2 μmol/L(低磷P₁)和1 000 μmol/L(高磷P₂)^[8] 2个磷水平,每处理3次重复,每重复种植5桶。每15 d浇1次营养液,每次每桶定量浇500 mL。每2 d浇水1次。植株生长150 d后采收。

1.3 测定指标及方法

根系形态测定:从袋中取出完整植株,将根系清洗干净,用吸水纸吸干表面水分,按单根分开,不重叠,不交叉,并排放置于专用根盘,利用WinRHIZO根系专用大幅面透视扫描仪扫描根系样品,获取数字化图像存入计算机,之后用与扫描仪配套的WinRHIZO根系分析系统软件计算根总长、根总表面积、根平均直径和根体积。

地上部性状指标茎径、株高等按常规方法测定。

生物量与磷含量的测定:用自来水洗净甘蔗植株和根系,用去离子水冲洗,用吸水纸充分吸干水分,称鲜重,待根系扫描分析结束后同地上部植株于105℃杀青0.5 h,70℃烘干至恒重。样品粉碎过筛后,用H₂SO₄-H₂O₂消煮,用钼锑抗吸光光度法^[9]测定甘蔗不同部位磷含量。

根系活力测定:称取根系根尖白色组织0.5 g,采用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法测定根系活力^[10-11]。

磷效率的计算:磷素吸收效率和磷素利用效率分别参照乔振江^[12]和杨青^[13]的方法并稍作改进后测定。

根系磷吸收效率=根系磷吸收量/植株数。

根系磷利用效率=根系干物质量/根系磷吸收量。

1.4 数据分析

用Microsoft Office Excel 2007软件对试验数据进行分析。用SPSS 18.0对试验数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同基因型甘蔗不同部位的磷含量

由表1可知,在P₁处理下,云蔗05-211根系中的磷含量显著高于云蔗06-407和ROC22,茎、叶和梢头中磷含量的差异无统计学意义。在P₂处理下,ROC22、云蔗05-211根系中的磷含量显著高于云蔗06-407;在2个磷水平下,不同基因型甘蔗根系中的磷含量均存在显著差异,茎、叶和梢头中磷含量的差异均无统计学意义。

表 1 各处理不同基因型甘蔗不同部位的磷含量

Table 1 Phosphorus content in different parts of three sugarcane cultivars

处理	品种(系)	磷含量/%			
		根	茎	叶	梢头
P ₁	ROC22	(0.10±0.02)b	0.06±0.01	0.04±0.00	0.06±0.01
	云蔗 05-211	(0.16±0.02)a	0.06±0.01	0.05±0.00	0.07±0.00
	云蔗 06-407	(0.09±0.01)b	0.05±0.01	0.05±0.01	0.06±0.01
P ₂	ROC22	(0.21±0.03)a	0.05±0.01	0.06±0.00	0.06±0.00
	云蔗 05-211	(0.24±0.07)a	0.10±0.04	0.04±0.01	0.06±0.01
	云蔗 06-407	(0.11±0.01)b	0.05±0.01	0.05±0.01	0.07±0.01

2.2 不同基因型甘蔗根系形态特征的差异

由表2可知，P₁处理下，云蔗 06-407的根长、根表面积显著高于ROC22和云蔗 05-211，根直径、

根体积显著高于云蔗 05-211，表明P₁处理下云蔗 06-407的根系与土壤的接触面积显著大于云蔗 05-211。

表 2 各处理不同基因型甘蔗根系的形态指标

Table 2 Root morphological indices from three sugarcane cultivars

处理	品种(系)	总根长/cm	根表面积/cm ²	根直径/mm	根体积/cm ³
P ₁	ROC22	(2 460.48±686.46)b	(843.26±200.18)b	(1.09±0.03)a	(24.05±5.09)ab
	云蔗 05-211	(1 709.52±42.49)b	(551.34±17.22)b	(1.00±0.00)b	(14.77±0.51)c
	云蔗 06-407	(3 530.32±369.82)a	(1 223.53±128.17)a	(1.10±0.01)a	(34.37±3.60)a
P ₂	ROC22	3 208.07±955.71	972.51±315.10	0.94±0.02	24.25±8.46
	云蔗 05-211	2 317.85±69.52	714.84±0.44	0.98±0.03	17.87±0.44
	云蔗 06-407	2 954.24±488.48	929.49±151.51	0.99±0.00	24.16±3.91

由表2可见，在P₂处理下，3个品种根系性状指标的差异无统计学意义。与P₁相比，P₂处理下ROC22、云蔗05-211和云蔗06-407 的根直径均变小，其中云蔗 06-407的根长变短，根表面积、根体积均减少。ROC22、云蔗05-211的根长、根表面积、根体积增加，根长分别增加了30.38%、35.58%，根表面积分别增加了15.33%、29.66%，根体积分别增加了0.83%、20.99%，表明不同甘蔗品种(系)根系形态对磷素的响应差别较大。

2.3 不同基因型甘蔗地上部生长的差异

由表3 可知，在P₁ 处理下，云蔗 06-407和ROC22株高的差异无统计学意义，但显著高于云蔗 05-211。云蔗 06-407、ROC22、云蔗 05-211茎径

的差异无统计学意义，云蔗 06-407的冠鲜重、冠干重显著高于云蔗 05-211。在P₂处理下，3个品种(系)株高间差异、茎径间差异、冠鲜重间差异、冠干重间差异均无统计学意义，ROC22的株高、茎径、冠鲜重、冠干重均高于云蔗 06-407和云蔗 05-211。与P₁ 处理相比，P₂ 处理ROC22、云蔗 05-211、云蔗 06-407的株高分别增加了12.28%、34.69%、5.59%；ROC22、云蔗 05-211的茎径分别增加了20.00%、2.50%；云蔗 06-407的茎径降低了12.44%。与低磷处理相比，高磷处理下ROC22、云蔗 05-211的株高、茎径、冠鲜重和冠干重增加，云蔗 06-407 的茎径、冠鲜重和冠干重减小，株高增幅较小。

表 3 各处理不同基因型甘蔗的株高和茎径及植株生物量

Table 3 Height , diameter and plant biomass from three sugarcane cultivars

处理	品种(系)	株高/cm	茎径/cm	冠鲜重/g	冠干重/g
P ₁	ROC22	(85.50±0.7)a	2.00±0.14	(274.55±37.41)bc	(56.49±7.15)ab
	云蔗 05-211	(49.00±8.48)b	1.95±0.07	(203.64±37.71)c	(49.96±7.16)b
	云蔗 06-407	(89.50±0.71)a	2.17±0.109	(440.68±37.72)a	(86.79±0.08)a
P ₂	ROC22	96.00±33.94	2.40±0.71	546.13±52.58	96.59±2.39
	云蔗 05-211	66.00±22.28	2.00±0.71	329.26±29.19	64.44±9.59
	云蔗 06-407	94.50±0.71	1.90±0.14	314.78±64.08	63.67±9.04

2.4 不同基因型甘蔗根系活力的差异

由表4可知,在P₁处理下,ROC22、云蔗06-407的根系活力显著高于云蔗05-211;在P₂处理下,ROC22、云蔗05-211的根系活力显著高于云蔗06-407。与低磷处理(P₁)相比,高磷处理(P₂)下云蔗05-211的根系活力增加了86.43%;ROC22、云蔗06-407的根系活力分别降低了61.85%、50.34%。

表 4 各处理不同基因型甘蔗的根系活力和根系磷吸收效率及根系磷利用效率

Table 4 Root activity , phosphorus accumulation in root and utilizing efficiency of phosphorus for roots of three sugarcane cultivars under two supplies

处理	品种(系)	根系活力	根系磷吸收效率/(mg·株 ⁻¹)	根系磷利用效率/(g·mg ⁻¹)
P ₁	ROC22	(1 982.49±116.25)a	(9.27±1.39)a	(0.84±0.28)ab
	云蔗 05-211	(408.19±66.39)c	(9.47±1.53)a	(0.44±0.08)b
	云蔗 06-407	(1 121.84±78.49)b	(8.83±1.97)ab	(0.97±0.15)a
P ₂	ROC22	(756.23±15.79)a	(18.73±2.77)a	(0.47±0.08)b
	云蔗 05-211	(761.02±12.28)a	(13.12±1.71)b	(0.76±0.33)ab
	云蔗 06-407	(557.153±13.23)b	(9.74±1.41)b	(1.01±0.14)a

2.5 不同基因型甘蔗根系磷吸收效率与利用效率的差异

由表4可知,在P₁处理下,云蔗 05-211、ROC22和云蔗06-407 根系磷吸收效率的差异无统计学意义;在P₂ 处理下,ROC22 根系的磷吸收效率显著高于云蔗 05-211和云蔗 06-407。在P₁ 处理下,云蔗06-407根系的磷素利用效率显著高于云蔗 05-211;在P₂ 处理下,云蔗 06-407 根系的磷素利用效率显著高于ROC22,说明云蔗 06-407 的根系对磷素的利用较充分。

2.6 不同基因型甘蔗根系性状指标与地上部生长指标的相关性

由表5可知,在P₁处理下,总根长、根表面积与茎径呈显著负相关,与株高、冠鲜重、冠干重的相关性无统计学意义。在P₂处理下,总根长与株高呈显著正相关,其余根系指标与茎径、株高、冠鲜重、冠干重的相关性均无统计学意义。

表 5 根系指标与株高、茎径和植株生物量的相关系数

Table 5 Correlation coefficients among the characteristics of roots, aerial parts and biomass

处理	性状	相关系数			
		茎径	株高	冠鲜重	冠干重
P ₁	总根长	-0.69*	-0.4	-0.263	-0.42
	根表面积	-0.61*	-0.32	-0.16	0.35
	根直径	-0.45	-0.11	0.08	-0.16
	根体积	-0.52	-0.23	-0.04	-0.27
P ₂	总根长	0.30	0.66*	-0.202	-0.34
	根表面积	0.23	0.57	-0.32	-0.32
	根直径	-0.18	-0.26	-0.197	0.01
	根体积	0.14	0.42	-0.03	-0.27

3 结论与讨论

施用适宜的磷肥能够促进甘蔗的生长发育。过多施用磷肥不仅浪费肥料,而且还可能对甘蔗的生长不利。不同植物以及同一植物的不同品种对磷的利用存在广泛的基因型差异^[1]。耐低磷的现象在甘蔗上广泛存在。在本试验中的2种磷浓度处理下,磷素在ROC22、云蔗 06-407、云蔗 05-211植株体内的分布、根系形态指标、根系活力以及磷素吸收效率和磷素利用效率均表现出基因型差异。在 2 种磷浓度处理下,不同基因型甘蔗品种(系)根系中磷素的含量差异显著,在叶、茎和梢头中磷含量的差

异无统计学意义。由根系形态指标可看出,云蔗06-407在低磷处理下根系的生长较好,这可能是因为云蔗 06-407通过根系形态重塑扩大了根系与土壤的接触面积,致使对磷素的吸收增加。所选用的3个甘蔗品种(系)在高磷处理下的根系直径均比低磷处理下的小,其原因可能是低磷胁迫下根系直径增大,单位根重表面积的增加有利于磷素吸收。施磷对甘蔗地上部生长有促进作用,与低磷相比,高磷处理下3个甘蔗品种(系)的株高均增加,但差异无统计学意义。茎径和生物量表现出品种差异,云蔗06-407在低磷处理下的茎径和生物量均优于高磷

处理,而高磷处理下ROC22、云蔗 05-211 的茎径和生物量表现较好,说明云蔗 06-407 在低磷处理下生长较好,为相对耐低磷品种,适宜种植在磷相对匮乏的蔗区。

在低磷处理下,ROC22、云蔗 06-407的根系活力显著高于云蔗 05-211,且高于其在高磷处理下的根系活力。已有研究表明,根系活力反映植物根系吸收与代谢能力的强弱,直接影响植株的抗逆性及地上部茎叶的生长和作物产量^[14-15]。本试验结果也表明,在低磷处理下的根系活力高,根系磷素利用效率也较高,地上部植株生长较好,但在高磷处理下,根系活力与根系磷素利用效率、植株的生长并未呈现相同的规律,其可能原因是磷浓度太高影响了植株的代谢。

从相关性看,在低磷处理处理下,总根长、根表面积与茎径呈显著负相关;在高磷条件下,总根长与株高呈显著正相关。杨秀红等^[16]的研究结果表明,茎粗和冠重是判断根系是否发达的主要指标。本研究结果与其存在差异。本研究中,磷素对植株以及根系生长的影响较大,主要受不同品种基因型控制。在2种磷浓度处理下,甘蔗根系形态及植株的生长差异并未呈现一定的规律性,表现出明显的基因型差异,

本研究中,在2种磷浓度处理下,甘蔗根系形态及植株生长并未呈现出规律性差异,表现出明显的基因型差异。根系形态是受一系列能对根原基进行负调节的基因控制的^[17]。本试验中通过对甘蔗根系形态、植株长势及磷在植株体内的分布进行分析,发现磷对植株的影响存在明显的基因型差异,其影响机理以及不同基因型甘蔗品种最适宜的磷素浓度还有待研究。

参考文献:

- [1] 郭家文,张跃彬,刘少春,等.不同磷水平对分蘖期甘蔗生长和营养状况以及光合速率的影响[J].西南农业学报,2009(2):397-401.
- [2] 阳显斌,张锡洲,李廷轩,等.小麦磷素利用效率的品种差异[J].应用生态学报,2012(1):60-66.
- [3] 陈磊,王盛锋,刘荣乐,等.不同磷供应水平下小麦根系形态及根际过程的变化特征[J].植物营养与肥料学报,2012(2):324-331.
- [4] 孟亚利,王瑛,王立国,等.麦棉套作复合根系群体对棉花根系生长的影响[J].中国农业科学,2006,39(11):2228-2236.
- [5] Yang C M, Yang L Z, Yang Y X, et al. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils[J]. Agric Water Manage, 2004, 70: 67-81.
- [6] Ahsan N, Lee D G, Lee S H, et al. A proteomic screen and identification of water logging-regulated proteins in tomato roots[J]. Plant Soil, 2007, 295: 37-51.
- [7] 顾东祥,汤亮,曹卫星,等.基于图像分析方法的水稻根系形态特征指标的定量分析[J].作物学报,2010(5):810-817.
- [8] 刘莹,盖钧镒,吕慧能.黄淮海地区大豆品种(系)苗期根系性状的遗传变异及与耐逆境胁迫的关系[J].华北农学报,2008,23(1):114-118.
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,2000:312-314.
- [10] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:62-63.
- [11] 赵丽萍,刘家勇,赵培方,等.营养液pH对甘蔗实生苗生长的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2014,40(2):122-126.
- [12] 乔振江,蔡昆争,骆世明.低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响[J].生态学报,2011(19):5578-5587.
- [13] 杨青,张一,周志春,等.低磷胁迫下不同种源马尾松的根构型与磷效率[J].应用生态学报,2012,23(9):2339-2345.
- [14] 段九菊,郭世荣,康云艳,等.盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和多胺代谢的影响[J].应用生态学报,2008,19(1):57-64.
- [15] 李邵,薛绪掌,郭文善,等.不同供水吸力对温室黄瓜光合特性及根系活力的影响[J].应用生态学报,2010(1):67-73.
- [16] 杨秀红,吴宗璞,张国栋.大豆品种根系性状与地上部性状的相关性研究[J].作物学报,2002,28(1):72-75.
- [17] Lynch J. Root architecture and plant productivity[J]. Plant Physiology, 1995, 109(1): 7-13.

责任编辑:王赛群

英文编辑:王 库