

# 缺磷和缺铁胁迫对玫瑰幼苗根构型的影响

孙曰波<sup>1,2</sup>, 赵兰勇<sup>3</sup>, 张玲<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; <sup>2</sup>潍坊职业学院, 山东潍坊 261031;  
<sup>3</sup>山东农业大学林学院, 山东泰安 271018)

**摘要:**以玫瑰(*Rosa Rugosa*)实生苗为试材,在砂培条件下研究了缺磷、缺铁对玫瑰幼苗根系长度、表面积、体积、根尖数、分形维数等根构型参数与根系活力的影响。结果表明:缺磷或缺铁条件下,玫瑰幼苗根系总长度、根尖数、表面积、体积、根系直径变大,根系分形维数减小,根系活力显著下降;缺磷时,玫瑰幼苗主根生长受到抑制;缺铁使主根长度增加,二级侧根长度和数量增加尤为显著,分别比对照增加了229.9%和205.4%;缺铁比缺磷的根系活力与分形维数下降得更多。

**关键词:**玫瑰; 缺磷; 缺铁; 根构型; 分形维数

中图分类号: S685.12

文献标志码: A

论文编号: 2010-3084

## Effect of P, Fe-deficiency Stress on Root Architecture of *Rosa Rugosa* Young Seedlings

Sun Yuebo<sup>1,2</sup>, Zhao Lanyong<sup>3</sup>, Zhang Ling<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong 271018;  
<sup>2</sup>Weifang Vocational College, Weifang Shandong 261031;  
<sup>3</sup>College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong 271018)

**Abstract:** The sand culture system was used to study P, Fe-deficiency on the parameters of root architecture and activity of *Rosa Rugosa* young seedlings. The results showed that the total root length, tips, surface area, volume, diameter and fractal dimension of root of *Rosa Rugosa* young seedling increased obviously; the root activity decreased significantly. Under P-deficiency condition, the primary root of *Rosa Rugosa* young seedlings was controlled. Under the condition of P-deficiency, the primary root length increased, and the length and number of second lateral root increased significantly, which were 229.9% and 205.4% more than those of control respectively. The root activity and fractal dimension in Fe-deficiency condition was less than in P-deficiency.

**Key words:** *Rosa Rugosa*; P-deficiency; Fe-deficiency; root architecture; fractal dimension

### 0 引言

根构型是指根系在生长介质中的空间造型与分布,主根和侧根数量、长度、直径及密度等是描述根构型的主要参数<sup>[1]</sup>;分形维数是分形几何的基本参数,分形几何是描述根系结构特性的新尺度、新方法<sup>[2]</sup>。氮、磷、铁与硫等元素对根系的发育有很大的影响,营养亏缺条件下,根构型参数有敏感的适应性变化<sup>[3]</sup>。根构

型有明显的可塑性,这种可塑性对营养元素的吸收有重要作用<sup>[4]</sup>。前人研究表明,缺磷对拟南芥主根生长有抑制作用<sup>[5]</sup>,缺磷会导致白扇豆根系形成大量排根<sup>[6]</sup>;缺铁明显增加侧根的数量<sup>[3]</sup>。

玫瑰(*Rosa Rugosa*)作为中国传统名花,具有药用和食用价值,又是城乡绿化的理想花木。目前,对玫瑰的研究主要集中在品种分类、花蕾衰老机制、精油化学

**基金项目:**山东省良种产业化资助项目“玫瑰种质资源收集、研究与创新利用”(鲁科学(2002)228号)。

**第一作者简介:**孙曰波,男,1971年出生,副教授,博士研究生,主要从事园林植物栽培生理研究。通信地址:261031 山东潍坊职业学院园林工程系, Tel: 0536-8527057, E-mail: sunyb126@126.com。

**通讯作者:**赵兰勇,男,1960年出生,山东潍坊人,教授,博士生导师,硕士,研究方向:园林植物栽培生理与种质资源。通信地址:271018 山东省泰安市岱宗大街61号,山东农业大学林学院, Tel: 0538-8242602, E-mail: sdzly369@163.com。

**收稿日期:**2010-11-01, **修回日期:**2010-12-19。

成分与提取工艺、野生玫瑰的分布与生态学、濒危机制与保护策略等方面<sup>[7-12]</sup>,对玫瑰根构型的研究报道尚未见报道。笔者以玫瑰幼苗为试材,利用专业版WinRHIZO根系分析软件(2007年),旨在分析比较缺磷和缺铁对玫瑰根构型与根系活力的影响,为进一步研究磷、铁在玫瑰根构型形成过程中的作用机理,明确玫瑰根构型与磷、铁的关系,为采取精确的栽培措施提供理论参考和依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

试验材料为玫瑰野生类型——牟平(MP),种子采自山东农业大学花卉研究所玫瑰品种资源圃,在冰箱中层积催芽(4℃沙藏)60天后,选择均匀一致的备用。

试验于2009年3月—9月在山东农业大学花卉研究所和根系实验室进行,采用洗净消毒的河沙作为栽培基质,将层积催芽的供试种子播于基质中,光照培养箱(昼/夜温度为28℃/20℃,昼光强为12000 lx)中培养。用Hogland营养液进行缺素处理,缺素营养液参照文献<sup>[13]</sup>的方法进行配制,以Hogland完全营养液作为对照;18株为1个小区,重复3次。每5天更换1次营养液,40天后取样分析。

1.2 试验方法

1.2.1 根构型的测定 选择生长良好,长势一致的玫瑰

幼苗,小心取出,轻轻冲洗干净,在水中将根展开,用WinRHIZO根系分析软件(2007年专业版)分别测定根系长度、表面积、体积、根尖数、分形维数等根构型参数;其中根尖数是指根系中各级根尖的总和;分形维数用盒维数表示。

1.2.2 根系活力的测定 采用氯化三苯基四氯唑(TTC)还原法<sup>[13]</sup>测定根系活力。TTC还原法测得的根系活力用脱氢酶活性表示,反映根系主动吸收能力。

1.3 数据处理

用Microsoft Excel 2003和DPS软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系生长的影响

表1显示,缺磷时,玫瑰幼苗主根生长受到抑制,侧根长度明显增加,侧根总长度比对照增加了14.9%;缺铁时,主根长度略有增加,侧根长度增加了66.5%,侧根长度的增加在于一、二级侧根长度的增加,尤其是二级侧根长度比对照增加了229.9%。

缺磷或缺铁处理后,根系的总长度均比对照增加,缺磷增加不显著,缺铁增加了50%,根系总长度的增加主要是由各级侧根长度大幅度增加所致。缺磷和缺铁胁迫下,侧根密度均显著高于对照。

2.2 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根尖数的影响

表2显示,缺磷或缺铁时玫瑰幼苗根尖数均显著

表1 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系生长的影响

处理	根系总长度/cm	主根长/cm	侧根长度/cm			密度/(个/cm)
			总长度	一级侧根	二级侧根长	
对照(CK)	25.55±1.89	6.68±0.26	18.87±2.12	15.86±2.23	3.01±0.12	3.43±0.41
缺磷	29.36±0.71	5.44±0.10**	23.92±0.61*	19.86±1.29	4.06±0.87	5.39±0.21**
缺铁	38.32±2.98**	6.91±0.21	31.41±3.06**	21.39±0.17*	10.02±0.17**	4.44±0.40*

注:\*表示处理与对照差异显著( $\alpha=0.05$ );\*\*表示处理与对照差异极显著( $\alpha=0.01$ )。下同。

表2 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系数量的影响

处理	根尖数	一级侧根数	二级侧根数
对照(CK)	23.00±3.61	16.67±2.31	6.33±1.53
缺磷	29.33±1.53**	20.00±2.65	9.67±3.06
缺铁	30.67±2.52**	11.33±1.05**	19.33±2.89**

增加,这是由一、二级侧根发生量增加引起的;尤其是缺铁时,二级侧根数增加最多,是对照的3.05倍。

2.3 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系组成的影响

表3显示,缺磷或缺铁处理后,直径0~0.5 mm根系所占的比例均小于对照,直径0.5~1.0 mm根系所占的比例都大于对照。直径0~1.0 mm的根系长度占整

个根系总长度的98.88%~99.16%;直径≥1.0 mm的根系所占的比例很少,说明细根是玫瑰幼苗根系的主要组成部分。

2.4 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系平均直径和体积的影响

从表4可以看出,缺磷或缺铁处理后的玫瑰幼苗

表3 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗不同规格根系所占比例的影响

根直径/mm	根系所占比例/%		
	对照(CK)	缺磷	缺铁
0<D≤0.5	89.96	84.29	86.41
0.5<D≤1.0	9.18	15.41	12.75
1.0<D≤1.5	0.86	0.30	0.84

表4 缺磷和缺铁对根系平均直径和体积的影响

处理	平均直径/mm	根系体积/cm <sup>3</sup>
对照(CK)	0.2672±0.0130	0.0120±0.0036
缺磷	0.2959±0.0235	0.0153±0.0040
缺铁	0.2821±0.0445	0.0150±0.0040

根系平均直径均大于对照,这是由D≥0.5 mm的根系比例增大所贡献的(表3);缺磷或缺铁处理的根系总体积分别是对照的1.28倍和1.25倍,这与根系总长度和平均直径的增加有关(表1)。

2.5 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系活力和表面积的影响

根系活力反映植物根系主动吸收能力,表面积反映根系被动吸收能力。图1、图2表明,缺磷或缺铁时

玫瑰幼苗根系活力显著下降,根系表面积有所增加,说明玫瑰幼苗缺磷或缺铁时,地上部干物质向根部转运,促进根系长度和数量明显增加,根系表面积增大。虽然缺磷或缺铁环境下根系主动吸收能力受到抑制,但是由于根系表面积增大,扩大了根系与土壤的接触机会,提高被动吸收能力,从而弥补根系主动吸收能力下降对自身生长的影响。

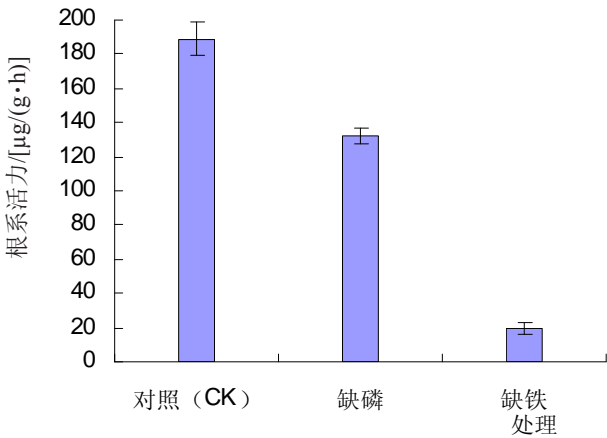


图1 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系活力的影响

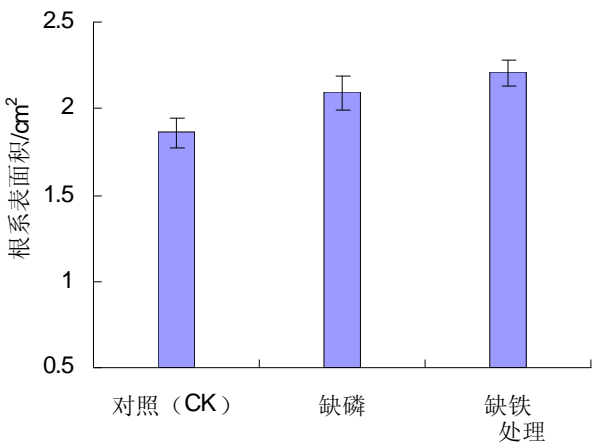


图2 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗表面积的影响

2.6 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系分形维数的影响

根系是一个形状、大小、结构等比较复杂的不规则几何体,分形几何是反映整体不规则性的非线性科学,分形维数是分形几何的重要参数,是根构型的重要特征。一般地,根系分形维数越大,对其生长越有利<sup>[14]</sup>。图3显示,缺磷或缺铁时玫瑰幼苗根系分形维数均下降,缺铁时分形维数下降幅度最大,说明缺磷或缺铁胁迫时改变了玫瑰根系的发生与分布发生,降低根系分形维数。

3 结论与讨论

前人研究表明,营养元素在侧根发生和生长中有很大的作用<sup>[3,15-16]</sup>,缺素环境中根系的生长因营养胁迫

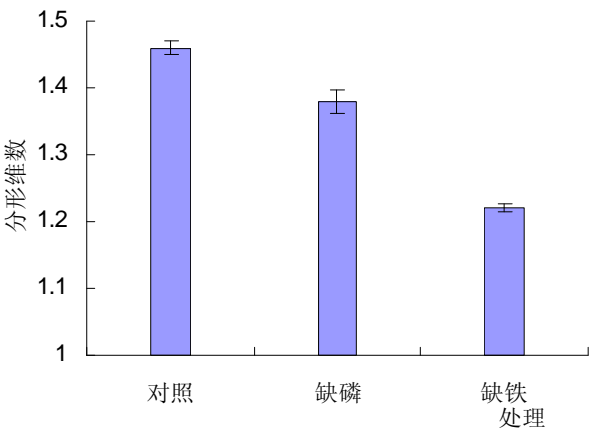


图3 缺磷和缺铁对玫瑰幼苗根系分形维数的影响

发生变化,与缺素后导致碳水化合物的重新分配有关<sup>[3-4]</sup>。本试验结果表明,营养元素参与了玫瑰侧根发生的整个过程,缺磷或缺铁对侧根的发生有明显的促进作用;幼苗侧根数量和长度的增加,说明根系感受磷、铁营养胁迫信号后,诱导地上部同化产物向根系转运,促进碳水化合物向根系的运输,根系代偿性伸长,促进整个根系的生长。

Sánchez-Caillerón 等<sup>[5]</sup>认为,缺磷时主根生长受到抑制,是由于缺磷对主根作用主要是通过细胞生长从无限型转变为有限型来实现。磷素亏缺的主根根尖是从降低伸长区细胞伸长速度开始,逐渐表现为分生区细胞数目减少,最后导致分生区和伸长区细胞停止生长;缺磷加快侧根原基的形成,侧根数目增加。本研究发现,玫瑰幼苗在缺磷环境中,主根生长受到抑制;在缺铁环境中,主根生长加快;缺磷或缺铁时,侧根长度和数量明显增加,这与前人的研究结果一致<sup>[5]</sup>。

植物根系是自然界存在的一种分形结构,将分形理论应用于根系研究,可对根系分生习性进行定量测定,反映根系分支特性<sup>[2]</sup>。根据分形维数的计算方法,根系总长度变大,分形维数减小,空间结构变简单<sup>[17]</sup>。根系的分形维数不仅仅受根系长度的影响,也受细根含量、根系直径的影响<sup>[2]</sup>。廖成章和余翔华认为,在维数上表现出吸收根、细根含量越多,根系越细,分形维数也越高。本试验结果表明,缺磷或缺铁导致玫瑰幼苗根系总长度明显增加,根系平均直径均变大, $D \leq 0.5 \text{ mm}$ 的细根比例减小。因此,分形维数减小。分形维数与根系活力的变化是一致的,分形维数高,说明根系的造型与分布合理,相应的吸收根、细根多,吸收土壤中的水分、无机盐的能力也强,根系活力增强。本试验结果表明,缺磷或缺铁处理后根系活力显著下降,分形维数也降低。

由此可见,不同营养元素亏缺对于玫瑰根系生长和活力的影响是不同的。面对缺素环境,根系通过形态的改变来提高自身对营养胁迫的适应能力,这也印证了前人的研究结果<sup>[3]</sup>。不同营养条件下,根构型的改变实际是根构型可塑性的表现,而根构型的可塑性对于玫瑰适应不良生长环境及营养吸收利用有重要意义。在生产中可以根据玫瑰根构型特征,推测其生长环境的营养状况,为采取精确的栽培管理措施提供依据和参考。

参考文献

- [1] 严小龙.根系生物学原理与应用[M].北京:科学出版社,2007.
- [2] 廖成章,余翔华.分形理论在植物根系结构研究中的应用[J].江西农业大学学报,2001,23(2):192-196.
- [3] José L B, Alfredo C R, Luis H E. The role of nutrient availability in regulating root architecture[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2003,6:280-287.
- [4] 范伟国,杨洪强.果树根构型及其与营养和激素的关系[J].果树学报,2006,23(4):587-592.
- [5] Sánchez-Calderón L, López-Bucio J, Chacón-López et al. Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*[J]. Plant Cell Physiol, 2005,46: 174-184.
- [6] Neumann G, Martinoia E. Cluster roots-an underground adaptation for survival in extreme environments [J]. Trends Plant Science, 2002,7:162-167.
- [7] 于守超,丰震,赵兰勇.平阴玫瑰品种数量分类研究探讨[J].园艺学报,2005,32(2):317-320.
- [8] 孙守家,赵兰勇,仇兰芬,等.平阴玫瑰鲜花花蕾采后衰老生理机制研究[J].林业科学,2004,40(5):79-83.
- [9] 刘纪正,刘建华,董福英,等.平阴玫瑰油化学成分的研究[J].山东科学,1990,3(4):1-8.
- [10] 张睿,魏安智,杨途熙,等.秦渭玫瑰精油提取工艺研究[J].林业科学,2005,41(4):216-218.
- [11] 秦忠时,胡群,何兴元,等.野生玫瑰分布及其生态群落类型[J].生态学杂志,1994,13(6): 52-54.
- [12] 张淑萍,王仁卿,杨继红,等.胶东海岸野生玫瑰(*Rosa Rugosa*)的濒危现状与保护策略[J].山东大学学报:理学版,2005.40(1):112-118.
- [13] 张志良,瞿伟菁.植物生理学实验指导(第三版)[M].北京:高等教育出版社,2003:23-25.
- [14] 李火根,黄敏仁.分形及其在植物研究中的应用[J].植物学通报,2001,18(6):684-690.
- [15] Forde B, Lorenzo H. The nutritional control of root development [J]. Plant and Soil, 2001, 232:51-68.
- [16] 王树才,徐郎莱,夏凯,等.侧根的发生及其激素调控[J].植物学通报,2003,20(2):129-136.
- [17] 王义琴,张慧娟,白克智,等.分形几何在植物根系研究中的应用[J].自然杂志,1999,21(3):143-146.