

对氨基苯甲酸在拟南芥根生长发育中 对生长素运输的调控

胡 鑫,陶 懿,宋思扬*

(厦门大学生命科学学院,福建 厦门 361102)

摘要:为探究对氨基苯甲酸(PABA)影响拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)根部生长发育的作用机制,以野生型和 *DR5::GUS*转基因拟南芥为实验材料,研究了 PABA 外源处理对根系形态结构和生长素运输的影响.结果表明:200 $\mu\text{mol/L}$ PABA 可以明显抑制拟南芥幼苗主根生长并促进侧根和根毛的发育.PABA 可增强生长素类似物 2,4-D 对幼苗主根生长的抑制作用和对根毛伸长的促进作用;相反,PABA 可在一定程度上减弱生长素运输抑制剂 NPA 对幼苗主根和根毛生长发育的抑制作用.此外,PABA 可诱导拟南芥根尖生长素的积累以及生长素极性运输相关基因 *PIN1*、*PIN3* 和 *AUX1* 的表达.综上所述,PABA 可调节根部生长素运输和分布,在拟南芥根生长发育过程中起重要作用.

关键词:对氨基苯甲酸;根;生长素;拟南芥

中图分类号:Q 945.4

文献标志码:A

文章编号:0438-0479(2019)05-0712-07

植物体内苯甲酸及其衍生物大多起源于莽草酸代谢途径,是众多次生代谢产物的重要组成部分,特别是植物激素、水杨酸、类黄酮等.这类化合物通常具有特殊的生物活性,参与植物的各种生理过程^[1].对氨基苯甲酸(para-amino benzoic acid, PABA)是苯甲酸(benzoic acid, BA)苯环上的对位(4-位)被氨基取代后形成的化合物,主要由一些细菌、酵母和植物合成,有时也被称为细菌维生素 H1 或 B_x. PABA 是合成叶酸的前体,而叶酸是几乎所有生物体内一碳单位的重要受体和供体,参与嘌呤、嘧啶及氨基酸代谢过程,可以促进 DNA、RNA 及各种蛋白质合成,在细胞生长、分化、修复和宿主抵御等方面起着尤为重要的作用^[2]. Crisan 等^[3]的报道显示 PABA 可以抑制拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)初生根的生长,但具体的作用机制尚不清楚.

植物根的生长过程受到许多内外因素的调节,其中生长素对植物根的生长发育有着至关重要的作用^[4],它通过调控细胞的分裂和伸长影响根的生长发育^[5].生长素浓度梯度决定了根部组织的发育命运,

这一梯度由生长素的极性运输来维持^[6-7].已有研究表明在锰^[8]、磷^[9]、紫外光(UV-B)^[10]等非生物胁迫条件下,植物通过调控生长素的合成和运输来调节根的生长发育,然而 PABA 影响根生长发育的作用机制与生长素是否存在关联目前还没有相关报道.本研究通过分析 PABA 影响拟南芥根生长发育的表型特征及其与生长素运输和分布的关系,以期初步揭示 PABA 在拟南芥根生长发育中的作用机制.

1 材料和方法

1.1 植物材料和培养条件

野生型拟南芥(Col-1 生态型)种子由陶懿实验室提供;*DR5::GUS*转基因拟南芥含有生长素响应元件 AuxREs 重复序列 *DR5* 与 β -葡萄糖苷酸酶 *GUS* 基因重组而成的报告基因,常用于标记植物内源生长素的含量及分布,由胡向阳实验室提供.将拟南芥种子放入无菌离心管中,加入含有 0.05%(体积分数) Triton X-100 的 70%(体积分数,下同)乙醇溶液处理 5~

收稿日期:2019-04-26 录用日期:2019-07-10

基金项目:国家自然科学基金(30571259)

*通信作者:syong@xmu.edu.cn

引文格式:胡鑫,陶懿,宋思扬.对氨基苯甲酸在拟南芥根生长发育中对生长素运输的调控[J].厦门大学学报(自然科学版),2019,58(5):712-718.

Citation: HU X, TAO Y, SONG S Y. Modulation of auxin transport by para-amino benzoic acid in *Arabidopsis* root growth and development[J]. J Xiamen Univ Nat Sci, 2019, 58(5): 712-718. (in Chinese)



<http://jxmu.xmu.edu.cn>

10 min, 吸去溶液; 在超净工作台(SW-CJ, 苏净安泰公司)内加入 70%乙醇处理 5~10 min, 吸去溶液后加入无菌的 0.1% (质量分数) 琼脂(BBI 公司)溶液悬浮种子. 将通过上述方法灭菌处理的种子转移到含有不同浓度 PABA 或者不同化合物组合的 1/2 MS 培养基(配方为 0.22% (质量分数) MS 基础培养基(Duchefa 公司)、3% (质量分数) 蔗糖、0.8% (质量分数) 琼脂, pH 5.8)上, 培养基表面风干后用透气胶布封好培养皿, 置于 4 °C 冰箱中春化处理 2~3 d; 最后将培养皿垂直放入光照 16 h/黑暗 8 h(22 °C/18 °C)循环光照培养箱(GZP-360N, 上海森信公司).

1.2 拟南芥根部结构测量和分析

将生长 10 d 的拟南芥幼苗置于扫描仪(MFC-1813, Borthor 公司)下扫描, 使用 Scion Image 4.03 软件对图像进行主根长度测量; 使用体式显微镜(M205A, Leica 公司)观察拟南芥根系结构并拍照, 然后使用 Scion Image 4.03 软件对图像进行侧根和根毛长度测量. 每次实验最少测量 20 棵幼苗, 并计算相对根伸长抑制率(处理组根长/对照组根长 \times 100%).

1.3 DR5::GUS 拟南芥幼苗培养及 GUS 染色

将在 1/2 MS 培养基上生长了 5 d 的 DR5::GUS 拟南芥幼苗转移到含有不同浓度、不同类型激素的 1/2 MS 培养基上培养 6 h. 取下幼苗放入含 1 mL 90% (体积分数) 丙酮的离心管中, 置于摇床(THZ-110X, 万科公司)上室温固定 20 min, 吸去丙酮溶液. 用不含 5-溴-4-氯-3-吡啶葡萄糖苷(x-gluc, 索莱宝公司)的 GUS 染色液(配方为 200 μ L 10% (体积分数, 下同) Triton X-100、2.5 mL 0.2 mol/L 磷酸缓冲液(pH 7.2)、200 μ L 100 mol/L $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ 、200 μ L 100 mmol/L $K_3[Fe(CN)_6]$ 、6.5 mL ddH₂O, 现用现配)浸洗一次; 加入含有 50 mmol/L x-gluc 的 GUS 染色液, 于 37 °C 静止孵育 3 h. 染色完成后吸去 GUS 染色液, 加入 50%乙醇, 置于摇床上室温脱色 30 min; 吸去 50%乙醇, 再加入 75%乙醇继续脱色, 直至脱去叶绿素颜色. 脱色后用 50%乙醇水化 30 min, 再移至 25%乙醇水化 30 min. 吸去乙醇溶液, 加入 30% (体积分数) 丙三醇水溶液, 置于室温保存或直接拍照.

1.4 拟南芥总蛋白提取

将生长在 1/2 MS 培养基上的拟南芥幼苗分为地上(shoot)和地下(root)两部分分别放入无菌离心管中, 液氮速冻, 然后用研磨棒充分研磨成粉末. 及时加入适量的蛋白提取缓冲液(50 mmol/L 磷酸钠缓冲液(pH 7.0)、10 mmol/L 乙二胺四乙酸(EDTA)、

0.1% Triton X-100、0.1% (质量分数) 十二烷基肌氨酸钠、10 mmol/L β -巯基乙醇), 振荡混匀, 在冰上放置 30 min 左右, 4 °C, 10 000 g 离心 10 min, 取上清, 采用 Bradford 法^[11]测定蛋白浓度.

1.5 GUS 活性检测和分析

采用分光光度法检测 GUS 活性^[12]. 以对硝基苯基- β -D-葡萄糖醛酸苷(4-nitrophenyl- β -D-glucuronide)为底物, GUS 催化其水解生成对硝基苯酚(4-nitrophenol), 在 pH 7.0 时, 酶反应产物吸收波长为 415 nm, 溶液呈黄色, 且随着生成的产物增多, 显色增强. 取总蛋白溶液 100 μ L 加于 1 500 μ L GUS 反应液(50 mmol/L 磷酸钠缓冲液(pH 7.0)、1 mmol/L EDTA、0.1% Triton X-100、10 mmol/L β -巯基乙醇、1 mmol/L 对硝基苯基- β -D-葡萄糖醛酸苷)中. 分别在反应 0, 1.5, 3 和 6 h 时吸取 200 μ L 到提前加有 100 μ L GUS 反应终止液(0.2 mmol/L Na_2CO_3)的离心管中. 通过紫外分光光度计(UV-2450, 岛津公司)测定不同反应时间的样品在 415 nm 下的吸光度, 根据对硝基苯酚标准曲线计算其含量. 一个酶活力单位定义为每分钟水解对硝基苯基- β -D-葡萄糖醛酸苷生成 1 mg 对硝基苯酚的酶量, 按此计算各样品中的 GUS 活力.

1.6 实时荧光定量 PCR(qRT-PCR)检测

使用 RNAPrep Pure 植物总 RNA 提取试剂盒(天根生化科技有限公司)从约 100 mg 拟南芥根部材料中提取总 RNA. 经过 DNA 酶消化后逆转录合成第一链 cDNA, 并用超纯水将其稀释 25 倍作为 qRT-PCR 模板. 以 18S RNA 为内参基因, 目的基因为生长素极性运输载体基因 PIN1(ATIG73590)、PIN3(ATIG70940)和 AUX1(AT2G38120), 所用特异性引物见表 1. 采用 Talent 荧光定量检测试剂盒(SYBR Green, 天根生化科技有限公司)建立 qRT-PCR 反应体系: 10 μ L 2 \times Talent qPCR PreMix, 0.6 μ L 正向引物(10 μ mol/L), 0.6 μ L 反向引物(10 μ mol/L), 1 μ L cDNA 模板, 0.4 μ L 50 \times ROX Reference Dye, 7.4 μ L RNase-free ddH₂O. 使用 qRT-PCR 仪(ABI 7500, 美国应用生物公司)设定 PCR 程序为: 预变性 95 °C 3 min; 变性 95 °C 5 s, 退火/延伸 60 °C 15 s, 共 40 个循环; 最后进行溶解曲线分析.

1.7 数据处理与统计分析

数据采用 Microsoft Excel 2008 软件处理. 实验重复 3 次, 用 SPSS 16.0 软件中 Duncan's multiple range test 分析数据间差异, $p < 0.05$ 表示有显著性差异.

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

表 1 qRT-PCR 所采用的引物
Tab. 1 Primers used for qRT-PCR

基因	引物序列(5'→3')
<i>PIN1</i>	正向:TACTCCGAGACCTTCCAACACTACG 反向:TCCACCGCCACCACTTCC
<i>PIN3</i>	正向:GCGTCAATAAAAACCCGAAA 反向:GGCGTCTTTTGGTCTCTCTG
<i>AUX1</i>	正向:CCGAGCTGGACGGCGATGTACG 反向:CATGTGCGGCGGCTGCAGCT
<i>18S RNA</i>	正向:TGCAACAAACCCGACTTATG 反向:CCGCGTTCGACCTTTTATC

2 结果和分析

2.1 PABA 对拟南芥根系生长发育的影响

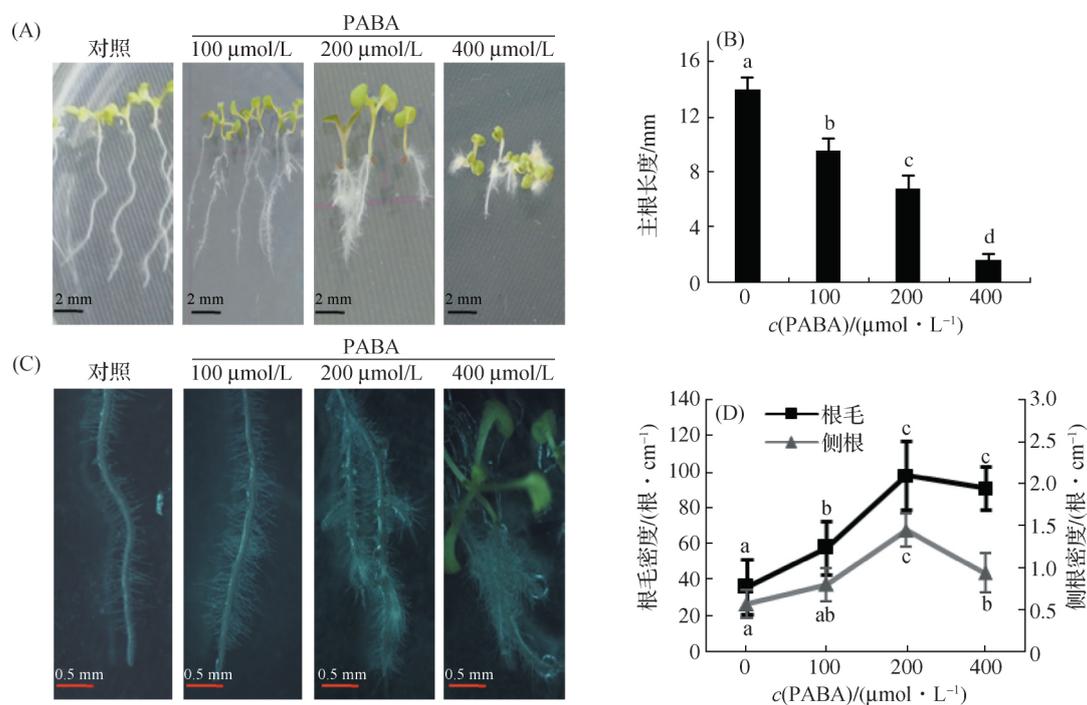
在含有不同浓度 PABA 的 1/2 MS 培养基上观察拟南芥主根生长情况,结果显示(图 1(A)和(B));和对照相比,含有 100 μmol/L PABA 的 1/2 MS 培养基上的幼苗主根显著缩短($p < 0.05$),呈现出一定程度的生长抑制现象;含有 200 μmol/L PABA 的 1/2 MS

培养基上的幼苗主根长度进一步变短,伸长抑制率为 48.2%;含有 400 μmol/L PABA 的 1/2 MS 培养基上的幼苗主根生长基本停滞.上述结果说明外源施加 PABA 可以抑制拟南芥主根的生长,且在一定范围内呈现浓度依赖效应,随着 PABA 浓度的升高,对主根生长的抑制作用显著增强($p < 0.05$).

与此同时,观察 PABA 处理后拟南芥幼苗侧根和根毛的生长发育情况,结果显示(图 1(C)和(D));在 100 和 200 μmol/L PABA 培养条件下,侧根和根毛密度(即单位主根长度上的数量,根/cm)均随 PABA 浓度升高而增大,且在 200 μmol/L PABA 培养条件下侧根和根毛密度均最大,分别达到对照的 2.54 倍和 2.72 倍;在 400 μmol/L PABA 培养条件下,根毛密度略有减小,侧根密度显著减小,但均显著大于对照($p < 0.05$).上述结果表明 PABA 在抑制主根生长的同时,还在一定浓度范围内促进侧根和根毛的生长发育.

2.2 PABA 和生长素相互作用对拟南芥根系生长发育的影响

PABA 处理和生长素处理可使拟南芥根系呈现相似的表型变化.为了研究拟南芥根系生长发育过程中



(A) 幼苗根系结构形态; (B) 主根长度; (C) 根毛和侧根形态; (D) 根毛和侧根密度. 不同小写字母表示组间差异显著 ($p < 0.05$).

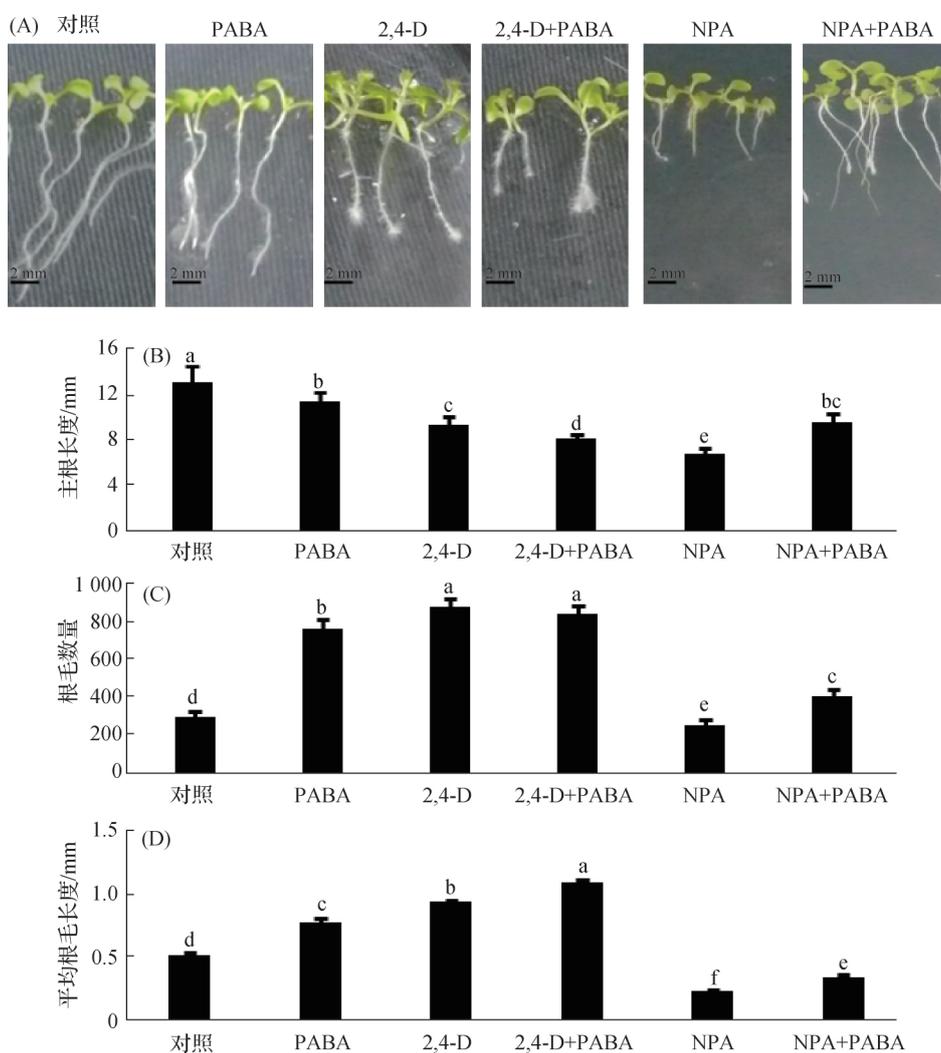
图 1 PABA 对拟南芥幼苗根系生长发育的影响

Fig. 1 Effects of PABA on root growth and development of *Arabidopsis* seedlings

PABA 和生长素的关系,分析 PABA 结合生长素类似物 2,4-D 和生长素运输抑制剂 1-naphthylphthalamic acid(NPA) 对拟南芥根系生长发育的影响,选择 PABA 处理浓度为 100 $\mu\text{mol/L}$,2,4-D 处理浓度为 0.05 $\mu\text{mol/L}$,NPA 处理浓度为 2.5 $\mu\text{mol/L}$ (拟南芥幼苗在该浓度下可以生长并且根系呈现出明显的表型变化)。如图 2(A)和(B)所示:在 PABA、2,4-D 和 NPA 单独处理下,幼苗主根生长均受到显著抑制($p < 0.05$),同时添加 PABA 和 2,4-D 会导致主根长度进一步缩短($p < 0.05$);但在 NPA 和 PABA 共同处理下,PABA 并没有进一步增强 NPA 对主根生长的抑制作用,反而会一定程度上减弱 NPA 对主根生长的抑

制作用($p < 0.05$)。

与此同时,统计分析不同处理下拟南芥根毛的生长发育情况,如图 2(C)和(D)所示:和对照相比,在 PABA 和 2,4-D 单独处理下根毛数量和平均根毛长度均显著增加($p < 0.05$);相反地,NPA 单独处理下根毛数量显著减少,平均根毛长度也显著变短($p < 0.05$)。2,4-D 单独处理组的根毛数量与 2,4-D 和 PABA 共同处理组的根毛数量没有显著差异($p > 0.05$),但是前者平均根毛长度要显著小于后者($p < 0.05$)。与 NPA 单独处理组相比,NPA 和 PABA 共同处理组的根毛数量显著增多,平均根毛长度也显著增加($p < 0.05$)。



(A) 幼苗根系结构形态;(B) 主根长度;(C) 根毛数量;(D) 平均根毛长度。不同小写字母表示组间差异显著($p < 0.05$)。

图 2 PABA 与 2,4-D、NPA 共同处理对拟南芥幼苗根生长发育的影响

Fig. 2 Effects of co-treatments by PABA with 2,4-D and NPA on root growth and development of *Arabidopsis* seedlings

根毛长度分布如图 3 所示:对照组、PABA 处理组、2,4-D 处理组以及 2,4-D 和 PABA 共同处理组都

以平均值为中心呈典型的正态分布,根毛长度的主要分布区间分别为 0.30~0.70 mm,0.40~1.10 mm,

<http://jxmu.xmu.edu.cn>

0.50~1.30 mm 和 0.60~1.45 mm(图 3(A)~(D)); NPA 处理组根毛长度更倾向于分布在低于平均值的一侧,主要分布区间为 0.05~0.35 mm(图 3(E));而 NPA 和 PABA 共同处理组的根毛长度基本均匀分布

于 0.05~0.60 mm 区间(图 3(F)). 该结果表明 PABA 类似于 2,4-D 可以促进根毛的生长发育,并可以部分减弱 NPA 对根毛生长发育的抑制作用.

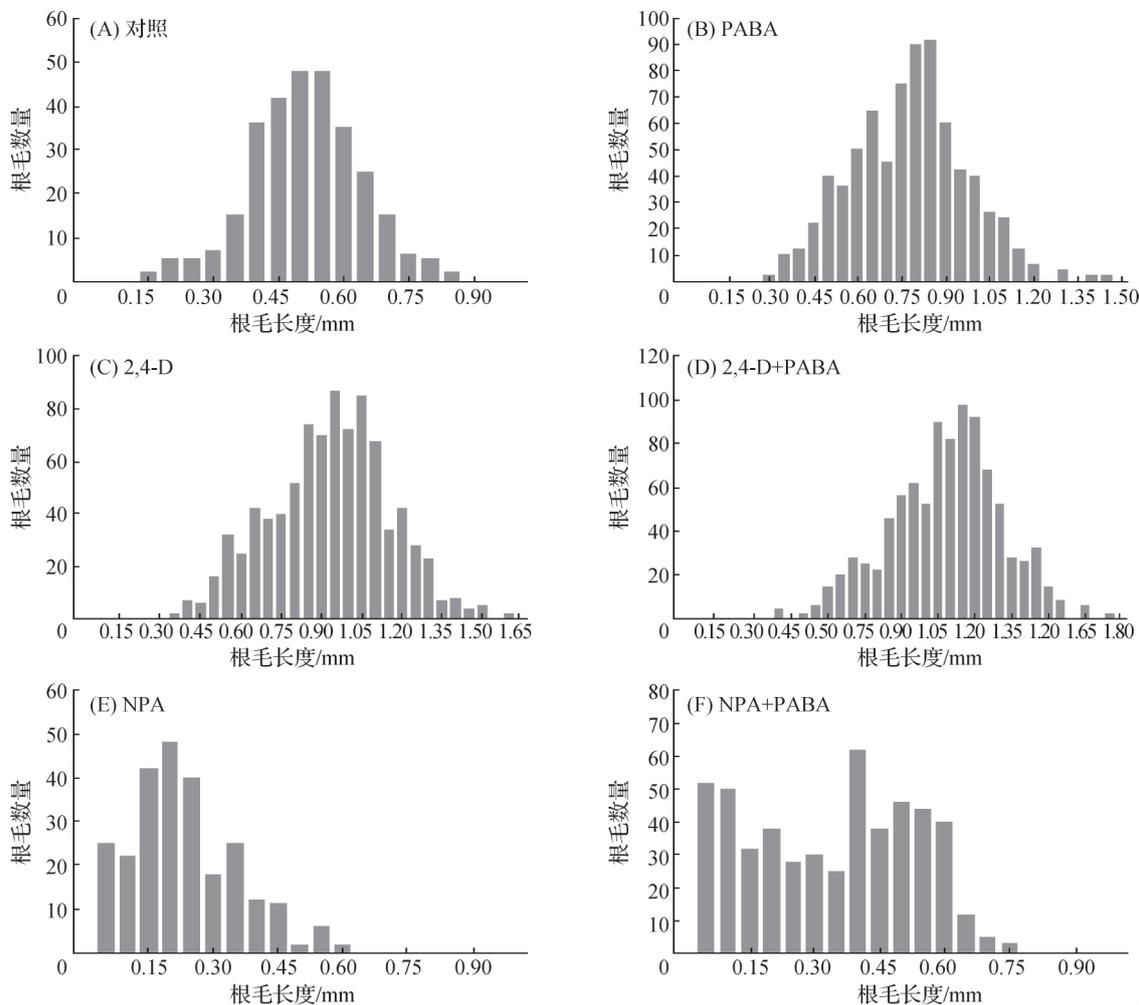


图 3 不同处理下拟南芥幼苗根毛长度分布

Fig. 3 Distributions of root hair lengths in *Arabidopsis* seedlings under different treatments

2.3 PABA 诱导拟南芥根尖生长素的积累

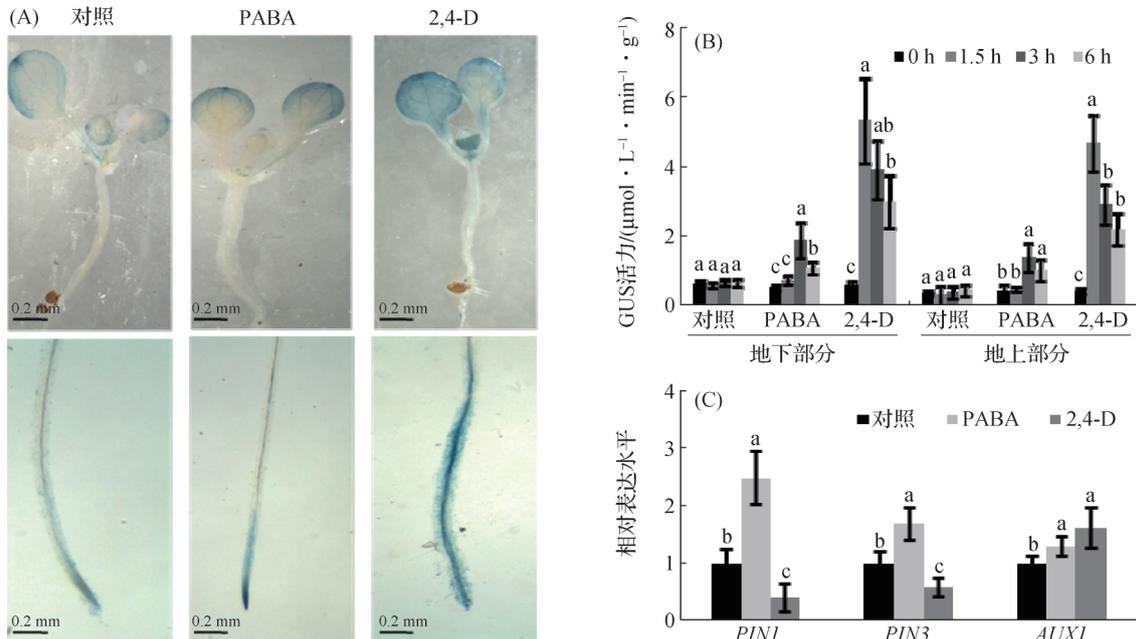
比较 PABA 和 2,4-D 处理下 *DR5::GUS* 在拟南芥幼苗地上和地下部分的表达情况. *GUS* 染色结果显示(图 4(A)):对照幼苗叶缘部位和叶柄均呈现清晰的 *GUS* 染色信号,在叶尖和叶柄基部显色明显,说明这些部位有生长素的分布,颜色越深代表生长素浓度越高;100 $\mu\text{mol/L}$ PABA 处理下,幼苗地上部分的 *GUS* 染色信号与对照相比差异不大;而 0.5 $\mu\text{mol/L}$ 2,4-D 处理显著增强了幼苗地上部分的 *GUS* 染色信号,整个叶片基本都呈现蓝色.在地下部分,*GUS* 染色信号显示对照组幼苗的生长素主要分布在根冠和根尖维管束;而在 100 $\mu\text{mol/L}$ PABA 处理组,生长素

在根尖浓度明显增加,在根部维管束分布范围也明显增大;在 2,4-D 处理组,幼苗根部则整体呈深蓝色.进而检测了不同处理时间下 *GUS* 活性的变化情况,结果如图 4(B)所示:PABA 处理 3 h 后 *GUS* 活力才显著提高 ($p < 0.05$),之后则有所下降;而在 0.5 $\mu\text{mol/L}$ 2,4-D 处理组中,*GUS* 活力在处理 1.5 h 后就达到最大值.上述结果表明 PABA 可以使幼苗的生长素浓度增加且分布范围扩大,尤其是在根尖部位.

通过 qRT-PCR 进一步分析 PABA 和 2,4-D 处理 3 h 的幼苗根中生长素运输相关基因的表达变化,结果如图 4(C)所示:和对照相比,PABA 处理后 *PIN1*、*PIN3* 和 *AUX1* 的表达水平均显著提高 ($p < 0.05$);而 2,4-D 处理后 *PIN1* 和 *PIN3* 的表达水平降低,

AUX1 的表达水平上升 ($p < 0.05$). 该结果表明 PABA 可显著诱导生长素运输基因 *PIN1*、*PIN3* 和

AUX1 的表达,其中 *PIN1*、*PIN3* 基因响应 PABA 和 2,4-D 两种胁迫的表达模式变化相反.



(A) *DR5::GUS* 转基因拟南芥幼苗的 GUS 染色信号; (B) 不同处理时间下的 GUS 活力变化,不同小写字母表示同一处理下不同时间差异显著 ($p < 0.05$); (C) 生长素极性运输载体基因 *PIN1*、*PIN3* 和 *AUX1* 的表达水平,不同小写字母表示同一基因不同处理下差异显著 ($p < 0.05$).

图 4 PABA 处理对拟南芥幼苗生长素分布和运输的影响

Fig. 4 Effects of PABA treatment on auxin distribution and transport in *Arabidopsis* seedlings

3 讨论

拟南芥中敲除 PABA 合酶基因会导致胚乳发育缺陷,无法得到纯合突变体植株^[13],因此该基因突变对植株生长发育的影响仍不清楚. 2014 年 Crisan 等^[3]首先报道了 PABA 可以抑制拟南芥初生根的生长,本研究结果显示 PABA 对初生根生长的抑制作用与之类似,此外还发现 PABA 可以促进幼苗侧根和根毛的生长发育. 已有研究表明生长素在促进拟南芥根毛生长过程中起着重要作用,通过 2,4-D 处理拟南芥幼苗可显著影响根毛的生长^[14-15]. 本研究中发现 PABA 影响拟南芥幼苗根毛生长发育的表型和 2,4-D 类似,且同时施加 PABA 和 2,4-D 可进一步促进根毛伸长,说明两者以协同方式调控根毛生长发育.

根系生长素的浓度梯度在促进根毛生长发育过程中起着关键作用,在根尖分生区积累高浓度的生长素会抑制主根伸长,而根伸长区的生长素浓度提高则有利于根毛的生长^[16]. 生长素内向运输载体基因突变体 *aux1* 具有很强地抗 2,4-D 胁迫能力,在 2,4-D 处

理下其根毛比野生型幼苗短^[17]. 本研究中 PABA 可在一定程度上恢复 NPA 抑制幼苗根生长的表型,这暗示 PABA 调节根的生长发育过程可能与生长素的运输有关. *DR5::GUS* 染色分析和 qRT-PCR 表达分析进一步表明 PABA 可影响根部生长素的转运和生长素运输载体基因 *PIN1*、*PIN3* 和 *AUX1* 的表达. 因此,推测 PABA 通过改变生长素极性运输基因的表达影响根部生长素的运输和分布,进而调控拟南芥根的生长发育. 然而 PABA 是如何调节生长素极性运输基因的表达尚不清楚,进一步在分子水平上研究根尖细胞对 PABA 的响应机制将有助于阐明其在植物根生长发育中的作用.

参考文献:

- [1] LIM E K, DOUCET C J, LI Y, et al. The activity of *Arabidopsis* glycosyltransferases toward salicylic acid, 4-hydroxybenzoic acid, and other benzoates[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2002, 277(1): 586-592.
- [2] BASSET G J C, RAVANEL S, QUINLIVAN E P, et al. Folate synthesis in plants: the last step of the *p*-amino-

- benzoate branch is catalyzed by a plastidial aminodeoxychorismate lyase [J]. *The Plant Journal*, 2004, 40 (4): 453-461.
- [3] CRISAN M E, BOUROS P, MAFFEI M E, et al. Synthesis, crystal structure and biological activity of 2-hydroxyethylammonium salt of *p*-aminobenzoic acid [J]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e101892.
- [4] LIU J L, MOORE S, CHEN C L, et al. Crosstalk complexities between auxin, cytokinin, and ethylene in *Arabidopsis* root development: from experiments to systems modeling, and back again [J]. *Molecular Plant*, 2017, 10(12): 1480-1496.
- [5] PALME K, HESSE T, MOORE I, et al. Hormonal modulation of plant growth: the role of auxin perception [J]. *Mechanisms of Development*, 1991, 33(2): 97-106.
- [6] SONG Y J, ZHOU L C, YANG S H, et al. Dose-dependent sensitivity of *Arabidopsis thaliana* seedling root to copper is regulated by auxin homeostasis [J]. *Environmental & Experimental Botany*, 2017, 139: 23-30.
- [7] DI MAMBRO R, DE RUVO M, PACIFICI E, et al. Auxin minimum triggers the developmental switch from cell division to cell differentiation in the *Arabidopsis* root [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(36): E7641-E7649.
- [8] ZHAO J J, WANG W Y, ZHOU H K, et al. Manganese toxicity inhibited root growth by disrupting auxin biosynthesis and transport in *Arabidopsis* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 272.
- [9] BOUAIN N, SHAHZAD Z, ROUACHED A, et al. Phosphate and zinc transport and signalling in plants: toward a better understanding of their homeostasis interaction [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65 (20): 5725-5741.
- [10] WAN J P, ZHANG P, WANG R L, et al. UV-B radiation induces root bending through the flavonoid-mediated auxin pathway in *Arabidopsis* [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 618.
- [11] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72(1/2): 248-254.
- [12] JEFFERSON R A, KAVANAGH T A, BEVAN M W. GUS fusions: β -glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants [J]. *The EMBO Journal*, 1987, 6(13): 3901-3907.
- [13] MEINKE D W, MEINKE L K, SHOWALTER T C, et al. A sequence-based map of *Arabidopsis* genes with mutant phenotypes [J]. *Plant Physiology*, 2003, 131(2): 409-418.
- [14] PITTS R J, CERNAC A, ESTELLE M. Auxin and ethylene promote root hair elongation in *Arabidopsis* [J]. *The Plant Journal*, 1998, 16(5): 553-560.
- [15] GIRI J, BHOSALE R, HUANG G Q, et al. Rice auxin influx carrier *OsAUX1* facilitates root hair elongation in response to low external phosphate [J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 1408.
- [16] DU Y, SCHERES B. Lateral root formation and the multiple roles of auxin [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2018, 69(2): 155-167.
- [17] DINDAS J, SCHERZER S, ROELFSEMA M R G, et al. *AUX1*-mediated root hair auxin influx governs SCF TIR1/AFB-type Ca^{2+} signaling [J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 1174.

Modulation of auxin transport by para—amino benzoic acid in *Arabidopsis* root growth and development

HU Xin, TAO Yi, SONG Siyang*

(School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract: In order to reveal the mechanism of para-amino benzoic acid (PABA) affecting root growth and development of *Arabidopsis thaliana*, this study investigated the effects of PABA on the morphological structure and auxin transport in the roots of wild-type and *DR5::GUS* transgenic *Arabidopsis*. The results showed that 200 μ mol/L PABA could inhibit the growth of primary root and promote the development of lateral root and root hair. The presence of PABA enhanced the effects of inhibiting primary root growth and promoting root hair growth by auxin analog 2,4-D treatment, while PABA in some extent antagonized inhibition of root growth induced by auxin transport inhibitor NPA. Moreover, PABA could induce the accumulation of auxin in *Arabidopsis* root tips and the expression of auxin polar transport related genes *PIN1*, *PIN3* and *AUX1*. In conclusion, PABA regulates the transport and distribution of auxin, and plays an important role in the growth and development of *Arabidopsis* roots.

Keywords: para-amino benzoic acid; root; auxin; *Arabidopsis thaliana*

<http://jxmu.xmu.edu.cn>