

蔗糖对低磷胁迫条件下大豆苗期根系形态和物质积累的影响

孔令剑,朱 倩,单玉姿,谢甫绶,王海英,张惠君,赵明哲,敖 雪

(沈阳农业大学 农学院,辽宁 沈阳 110866)

摘 要:为了研究施加外源蔗糖对低磷胁迫下苗期大豆的影响,以两个不同磷效率大豆为试验材料,设置 3 个磷浓度水平(0,0.05 和 0.50 mmol·L⁻¹)和 2 个蔗糖浓度水平(0% 和 1%)处理,测定幼苗时期不同处理下大豆根系形态、蔗糖含量、磷积累和植株生物量的积累特征。结果显示:加入蔗糖后,磷高效品种的根尖数由平均高于磷低效大豆的 28.5% 升高至 88.9%,蔗糖含量、根系磷积累以及根系生物量平均升高 15.5%、7.2% 和 26.6%;而磷低效品种蔗糖含量、根系磷积累以及根系生物量平均升高 18.4%、31.7% 和 50.6%。表明蔗糖处理对磷低效品种在生物量积累以及养分吸收方面影响更显著。

关键词:大豆;低磷胁迫;根系;蔗糖;物质积累

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2018.02.0239

Effect of Sucrose on Root Morphology and Substance Accumulation at Soybean Seedling Stage under Low Phosphorus Stress

KONG Ling-jian, ZHU Qian, SHAN Yu-zi, XIE Fu-ti, WANG Hai-ying, ZHANG Hui-jun, ZHAO Ming-zhe, AO Xue

(College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In order to study the effect of exogenous sucrose on the response mechanism of soybean seedling to low phosphorus stress, this study was conducted with two different phosphorus (P) efficient soybeans, three P concentrations (0, 0.05 and 0.50 mmol·L⁻¹) and two sucrose levels (0% and 1%), to investigate the traits of root morphology, sucrose content, P accumulation and plant biomass at soybean seedling stage. The results showed: For the low P efficient soybean, sucrose application enlarged the increment in root tip numbers of the high P efficient soybean than the low P efficient soybean, from 28.5% to 88.9%, compared with no sucrose application. Sucrose application increased the sucrose content, root phosphorus accumulation and the root biomass averagely by 15.5%, 7.2% and 26.6%, respectively. For the low P efficient soybean, the sucrose content, root phosphorus accumulation and the root biomass increased 18.4%, 31.7%, and 50.6%, respectively. This result indicated that sucrose application affected more significantly on biomass accumulation and nutrient absorption for the low P efficient soybeans.

Keywords: Soybean; Low phosphorus stress; Root; Sucrose; Biomass accumulation

磷是作物生长发育的必须元素之一^[1],增施磷肥是提高作物产量的常用手段,但目前依旧无法彻底解决磷肥利用率低,流失严重,并且在土壤中极易被固定等问题^[2]。近来研究发现,低磷胁迫下蔗糖会启动与缺磷信号有关的一系列反应,参与调节植物的生长、发育以及抗逆境条件下的适应性反应^[3],并且参与植物低磷胁迫反应的系统调节,与磷的吸收、转运及信号传导有关^[4]。许多适应低磷胁迫的不同植物品种会通过增加总根长、根面积以

及根尖数等方面来适应低磷胁迫^[5-6],植株根系在受到磷胁迫时会表现出有利于植株对磷高效吸收的形态变化。白羽扇豆是研究低磷胁迫模式的植物,在低磷胁迫下,环剥韧皮部后,阻断蔗糖运输有多个磷响应基因表达量显著下降^[7],而拟南芥供给蔗糖后在低磷胁迫下有 5 个低磷响应基因表达量显著提高^[8],推测蔗糖作为信号物质通过韧皮部运输供给到根部,有效地启动对低磷胁迫的响应机制,增强对低磷胁迫的适应性表现。同时白羽扇豆在

收稿日期:2018-01-26
基金项目:辽宁省高等学校优秀人才支持计划资助(LJQ2015097);辽宁省自然科学基金重点项目(201701526);国家重点研发计划(2017YFD0101306-04)。
第一作者简介:孔令剑(1993-),男,硕士,主要从事大豆产量营养生理研究。E-mail:18240418826@163.com。
通讯作者:敖雪(1979-),女,博士,副教授,主要从事作物营养逆境生理研究。E-mail:gebywka@sohu.com。

加入蔗糖后簇生根(排根)密度有明显的增大^[9],加入蔗糖后水稻根系会促进发育出三级根系^[10]。前人主要围绕大豆在低磷胁迫下根系结构的形态变化方面进行了大量的研究^[11],但并未对外源蔗糖供给条件下,低磷胁迫大豆根系的响应机制进行研究。蔗糖作为一种信号物质参与调节植物根系对磷饥饿的响应,与磷的吸收、转运及信号传导密切相关。因此,研究供给蔗糖对大豆整体抵抗低磷胁迫的影响,探究蔗糖调控不同磷效率基因型大豆根系磷饥饿响应的生理机制,对提高大豆的产量有重要意义。本文主要分析了两个不同磷效率大豆品种,加入蔗糖处理对在不同磷水平胁迫条件下的根系形态和物质积累的影响,以期深入了解信号物质蔗糖对大豆低磷胁迫下的适应性作用,进而为遗传改良大豆根系性状、提高大豆养分吸收效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种辽豆 13(L13)和铁丰 3 号(T3)为本课题组从 226 个大豆品种(系)中筛选出来的不同磷效率大豆品种。辽豆 13(L13)为磷高效品种;铁丰 3 号(T3)为磷低效品种^[12]。

1.2 试验设计

试验在沈阳农业大学大豆所进行。试验采用纸袋培养,采用再裂区试验设计,3 次重复,主区为品种(C),裂区为蔗糖处理(S),再裂区为磷浓度(P)。精选种子用 H₂O₂ 消毒后,在种子袋中种植,每袋 3 株。避光发芽 48 h 后,移动种子袋到光照培养室培养,培养条件为 16 h 光照/8 h 黑暗,18 ~ 28℃,蒸馏水培养。于大豆 VE 期(子叶全展)开始营养液培养,并进行不同浓度的蔗糖和磷素处理。设置 2 个蔗糖水平,即不加蔗糖(S0)、添加 1%(m:v)蔗糖(S1)。磷浓度设置 3 个水平,即无磷(0 mmol·L⁻¹ KH₂PO₄,用 KCl 维持钾盐浓度与正常供磷一致,P0),低磷(0.05 mmol·L⁻¹ KH₂PO₄,P1)和正常磷(0.5 mmol·L⁻¹ KH₂PO₄,P2)。其它营养元素(化合物)参照王应祥等^[17]略有改动:4.5 mmol·L⁻¹ KNO₃,1.2 mmol·L⁻¹ NH₄NO₃,3.6 mmol·L⁻¹ CaSO₄·2H₂O,0.25 mmol·L⁻¹ MgSO₄。微量元素为:9 μmol·L⁻¹ H₃BO₃,0.9 μmol·L⁻¹ MnSO₄,0.9 μmol·L⁻¹ ZnSO₄,1.5 μmol·L⁻¹ CuSO₄,0.18 μmol·L⁻¹ (NH₄)₆Mo₇O₂₄和 9 μmol·L⁻¹ Fe-EDTA,营养液 pH5.8。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 根系形态测定 分别于处理后的第 1,3,5,7,9 天,各处理中选取整齐一致的大豆幼苗进行取样,以每袋中 3 株的平均值作为一次重复,每处理取 3 次重复。将植株整株取出后,用流水缓慢冲洗,从子叶节处分离植株地上和地下部分。

用 WinRHIZO 根系分析系统(Regent Instruments Inc., Quebec, Canada)对根系进行扫描分析。并将鲜根及地上部置烘箱内 105℃ 杀青 30 min 后,80℃ 烘干至恒重,称量根系干重和地上部干重,计算根冠比。

1.3.2 蔗糖含量的测定 将植株整株烘干样品研磨后,过 0.3 mm 筛,参照张志良^[13]《植物生理学实验指导》方法提取蔗糖。

1.3.3 植株总磷含量测定 采用钼锑抗吸光度法,测定植株磷素积累量。称取磨碎过筛后的烘干样品约 0.3 g,用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 混合消煮,冷却定容后,在 UV-2450 紫外-可见分光光度计 700 nm 处比色测定。

地上部磷含量(mg) = 地上部磷的百分含量 × 地上部干物重

根系磷含量(mg) = 根系磷的百分含量 × 根系干物重

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据统计及处理,运用 SPSS 24.0 进行数据方差分析。经方差分析,处理后第 9 天时各处理间数据表现出了差异,因此本文数据均采用第 9 天的样本数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 蔗糖对不同磷效率大豆根系形态的影响

在无糖处理下(表 1),对于磷高效大豆(L13)来说,不同磷素间总根长差异显著,无磷处理和低磷处理下的总根长显著高于正常磷处理,其根表面积也是在无磷处理下显著高于正常磷处理;但磷高效基因型大豆的平均根直径、根体积和根尖数随着不同磷浓度的处理变化较小,差异均未达到显著水平。对于磷低效大豆(T3)来说,其根系变形态特性指标变化均较小,差异未达显著水平。增加外源蔗糖后(表 1),磷高效基因型大豆,无磷处理下的总根长和根表面积显著高于正常磷处理;磷低效基因型大豆,低磷处理下的总根长和根尖数显著低于无磷处理。

与不加糖处理相比(表 1),外源蔗糖处理显著降低了磷高效大豆低磷处理下的总根长,对根表面积、根体积以及平均根直径等性状影响较小;而外源蔗糖处理使磷低效大豆根系形态特性变化较大,与不加糖处理相比磷低效大豆在低磷处理和正常磷处理下的总根长分别下降了 38.0% 和 17.5%,差异均达到显著水平。且在低磷处理下的根表面积、根体积和根尖数也显著降低。外源蔗糖对磷高效大豆的根系形态特性指标影响较小,但对磷低效大豆的根系形态特性指标影响较大,在低磷处理下的

总根长、根表面积、根体积以及根尖数均显著下降。从表 2 的平均值的比较来看,整体上添加外源蔗糖不会影响原本两类型大豆的根系粗细程度,但加大了两类型大豆根尖数的差异,由原来未加蔗糖处理时的高于磷低效大豆(T3)的 28.5%,变为添加蔗糖后升高至 88.9%。且添加蔗糖后对磷低效大豆的总根长、根表面积、根体积以及根尖数均显著下降,分别下降 20.7%、23.4%、25.8% 和 12.1%。说明蔗糖对不同类型大豆根系形态的低磷代谢影响方式不同,且影响的效果和磷胁迫浓度亦有关。

表 1 蔗糖和磷素对不同磷效率型大豆根系形态性状指标的影响

Table 1 Effect of sucrose and P on root morphology of different P efficient soybeans										
处理 Treatment	总根长		根表面积		平均根直径		根体积		根尖数	
	Total root length		Total root surface		Root diameter		Total root volume		Root tips	
	/cm		area/cm ²		/mm		/cm ³			
	L13	T3	L13	T3	L13	T3	L13	T3	L13	T3
S0P0	335.3 a	214.2 ab	53.0 ab	40.8 ab	0.51 a	0.61 a	0.67 ab	0.62 ab	284.3 a	211.3 abc
S0P1	313.2 b	238.6 a	45.5 bc	46.7 a	0.50 a	0.62 a	0.53 b	0.73 a	286.0 a	227.7 ab
S0P2	284.6 c	220.5 ab	43.7 c	41.7 ab	0.46 a	0.60 a	0.54 ab	0.63 ab	273.7 a	217.7 abc
S1P0	351.5 a	204.1 bc	57.1 a	35.2 bc	0.52 a	0.55 a	0.74 a	0.49 b	408.7 a	270.3 a
S1P1	284.9 c	148.0 d	44.7 bc	28.7 c	0.50 a	0.61 a	0.56 ab	0.44 b	331.7 a	133.3 c
S1P2	287.9 c	181.9 c	46.5 bc	35.1 bc	0.51 a	0.61 a	0.60 ab	0.54 ab	350.3 a	174.0 bc

同列不同小写字母表示 5% 水平下差异显著。下同。
Different lowercases in the same column represent significant difference at 5% level. The same as below.

表 2 不同蔗糖处理下不同磷效率大豆根系形态性状的比较

Table 2 Comparison of root morphology of different P efficient soybeans under different sucrose levels						
处理 Treatment	总根长		根表面积		根直径	
	Total root length		Total root surface		Root diameter	
	/cm		/cm ²		/mm	
L13	S0 平均	311.0 a	47.4 ab	0.49 b	0.58 ab	281.3 ab
	Mean of S0					
	S1 平均	308.1 a	49.4 a	0.51 b	0.63 a	363.6 a
	Mean of S1					
T3	S0 平均	224.4 b	43.1 b	0.61 a	0.66 a	218.9 b
	Mean of S0					
	S1 平均	178.0 c	33.0 c	0.59 a	0.49 b	192.5 c
	Mean of S1					

总根长和根表面积作为主要根系形态指标,在品种间、蔗糖处理和磷处理间存在显著差异($P < 0.05$),其中总根长差异均达到极显著水平($P < 0.0001$)。总根长在蔗糖×磷、蔗糖×品种和磷×

品种处理组合中存在互作效应且差异达到极显著($P < 0.01$);而根表面积在蔗糖×品种和磷×品种处理组合中存在互作效应差异显著($P < 0.05$),其它的互作效应不显著(表 3)。

表 3 不同处理下主要根系性状的方差分析

Table 3 Variance analysis of root morphology of different P efficient soybeans

变异来源	总根长	根表面积	根直径	根体积	根尖数
Source of variation	Total root length	Total root surface	Root diameter	Total root volume	Root tips
C	<0.0001	0.016	0.851	0.136	0.238
S	<0.0001	0.022	0.811	0.305	0.205
P	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.413	<0.0001
S×P	<0.0001	0.066	0.464	0.403	0.137
S×C	<0.0001	0.001	0.134	0.004	0.027
P×C	0.002	0.021	0.214	0.085	0.923
S×P×C	0.334	0.522	0.654	0.623	0.793

2.2 蔗糖对不同磷效率大豆物质积累的影响

对于磷高效大豆(L13)的植株内蔗糖含量,在有蔗糖条件下均未改变正常磷处理高于其它磷水平处理的趋势,并且在加糖处理后差异达到显著水平;而磷低效大豆(T3)在加糖后,最大值由无糖条件下的低磷处理转变为加糖后的无磷处理,且无磷处理显著高于正常磷处理(表4)。增加蔗糖和 不加糖处理相比,两类型大豆植株内蔗糖含量均显著增加,但未受不同磷水平胁迫的影响,其中磷高效大豆(L13)增加了15.5%,差异达显著水平;磷低效大豆(T3)增加了18.4%,差异达显著水平(表5)。结果表明:磷高效大豆(L13)的蔗糖含量主要受到外源蔗糖的影响;而磷低效大豆(T3)则是在加糖处理后,受到磷水平影响显著,促进该品种在磷胁迫条件下的蔗糖含量增加。

对于两品种地上部磷积累量,在不加糖处理时均在正常磷处理下达到最大值;而在加入蔗糖后,两品种最大值转变为低磷处理。增加蔗糖后,和不加糖处理相比,两类型大豆的地上部磷素平均积累量差异显著,在不加糖处理时磷高效大豆(L13)地

上部磷素积累量显著比磷低效大豆(T3)低50.7%(表4)。而在加糖后两者之间差异降低为40.3%,但品种间差异仍达到显著水平(表5)。结果表明:两品种的地上部磷积累在加入蔗糖后,对低磷处理下的磷积累有促进作用,品种间则表现出磷低效大豆(T3)地上部磷积累在有无蔗糖的施加处理下,均显著高于磷高效大豆(L13)。

增加蔗糖处理后,和不加糖处理相比,两类型大豆根系磷素积累量均有所增加,其中磷低效大豆(T3)显著增加31.7%。磷高效大豆(L13)根系磷积累量加糖后在正常磷处理增加29.3%,但差异未达到显著水平;磷低效大豆(T3)根系磷素积累量分别增加30.7%、15.3%和51.4%,差异均达显著水平(表4)。外源蔗糖对两类型大豆正常磷处理下的根系磷素积累量增加最多,均达到显著水平(表5)。结果表明:蔗糖处理对磷低效大豆根系磷积累量增加的影响更为明显,但磷高效大豆(L13)的根系磷积累量,在有无蔗糖施加的条件下均高于磷低效大豆(T3)的根系磷积累量。

表 4 蔗糖和磷素对不同磷效率大豆植株养分积累的影响

Table 4 Effect of sucrose and P on nutrient accumulation of different P efficient soybeans

(mg)

处理 Treatment	蔗糖含量 Sucrose content		地上部磷积累量 Phosphorus accumulation in shoot		根系磷积累量 Phosphorus accumulation in root	
	L13	T3	L13	T3	L13	T3
SOP0	0.609 d	0.474 d	0.181 b	0.282 b	0.161 a	0.101 f
SOP1	0.593 e	0.510 c	0.206 ab	0.297 ab	0.155 a	0.118 d
SOP2	0.622 d	0.479 d	0.210 ab	0.320 a	0.140 a	0.109 e
S1P0	0.681 c	0.601 a	0.188 b	0.250 c	0.149 a	0.132 c
S1P1	0.698 b	0.577 ab	0.194 ab	0.308 bc	0.159 a	0.136 b
S1P2	0.727 a	0.554 b	0.228 a	0.297 bc	0.181 a	0.165 a

表 5 不同蔗糖处理下不同磷效率基因型大豆植株养分积累比较

Table 5 Comparison of nutrient content of different P efficient soybeans under different sucrose levels (mg)

处理 Treatment		蔗糖含量 Sucrose content	地上部磷积累量 Phosphorus accumulation in shoot	根系磷积累量 Phosphorus accumulation in root
L13	S0 平均 Mean of S0	0.6081 b	0.1989 b	0.1519 a
	S1 平均 Mean of S1	0.7021 a	0.2032 b	0.1629 a
T3	S0 平均 Mean of S0	0.4876 d	0.2997 a	0.1093 b
	S1 平均 Mean of S1	0.5775 c	0.2850 a	0.1440 a

2.3 蔗糖对不同磷效率大豆生物量的影响

对磷高效大豆(L13)的整株干重而言,该品种未受到不同磷水平处理的影响;而磷低效大豆(T3)则是在加糖处理后,无磷处理和低磷处理下显著高于正常磷处理(表6)。增加蔗糖处理和不加糖处理相比,两类型大豆整株干重均显著增加(表7)。磷高效大豆(L13)分别增加10.8%、15.4%和10.3%,差异均达显著水平;磷低效大豆(T3)分别增加22.0%、11.2%和12.9%,差异均达显著水平(表6)。结果表明:磷高效大豆(L13)整株干重的增加主要受到蔗糖处理的影响;而磷低效大豆(T3)在加糖处理后,显著提高了在磷胁迫条件下的整株干重的积累,增强了该品种对磷胁迫的适应性。

对于磷高效大豆(L13)的根干重而言,在不加糖处理下,无磷处理显著高于其它磷水平处理,而加糖后无磷处理和低磷处理均显著高于正常磷处理;对于磷低效大豆(T3)而言,有无蔗糖的施加无磷处理和低磷处理均显著高于正常磷处理(表6)。增加蔗糖处理后,和不加糖处理相比,两类型大豆

根系干重均显著增加,磷高效大豆(L13)根干重分别增加了26.2%、33.8%和17.1%,差异均达显著水平;磷低效大豆(T3)分别增加了60.3%、36%和57.8%,差异均达显著水平(表7)。结果表明:蔗糖的施加对两类型大豆在磷胁迫时根干重的增加起到促进作用,增强两品种对磷胁迫适应性。

对于两类型大豆的根冠比而言,无论有无蔗糖的施加,无磷处理均显著高于常磷处理和低磷处理(表6)。和不加糖处理相比,增加蔗糖处理后,两类型大豆根冠比均显著增加,其中磷低效大豆(T3)根冠比增加幅度更大(表7)。磷高效大豆(L13)的根冠比分别增加了21.8%、27.9%和9.5%,差异均达显著水平;磷低效大豆分别增加了48.7%、33.3%和60.0%,差异均达显著水平(表7)。结果表明:两类型大豆在受到磷胁迫时会促进根系生物量的积累,以增大根冠比,优先发展根系,促进其在无磷胁迫条件下的适应性;而加入蔗糖后,进一步增大了两类型大豆在无磷胁迫下的根冠比,加强在磷胁迫条件下的适应性表现。

表 6 蔗糖和磷素对不同磷效率大豆植株生物量的影响

Table 6 Effect of sucrose and P on biomass of different P efficient soybeans

处理 Treatment	整株干重 Whole plant dry weight/μg		根干重 Root dry weight/μg		根冠比 Root/shoot ratio	
	L13	T3	L13	T3	L13	T3
S0P0	158.9 b	127.0 d	50.4 c	35.5 e	0.46 c	0.39 d
S0P1	157.5 b	135.5 c	47.7 d	39.7 d	0.43 d	0.42 c
S0P2	160.0 b	127.2 d	47.5 d	32.7 f	0.42 e	0.35 e
S1P0	176.1 a	154.9 a	63.6 a	56.9 a	0.56 a	0.58 a
S1P1	180.3 a	150.7 a	63.8 a	54.0 b	0.55 b	0.56 b
S1P2	176.4 a	143.8 b	55.6 b	51.6 c	0.46 c	0.56 b

表 7 不同蔗糖处理下不同磷效率大豆植株生物量的比较

Table 7 Comparison on biomass of different P efficient soybeans under different sucrose levels

处理		整株干重	根干重	根冠比
Treatment		Whole plant dry weight/ μg	Root dry weight/ μg	Root/shoot ratio
L13	S0 平均 Mean of S0	0.1588 b	0.0485 c	0.4402 a
	S1 平均 Mean of S1	0.1776 a	0.0610 a	0.5243 b
T3	S0 平均 Mean of S0	0.1299 d	0.0360 d	0.3829 d
	S1 平均 Mean of S1	0.1498 c	0.0542 b	0.5658 c

3 讨 论

土壤缺磷是影响大豆生产的重要障碍因子之一^[14-15]。而在低磷条件下植物根系通过形态学的变化如根的长度和粗细、根毛和侧根的数量和密度等来扩大根系与土壤磷的接触面积,以提高植物对磷的吸收效率^[16]。蔗糖是植物可溶性糖中最主要的糖,也是植物体内碳水化合物贮存和运输的主要形式,还是协调植物源库关系的信号分子,能够参与作物逆境胁迫响应^[17-20]。大豆植株营养器官中叶部和根部的蔗糖含量较高,是合成和贮藏蔗糖的主要部位^[21]。张彦丽等^[22]认为,低磷胁迫时,根长、根表面积与根生物量会影响植物的磷效率,而根直径对磷效率的影响较小。根长、根表面积可以作为大豆磷效率筛选的重要指标,而根生物量可作为辅助筛选指标。本结果表明,从根系形态主要指标来看,蔗糖处理对磷高效大豆(L13)根系影响较小;但显著降低了磷低效大豆(T3)的总根长、根表面积和根尖数,蔗糖抑制了磷胁迫下的磷低效大豆(T3)根系形态的扩张。对于低磷胁迫的响应,不同类型大豆的响应机制不同,因此蔗糖对其影响的效果也不同。蔗糖处理后两类型大豆的蔗糖含量均出现显著的增加,但不同磷水平处理下未发生显著变化,蔗糖含量的增加与蔗糖处理有直接关系,与是否处在不同的磷水平条件下无明显相关性。添加蔗糖后,不同磷水平处理下磷高效大豆(L13)地上部磷积累量仍在正常磷处理下达到最大值,而根系磷积累量平均值在加糖后有所增加但不显著;磷低效大豆(T3)地上部磷积累量在添加蔗糖处理后变化不明显,但根系磷积累量则显著增加。由此表明,蔗糖可通过某种途径促进根系磷素积累,但影响两类型大豆响应低磷胁迫的方式不尽相同。

研究表明植物在缺磷条件下根系生长量的变化与碳水化合的分配有着必然的联系^[23]。在缺磷胁迫初期,受缺磷信号诱导,同化产物向根系转运量增加,已有报道,玉米、大豆、小麦等在缺磷胁迫

早期有更多的碳水化合物向根系运输,使根冠比增加^[24]。本结果表明,蔗糖处理均显著增加磷高效大豆(L13)和磷低效大豆(T3)的整株干重的和根系干物重,其中根系干物重增大幅度较大,以此促进两品种大豆在加糖处理后根冠比的显著增加。说明大豆缺磷条件下蔗糖能促进其生长、提高其磷素的吸收利用,但蔗糖在不同类型大豆中对磷胁迫的响应的影响方式不同,途径也有所不同,进一步的机理有待于证明。

4 结 论

本研究以不同浓度的磷、糖培养液在种子袋中处理磷高效大豆(L13)和磷低效大豆(T3)品种幼苗,在可控的蔗糖和磷处理环境下,研究外源施加蔗糖对大豆磷缺乏反应的影响。试验的初步结论为:增加大豆幼苗的根部的糖供应,促进大豆幼苗优先供给根部,促进根部在低磷胁迫条件下的优先重建,主要体现在增加植株根系干重以及整株干重的增加,增强根系对于低磷胁迫耐受性,外源施加蔗糖会保持磷高效大豆(L13)在磷胁迫条件下的根系形态的适应性变化;外源蔗糖对磷低效大豆(T3)的影响比较大,使其总根长、根表面积等指标均显著下降。在调节植物对磷的反应过程中,蔗糖不仅作为代谢物质,同时也是调控因子。施加蔗糖能够促进不同类型大豆幼苗植株的蔗糖积累,并促进了大豆根系磷积累量。借助这种可控的糖、磷空间得出的结论有助于今后生产上育种的定向选择,以及进一步通过分子手段调控大豆幼苗蔗糖运输、源库分配,提高大豆的耐受性。但目前对于蔗糖对低磷胁迫反应的调节机制并未明了,其中代谢途径、低磷胁迫的调节模型也并未建立、尚需进行大量验证试验。

参考文献

[1] 敖雪,谢甫绶,张惠君,等. 磷素处理对不同磷效率基因型大

- 豆根系性状的影响[J]. 大豆科学,2008,27(5):787-791. (Ao X, Xie F T, Zhang H J, et al. Effect of phosphorus on root traits of soybean cultivars with different phosphorus efficiencies[J]. Soybean Science,2008,27(5):787-791.)
- [2] Tara S, Niels E N. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties[J]. Plant and Soil, 2004,260:47-57.
- [3] Laurence L, Judith W, Marjorie P, et al. Oxidative pentose phosphate pathway-dependent sugar sensing as a mechanism for regulation of root ion transporters by photosynthesis[J]. Plant Physiology, 2008, 146(4): 2036-2053.
- [4] Hammond J P, White P J. Sucrose transport in the phloem: Integrating root responses to phosphorus starvation[J]. Journal of Experimental Botany, 2008, 59(1): 93-95.
- [5] 曹敏建, 佟占昌, 韩明祺, 等. 磷高效利用的大豆遗传资源的筛选与评价[J]. 作物杂志, 2001(4):22-24. (Cao M J, Tong Z C, Han M Q, et al. Screening and evaluation of soybean genetic resources with high phosphorus efficiency[J]. Crops, 2001(4): 22-24.)
- [6] 曹爱琴, 严小龙. 不同供磷条件下大豆根构型的适应性变化[J]. 华南农业大学学报, 2000,22(1):92. (Cao A Q, Yan X L. Adaptation of soybean root architecture under different P conditions[J]. Journal of South China Agricultural University, 2000,22(1):92.)
- [7] Junqi L, Deborah A S, Bruna B, et al. Signaling of phosphorus deficiency-induced gene expression in white lupin requires sugar and phloem transport[J]. The Plant Journal, 2005, 41(2): 257-268.
- [8] Lei M G, Liu Y D, Zhang B C, et al. Genetic and genomic evidence that sucrose is a global regulator of plant responses to phosphate starvation in *Arabidopsis*[J]. Plant Physiology, 2011, 156(3): 1116-1130.
- [9] Zhou K Q, Masumi Y, Mitsuru O, et al. Sugar signalling mediates cluster root formation and phosphorus starvation-induced gene expression in white lupin[J]. Journal of Experimental Botany, 2008, 59(10): 2749-2756.
- [10] 苏军, 张武君, 杜琳, 等. 磷胁迫下蔗糖对水稻苗期适应性和磷酸转运蛋白基因表达的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(11): 1334-1340. (Su J, Zhang W J, Du L, et al. Effects of sucrose on rice root adaptability and phosphate transporter gene expression under phosphorus stress[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(11): 1334-1340.)
- [11] 吴俊江, 钟鹏, 刘丽君, 等. 不同大豆基因型耐低磷能力的评价[J]. 大豆科学, 2008,27(6):983-987. (Wu J J, Zhong P, Liu L J, et al. Evaluation on the low phosphorous tolerance of different soybean genotypes[J]. Soybean Science, 2008,27(6): 983-987.)
- [12] 李志刚, 谢甫绶, 宋书宏. 大豆高效利用磷素基因型的筛选[J]. 中国农学通报, 2004, 20(5): 126-129. (Li Z G, Xie F T, Song S H. The selection of high phosphorus using efficient soybean genotype[J]. Chinese Agriculture Science Bulletin, 2004, 20(5):126-129.)
- [13] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005:128-129. (Zhang Z L. Experimental guidance of plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005:128-129.)
- [14] 徐青萍, 罗超云, 廖红, 等. 大豆不同品种对磷胁迫反应的研究[J]. 大豆科学, 2003,22(2): 108-114. (Xu Q P, Luo C Y, Liao H, et al. Study on the response of soybean varieties to P deficiency[J]. Soybean Science, 2003,22(2): 108-114.)
- [15] 李庆逵. 现代磷肥研究的进展[J]. 土壤学进展, 1986(2): 1-7. (Li Q K. Progress in the research of modern phosphate fertilizer[J]. Progress in Soil Science, 1986(2): 1-7.)
- [16] 庞欣, 李春俭, 张福锁. 部分根系供磷对小麦幼苗生长及同化物分配的影响[J]. 作物学报, 2006,32(6):719-724. (Pang X, Li C J, Zhang F S. Effect of partial-root supply of P nutrient on the growth and assimilate distribution of wheat seedlings[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006,32(6):719-724.)
- [17] Mohammad R B M, Wim V E. Sugars and plant innate immunity[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(11):3989-3998.
- [18] Laurence L, Xavier G, Miguel C, et al. Regulation of root ion transporters by photosynthesis: Functional importance and relation with hexokinase[J]. The Plant Cell, 2003, 15(9):2218-2232.
- [19] Athikattuvalu S K, Deepa K V, Ajay J, et al. Phosphate starvation responses are mediated by sugar signaling in *Arabidopsis*[J]. Planta, 2007, 225(4): 907-918.
- [20] 马春梅, 郭海龙, 龚振平, 等. 不同基因型大豆糖分积累规律的研究—(II)蔗糖含量积累规律研究[J]. 作物杂志, 2011(1):25-29. (Ma C M, Guo H L, Gong Z P, et al. Sugar accumulation in soybean among different genotypes—(II) Study on the accumulation rule of sucrose content[J]. Crops, 2011(1):25-29.)
- [21] 马春梅, 郭海龙, 龚振平, 等. 不同基因型大豆糖分积累规律的研究(I)—可溶性总糖含量积累规律的研究[J]. 作物杂志, 2010(4):65-69. (Ma C M, Guo H L, Gong Z P, et al. Sugar accumulation among different soybean genotype (I) —Accumulation of total soluble sugar content[J]. Crops, 2010(4):65-69.)
- [22] 张彦丽. 不同磷效率大豆基因型根形态构型对低磷胁迫的响应[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 182-185. (Zhang Y L. Response of low-phosphorus stress on root morphology and architecture of soybean genotype with different phosphorus efficiency[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(14): 182-185.)
- [23] Zhu Y Y, Yan F, Christian Z, et al. A link between citrate and proton release by proteoid roots of White Lupin (*Lupinus albus* L.) grown under phosphorus-deficient conditions[J]. Plant and Cell Physiology, 2005, 46(6): 892-901.
- [24] 李锋, 潘晓华. 植物适应缺磷胁迫的根系形态及生理特征研究进展[J]. 中国农学通报, 2002, 18(5): 65-69. (Li F, Pan X H. The research development of morphological and physiological characteristics of plant root system under phosphorus deficiency[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 18(5): 65-69.)