

补锌对靠接枳砧的缺锌纽荷尔脐橙 锌营养吸收的影响

李若男 杜威 伍小萌 刘永忠 潘志勇 彭抒昂

华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070

摘要 为研究补锌对靠接枳砧的缺锌纽荷尔脐橙生长及锌营养吸收的影响,以已经缺锌12个月的枳橙砧纽荷尔脐橙(N/C)、靠接枳砧的纽荷尔脐橙(N/Ct)为试材,采用砂培法对缺锌苗木进行缺锌(0.001 mg/L)和补锌(0.05 mg/L)处理5个月。结果显示:无论补锌还是缺锌,靠接苗木新叶和接穗茎的干质量与未靠接苗木相比有所增加;在缺锌条件下,靠接枳砧未能增加苗木叶中的锌含量和锌累积量;在补锌条件下,靠接苗木叶和根的锌含量显著高于未靠接苗木,其新叶的锌累积量显著高于未靠接苗木;补锌明显增加靠接苗木叶的锌含量和累积量,仅显著增加未靠接苗木新叶的锌累积量;在缺锌条件下,靠接苗木新叶的钾含量显著高于未靠接苗木,其原始砧木根中的钙含量显著高于未靠接苗木。在补锌条件下,2种苗木新叶对钾的吸收无显著性差异,靠接苗木新叶的钙含量显著低于未靠接苗木,但2种苗木原始砧木根的钙含量无显著性差异。补锌使2种苗木新叶和根对硼的吸收明显减少。

关键词 锌; 纽荷尔脐橙; 枳; 枳橙; 砧木; 靠接

中图分类号 S 666.606 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2019)06-0070-07

锌是植物生长发育所必需的微量矿质元素之一,缺锌会造成植株节间缩短、小叶,从而使其发育受到抑制^[1]。我国柑橘产区多处于南方多雨地区,养分易于淋失,锌元素的缺乏较为普遍和突出,成为阻碍柑橘正常生长发育的因子之一^[2-3]。缺锌严重影响了柑橘的品质,通过土壤和叶面施用锌肥2种方法矫治柑橘缺锌,存在成本偏高和有效性较低等问题^[4]。

柑橘通过嫁接繁殖,其不同砧木对养分的吸收能力不同,这样可以通过选用或靠接对锌吸收效率高的砧木来提高锌的吸收和利用率。笔者所在课题组的前期研究结果表明,枳砧比枳橙的锌吸收能力好一些^[5]。然而,迄今有关此类的研究仅限于砧木或是单砧嫁接植株对锌的吸收情况,而较少有靠接砧植株对养分吸收的报道;而且以前的研究通常是以正常不缺锌的植株为对照来研究缺锌后症状或表现,但生产上的情况却是相反,要对已经缺锌的植株进行补锌来看矫正效果,以致研究结果有时与生产

实际存在差距。因此,本研究以已经缺锌的植株为对照,来观察单砧和靠接植株补施锌后锌营养吸收及其他营养元素的关系,为柑橘生产中补锌提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2017—2018年在华中农业大学柑橘基地温室及园艺林学学院生理与生态实验室进行。以对缺锌较敏感的卡里佐枳橙 [*Citrus sinensis* Osb. × *P. trifoliata* Raf.] (Carrizo citrange, 简称C)和对缺锌较为不敏感的枳 (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) (trifoliata orange, 简称t)为砧木,以对锌缺乏敏感的纽荷尔 (*C. sinensis* Newhall) 脐橙 (简称N)为接穗。

砧穗组合:枳橙砧纽荷尔脐橙(N/C)、靠接枳砧的纽荷尔脐橙(N/Ct)。

供试苗木在缺锌处理1年后实施补锌和继续缺

收稿日期: 2019-06-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(34114098); 国家重点研发计划项目(2017YFD0202001); 云南省邓秀新院士工作站合作协议; 云南省科技厅项目(2018IB013)

李若男, 硕士研究生。研究方向: 果树生理生态。E-mail: 2535391920@qq.com

通信作者: 彭抒昂, 博士, 教授。研究方向: 果树生理生态。E-mail: ganjuli_2002@mail.hzau.edu.cn

锌处理,处理5个月后采样。

1.2 试验条件与设计

采用砂培法,洗净砂培用具(10 L 盆钵),将石英砂和珍珠岩用超纯水多次冲洗,使培养基质中不含营养,之后将洗净的石英砂和珍珠岩等体积混合均匀。用纱布和纱网铺垫于盆钵底部,防止出现浇水漏砂现象。用黑色木板盖住盆钵,防止雨水渗入影响试验。

砂培培养柑橘幼苗,共2种嫁接组合,每组合8棵苗,2种处理,每个处理有4个单株(重复),共有16株。将缺锌状态下的枳橙砧纽荷尔脐橙(N/C)、靠接枳砧的纽荷尔脐橙(N/Ct)分别进行缺锌(0.001 mg/L Zn)处理和补锌(0.05 mg/L Zn)处理。其余的大量元素采用1/2浓度,微量元素采用全浓度(Hoagland's No.2)。每隔1周浇灌1次营养液,每次每盆浇灌3 L 营养液。

1.3 样品采集与相关指标的测定

1)样品采集与生长指标的测定。试验期间,每月用卷尺测柑橘苗木的茎节间长。试验结束时,将未靠接苗木分为7个部分、靠接苗木分为9个部分采样,包括新叶和老叶、新梢和老梢、接穗茎,原始砧木茎和靠接砧木茎、原始砧木根和靠接砧木根。所有样品用蒸馏水洗净,擦干后放在信封中于105℃的烘箱中杀青15 min,之后在65℃恒温烘箱中烘至恒质量,用电子天平称量干质量和总干质量。

2)矿物质元素含量的测定。每份样品称取粉碎后的干样0.3 g,在马弗炉中先后用200℃和300℃

各灰化1 h,然后用500℃灰化6 h或更长时间,直至植株灰化样品中没有黑色残渣,然后用15 mL 0.5 mol/L的HNO₃溶解,用原子吸收分光光度计测定锌及其他元素的含量。

3)锌累积量的计算。锌累积量是指该部位锌含量与该部位干质量的乘积,参照硼分配率计算的方法^[6]。

1.4 数据处理与分析

试验数据用Microsoft Excel 2013和IBM SPSS 19.0进行统计分析,采用Duncan's法进行差异显著性分析,数据分析作图采用GraphPad Prism5.0。所有数据均用IBM SPSS19.0进行统计分析,相同锌水平下2个嫁接组合间的比较用One-way ANOVA过程的Duncan's法进行。

2 结果与分析

2.1 不同部位的干质量

由表1可知,无论补锌还是缺锌条件,靠接苗木新叶和接穗茎的干质量均比未靠接苗木高。在缺锌条件下,靠接苗木新叶和接穗茎的干质量比未靠接苗木分别高了6.14 g和6.84 g(表1)。在补锌条件下,靠接苗木新叶和接穗茎的干质量比未靠接苗木分别高了5.19 g和5.67 g(表1)。与缺锌相比,补锌使未靠接苗木新叶的干质量有所增加(表1)。结果表明,无论是补锌还是缺锌条件,靠接苗木新叶和接穗茎的干质量与未靠接苗木相比都有所增加。

表1 在缺锌(0.001 mg/L)和补锌(0.05 mg/L)条件下未靠接苗木与靠接苗木各部位的干质量

Table 1 Dry weight in various parts of Newhall navel orange from non-inarched plant and inarched plant under Zn deficient (0.001 mg/L) and Zn resupply(0.05 mg/L) conditions g/plant

处理 Treatments		新叶 New leaves	老叶 Old leaves	新梢 New twigs	老梢 Old twigs	接穗茎 Scion stem
缺锌/(0.001 mg/L) Zn deficient	N/C	13.80±3.23a	4.26±1.98a	7.53±1.95a	5.88±1.42a	12.12±2.00ab
	N/Ct	19.94±3.76a	2.88±0.77a	8.70±2.01a	6.05±2.36a	18.96±6.02a
补锌/(0.05 mg/L) Zn resupply	N/C	14.48±4.57a	5.26±2.41a	6.43±1.65a	9.40±3.34a	11.10±5.02b
	N/Ct	19.67±3.30a	3.95±2.25a	8.22±2.82a	6.40±4.90a	16.77±3.10ab

注:表中数值为4个重复的平均值±标准差。每列不同字母表示4组数据间的差异显著($P<0.05$)。N代表纽荷尔脐橙,C代表原始砧木枳橙,t代表靠接砧木枳橙。下同。Note: Values are means of four replicates±SD. Different letters of the same plant tissue indicate significant differences among four treatments by ANOVA ($P<0.05$). N: Newhall navel orange; C: Original Carrizo citrange rootstock; t: Inarched trifoliate orange rootstock. The same as follows.

2.2 不同部位的锌含量

对于根和叶中的锌含量,在缺锌条件下,靠接苗木叶中的锌含量均显著低于未靠接苗木,但靠接苗木原始砧木根中的锌含量显著高于未靠接苗木;在

补锌条件下,靠接苗木老叶和原始砧木根中的锌含量显著高于未靠接苗木。与缺锌条件相比,补锌使靠接苗木叶的锌含量显著升高,对未靠接苗木叶和根中的锌含量无明显影响(图1)。结果表明,无论

补锌还是缺锌,靠接苗木在原始砧木根中的锌含量在叶中的锌含量却明显比未靠接苗木低。在补锌条件下,靠接苗木老叶的锌含量明显高于未靠接苗木。

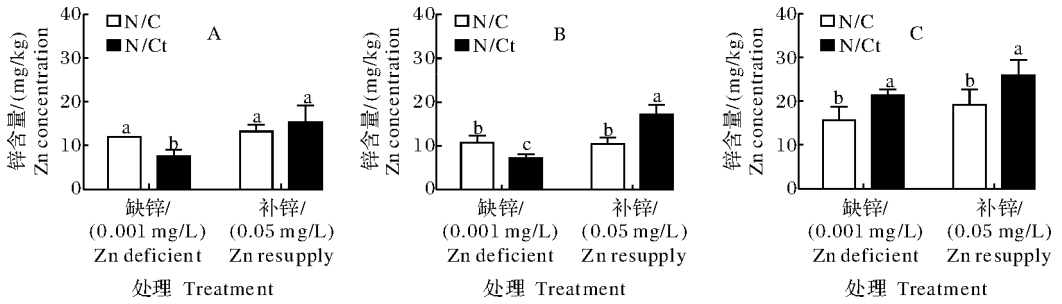


图 1 在缺锌(0.001 mg/L)和补锌(0.05 mg/L)条件下不同砧木的纽荷尔脐橙新叶(A)、老叶(B)、原始砧木根(C)的锌含量

Fig.1 Zn concentration of new leaves (A), old leaves (B), original rootstock roots (C) of Newhall navel orange from non-inarched plant and inarched plant under Zn deficient (0.001 mg/L) and Zn resupply(0.05 mg/L) conditions

2.3 不同部位的锌累积量

锌累积量是锌含量与干质量的乘积。砂培试验结果显示:在缺锌条件下,靠接苗木与未靠接苗木各部位间的锌累积量无显著差异;在补锌条件下,靠接苗木新叶的锌累积量显著高于未靠接苗木(表 2);与缺锌相比,补锌使 2 种苗木的老叶、接穗茎的锌累

积量明显升高,其中靠接苗木新叶、靠接砧木根的锌累积量也显著升高(表 2)。在缺锌条件下,靠接苗木新叶的锌累积量比未靠接苗木低 $30.4 \mu\text{g}/\text{plant}$;而在补锌条件下,靠接苗木新叶的锌累积量显著高于未靠接苗木。补锌明显增加了 2 种苗木中的锌累积量,其中靠接苗木锌累积量增加更为明显。

表 2 在缺锌(0.001 mg/L)和补锌(0.05 mg/L)条件下未靠接苗木和靠接苗木各部位的锌累积量

Table 2 Zn content in various parts of Newhall navel orange from non-inarched plant and inarched plant under

Zn deficient (0.001 mg/L) and Zn resupply(0.05 mg/L) conditions

$\mu\text{g}/\text{plant}$

处理 (Treatments)		新叶 (New leaves)	老叶 (Old leaves)	接穗茎 (Scion stem)	靠接砧木根 (Inarching rootstock roots)	原始砧木根 (Original rootstock roots)
缺锌/(0.001 mg/L) (Zn deficient)	N/C	182.65 ± 34.27b	33.39 ± 18.82bc	62.18 ± 18.06b		451.12 ± 134.39ab
	N/Ct	152.25 ± 55.14b	21.50 ± 7.35c	68.38 ± 10.50b	135.17 ± 41.32b	496.49 ± 140.42a
补锌/(0.05 mg/L) (Zn resupply)	N/C	191.11 ± 64.27b	51.11 ± 16.00a	109.18 ± 9.81a		563.62 ± 109.69a
	N/Ct	354.11 ± 90.83a	44.21 ± 9.55ab	128.62 ± 26.15a	219.69 ± 17.78a	564.71 ± 55.43a

2.4 不同部位其他营养元素的含量

1)新叶。锌与其他元素之间存在互作,缺锌会影响柑橘对其他矿物质元素的吸收和运转。研究结果显示:在缺锌条件下,靠接苗木新叶对钾的吸收显著高于未靠接苗木;在补锌条件下,靠接苗木新叶中磷、铜、硼含量显著高于未靠接苗木,钙含量显著低于未靠接苗木(表 3)。与缺锌的苗木相比,补锌使未靠接苗木新叶的磷、镁和硼含量明显降低,钾的含量明显增加,使靠接苗木新叶的钙和硼含量明显降低,铜含量明显增加(表 3)。结果表明,在补锌条件下,靠接苗木新叶的铜、硼含量明显高于未靠接苗木,但其钙含量却显著低于未靠接苗木。此外,补锌使 2 种苗木对硼的吸收明显减少,对镁的吸收也有

不同程度的减少。

2)根。在缺锌条件下,靠接苗木原始砧木根中的钙含量显著高于未靠接苗木(表 4)。在补锌条件下,2 种苗木在其他元素含量上无明显差异。与缺锌苗木相比,补锌使未靠接苗木原始砧木根中钙含量明显升高、硼含量显著降低,使靠接苗木原始砧木根中铜的含量明显下降(表 4)。结果表明,补锌明显降低了 2 种苗木根中的硼含量。

3 讨论

枳和枳橙对锌的吸收有差异,但前期基于砧木或单砧苗对此展开研究,很少有关于靠接双砧苗的研究。另外,目前关于缺锌植物在补锌后的生长恢

表 3 在缺锌 (0.001 mg/L) 和补锌 (0.05 mg/L) 条件下未靠接苗木和靠接苗木新叶中其他矿物质元素的含量
Table 3 Nutrient concentration in new leaves of orange from non-inarched plants and inarched plant under Zn deficient (0.001 mg/L) and Zn resupply (0.05 mg/L) conditions

处理 Treatments	P/(g/kg)	K/(g/kg)	Ca/(g/kg)	Mg/(g/kg)	S/(g/kg)	Cu/(mg/kg)	Fe/(mg/kg)	Mn/(mg/kg)	B/(mg/kg)
缺锌/(0.001 mg/L)	6.46±0.35a	27.66±1.02b	97.77±5.31a	4.43±0.14a	9.61±2.20a	1.42±0.30)	163.31±25.52a	9.99±1.26a	152.78±31.20a
Zn deficient	6.94±0.59a	30.39±0.86a	99.51±4.22a	4.09±0.30ab	8.40±0.55a	1.23±0.36b	145.54±11.60a	10.45±0.38a	130.01±2.98ab
补锌/(0.05 mg/L)	5.60±0.59b	31.23±0.66a	94.89±4.20a	4.02±0.15ab	8.81±0.47a	1.01±0.33b	160.48±27.86a	12.54±3.27a	69.68±17.14c
Zn resupply	6.89±0.65a	31.11±2.50a	87.61±4.71b	3.90±0.43b	9.45±0.25a	2.12±0.69a	158.35±6.23a	11.45±1.50a	108.31±17.07b

表 4 在缺锌 (0.001 mg/L) 和补锌 (0.05 mg/L) 条件下未靠接苗木和靠接苗木原始砧木根中其他矿物质元素的含量
Table 4 Nutrient concentration in original rootstock roots of Newhall navel orange from non-inarched plants and inarched plants under Zn deficient (0.001 mg/L) and Zn resupply (0.05 mg/L) conditions

处理 Treatments	P/(g/kg)	K/(g/kg)	Ca/(g/kg)	Mg/(g/kg)	S/(g/kg)	Cu/(mg/kg)	Fe/(mg/kg)	Mn/(mg/kg)	B/(mg/kg)
缺锌/(0.001 mg/L)	4.31±0.46a	12.52±0.32a	41.61±3.31c	5.51±1.51a	7.47±1.58a	2.30±0.45ab	563.57±79.49a	60.71±10.25ab	18.68±1.07ab
Zn deficient	5.84±1.39a	13.27±2.47a	59.85±3.87a	5.54±1.81a	8.57±3.14a	2.88±0.93a	611.93±103.65a	43.56±10.21b	19.77±0.78a
补锌/(0.05 mg/L)	5.43±0.98a	15.00±2.03a	49.60±5.39b	5.16±1.36a	8.43±2.54a	1.65±0.28b	524.57±89.21a	68.15±19.73a	16.55±0.94b
Zn resupply	5.83±1.05a	13.16±2.46a	56.44±6.38ab	3.46±0.91a	6.85±0.86a	1.82±0.70b	510.74±7.32a	55.49±14.07ab	18.22±2.91ab

复情况的研究仍相对较少,且不全面。基于此,我们开展了补锌后靠接枳砧对缺锌纽荷尔脐橙生长及锌吸收的影响研究。

3.1 缺锌条件下靠接枳砧对缺锌纽荷尔脐橙生长及锌吸收的影响

生产中缺锌较为普遍,植物缺锌时,根、茎、叶等器官生长发育受到抑制^[7]。柑橘严重缺锌时主要表现为:新叶变小,抽生枝梢节间缩短^[1]。本研究中,在缺锌条件下,靠接枳砧的苗木新叶和接穗茎的干质量比未靠接苗木分别高了 6.14 和 6.84 g/plant (表 1)。这可能因为靠接苗木有原始砧木及靠接砧木的 2 组根系同时吸收营养,所以比未靠接苗木对缺锌有更好的适应能力。这与王南南^[6]的研究结果类似。

在缺锌条件下,未靠接苗木的地上部拥有更高的锌含量,叶片中的锌积累量也高于靠接苗木(图 2、表 2)。靠接苗木双砧木的锌总积累量较未靠接苗木高出 130 $\mu\text{g}/\text{plant}$ 以上(表 2)。在缺锌条件下,靠接苗木在 2 个砧木中积累了较多的锌。但介质中的锌含量有限,因而向地上部贡献的锌就会更少,导致靠接苗木的地上部锌营养状况甚至不如未靠接苗木。也可能因为缺锌条件下靠接砧木与原始砧木存在一定的锌吸收的竞争关系,影响了锌向地上部的运输,王南南^[6]在缺硼靠接苗木中的研究也有类似的结果。此外,靠接会对苗木造成损伤,从而影响靠接苗木对锌的吸收。补锌使靠接苗木新叶的锌含量和积累量均明显升高,而未靠接苗木的各部位的锌含量均无显著性变化(图 2、表 2)。这说明,缺锌的靠接苗木比未靠接苗木在补锌后能较快地吸收更多的锌营养供植物利用。

综上,虽然相对于枳橙,枳对锌的吸收好一些,但是在严重缺锌的条件下,靠接并未能提高苗木中的锌含量,甚至还不如未靠接苗木对锌的吸收。这可能是因为,在严重缺锌的情况下,无论靠接哪种砧木都不能缓解缺锌症状,还应立足于补锌。此外,靠接对苗木造成了损伤,靠接苗木可能因此影响了对锌的吸收。

3.2 补锌条件下靠接枳砧对缺锌纽荷尔脐橙生长及锌吸收的影响

梁国现^[8]的研究结果表明,缺锌后的脐橙果树在施锌后缺锌症状消失,叶片增大增厚,枝梢增长增粗。也有研究表明,靠接的柑橘生长势明显优于未靠接的柑橘^[9]。在补锌条件下,地上部中,靠接枳砧

的苗木新叶和接穗茎的干质量比未靠接苗木分别高了 5.19 和 5.67 g/plant(表 1)。这说明,缺锌的靠接苗木在补锌后比未靠接苗木生长状况恢复更好,多靠接一个砧木更利于植株的生长。

迄今,关于植物中锌的吸收利用和运输已有较多报道^[10-12],但是在补锌条件下,关于靠接对缺锌柑橘锌吸收的影响研究却很少。靠接不仅可以明显恢复树势,还可以提高树体中的元素含量。研究表明,缺铁的枳砧甜橙靠接枸头橙后,铁含量显著提高^[13]。而在补锌条件下,靠接对柑橘锌含量的影响尚不清楚,所以本试验对此展开了研究。本研究中,在补锌条件下,虽然靠接苗木与未靠接苗木新叶的锌含量无显著差异,但是由于靠接苗木新叶有更大的生物量,使其新叶的锌积累量明显高于未靠接苗木(表 2)。这些结果说明,靠接苗木较未靠接苗木对新生部位有更强的供锌能力,靠接促进地上部新生部位的生长,且这种促进作用更多来自于所吸收的锌更多分配到新生部位。在补锌的情况下,靠接苗木对锌营养的吸收优于未靠接苗木。这说明对于缺锌的靠接苗木,在补锌后比缺锌的未靠接苗木更有利于吸收锌营养,这与前人在柑橘硼营养上的研究结果类似^[14]。

综上,在补锌后,缺锌的靠接苗木比未靠接苗木的生长更为旺盛,且比未靠接苗木更利于锌吸收。在生产上,通常也是对缺锌植株补施锌肥,但若是在靠接的基础上补锌,可能更有利于植株对锌的吸收。

3.3 补锌对缺锌纽荷尔脐橙中其他主要元素的影响

矿物质营养元素对植物的生长发育有着重要作用。任何一种元素的缺乏或过量都会破坏植物体内离子的平衡,从而影响植物的正常生长^[15]。锌与大量元素磷、钾,微量元素硼之间均存在着复杂的关系。

磷是植物所必需的大量元素之一,对植物的生命活动有重要影响。王景安等^[16]的研究表明,缺锌引起番茄和甜椒磷中毒。施清等^[17]的研究表明,柑橘在增施磷肥的情况下对锌的吸收也减少,造成缺锌。对缺锌的番茄施加硫酸锌,可减轻磷毒害对植株的伤害^[18]。这些研究均表明锌与磷之间相互抑制。本研究中,补锌使未靠接苗木新叶的磷含量显著减低,使其原始砧木根中的磷含量升高(表 3、表 4),此结果与前人研究基本一致。根中磷含量的升高可能是因为锌磷在根中是协同作用,施锌增加

了根中的磷含量。而锌磷之间的拮抗作用可能体现在转运率上,补锌减少了根中的磷向叶转运,导致叶中的磷含量减少。

钾元素也是植物所必需的大量元素之一,与细胞的渗透调节有关。韩金玲等^[19]研究表明,施锌可增加小麦对钾的吸收量和转运量。王衍安等^[20]研究表明,低锌明显降低了平邑甜茶中的钾含量。这些研究表明锌与钾之间存在协同作用。在本研究中,补锌使缺锌的未靠接苗木新叶和原始砧木根的钾含量均升高(表3、表4)。这说明补锌增加了缺锌的未靠接苗木对钾的吸收和转运,与韩金玲等^[20]的研究结果一致。在苗木缺锌时,植株中钾含量可能也会随之减少,而钾本身就是大量元素,易缺乏,所以在补锌时也应该把补钾考虑在内,锌钾配施可能更有利于柑橘的生长。

钙是植物所必需的中量元素,植物对其需求量仅次于大量元素。关于钙元素,锌对钙的影响与钾类似。王景安等^[16]研究表明,缺锌减少了番茄、辣椒中的钙含量。而施钙可增加柑橘对锌的吸收^[21]。本研究中,补锌使靠接苗木新叶的钙含量明显降低,使未靠接苗木原始砧木根中钙含量明显增加(表3、表4)。这说明在未靠接苗木中,锌钙之间相互促进。而对于靠接苗木新叶的钙含量明显下降原因可能是靠接苗木在补锌的条件下生长得更旺盛,对钙的需求量更大,而介质提供的钙含量有限。

硼是植物必需的微量元素,且与锌之间的关系密切。屈红征等^[22]和杨波等^[23]的研究指出,硼锌之间是负相关关系。在本研究中,补锌明显降低了未靠接苗木新叶和原始砧木根中的硼含量,靠接枳砧的苗木根中的硼含量也明显降低(表3、表4)。硼与锌在未靠接苗木的新叶和原始砧木根中均是相互抑制的,这与杨波等^[23]的研究一致。

综上,补锌减少了苗木对硼的吸收,锌与硼之间本就是拮抗作用,可能是锌的增加导致硼的降低。另外,无论是缺锌还是补锌条件,靠接苗木的磷含量均高于未靠接苗木。这说明,靠接这种技术促进了苗木对磷的吸收,但具体原因还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 马国瑞,石伟勇.果树营养失调症原色图谱[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [2] 肖家欣,严翔,彭抒昂,等.脐橙果实和叶片发育中磷硫动态的研究(英文)[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2007,30(1):60-63,73.
- [3] 凌丽俐,彭良志,淳长品,等.赣南纽荷尔脐橙叶片微量元素含量状况[J].园艺学报,2010,37(9):1388-1394.
- [4] 付行政,彭良志,邢飞,等.柑橘缺锌研究进展与展望[J].果树学报,2014,31(1):132-139.
- [5] 刘桂东,姜存仓,王运华,等.缺硼条件下两种不同砧木“纽荷尔”脐橙矿质元素含量变化的比较[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):180-185.
- [6] 王南南.柑橘不同砧穗组合及砧木硼效率差异的研究[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [7] ALLOWAY B J. Zinc in soils and crop nutrition[M]. 2nd ed. Brussels: IZA and IFA Publishers, 2003: 11-18, 33.
- [8] 梁国现.施用锌肥对脐橙生长结果的影响[J].南方园艺,2018,29(4):14-16.
- [9] 李果果,刘要鑫,陈香玲,等.靠接在延缓茂谷柑衰退中的应用[J].中国南方果树,2016,45(4):144-146.
- [10] ERENOGIU B, RÖMHELD V, CAKMAK I. Retranslocation of zinc from older leaves to younger leaves and roots in wheat cultivars differing in zinc efficiency[J]. Plant nutrition, 2002, 92: 224-225.
- [11] 王衍安,董佃朋,李坤,等.铁锌互作对苹果锌、铁吸收分配的影响[J].中国农业科学,2007,40(7):1469-1478.
- [12] 齐笑笑,肖家欣,徐春丽,等.锌胁迫对3种柑橘砧木的生理特性和锌分配的影响[J].中国农学通报,2009,25(24):313-317.
- [13] 李学柱,罗泽民,何绍兰,等.石灰性紫色土改良措施对枳砧脐橙吸铁及生长的效果[J].中国农业科学,1990,23(4):35-42.
- [14] WANG N N, WEI Q J, YAN T S, et al. Improving the boron uptake of boron-deficient navel orange plants under low boron conditions by inarching boron-efficient rootstock[J]. Scientia horticulturae, 2016, 199: 49-55.
- [15] 张丽霞,彭建明,马洁.植物营养缺乏研究进展[J].中国农学通报,2010,26(8):157-163.
- [16] 王景安,张福锁,李春俭.缺锌对番茄、甜椒生长发育及矿质代谢的影响[J].土壤通报,2001(4):177-179.
- [17] 施清,李键,李美桂.福建柑桔园营养状况诊断与改善措施[J].福建果树,1998(3):29-31.
- [18] PARKER D R, AGUILERA J J, THOMSON DN. Zinc phosphorus interactions in two cultivars of tomato grown in chelator-buffered nutrient solutions[J]. Plant soil, 1992, 143: 163-177.
- [19] 王衍安,李坤,刘娣,等.锌、铁对平邑甜茶磷、钾和钙分配的影响[J].中国农业科学,2008,41(5):1416-1422.
- [20] 韩金玲,李雁鸣,马春英.锌对小麦碳酸酐酶活性的影响[J].华北农学报,2003,18(2):21-25.
- [21] 郑重禄.锌对柑桔生长发育与产量的影响研究综述[J].中国南方果树,2013,42(3):30-36.
- [22] 屈红征,王丽萍,吴国良.植物硼素营养研究进展[J].山西农业大学学报,2001(2):173-176.
- [23] 杨波,祖朝龙,李斌,等.锌、硼对烟草生长发育及其他矿质元素积累的影响[J].中国农学通报,2014,30(10):218-222.

Effects of zinc resupply on zinc nutrient absorption of zinc deficient Newhall navel orange inarched with trifoliolate orange

LI Ruonan DU Wei WU Xiaomeng LIU Yongzhong PAN Zhiyong PENG Shu'ang

*College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University,
Wuhan 430070, China*

Abstract Trifoliolate orange and Carrizo citrange are two rootstocks with different zinc (Zn) absorption potential. Newhall navel oranges (N)/Carrizo citrange orange (C, *Citrus sinensis* Osb. × *Poncirus trifoliata* Raf.) grafted seedlings (N/C) and N/C inarched with trifoliolate orange (*P. trifoliata* (L.) Raf., N/Ct) cultivated in Zn deficient condition for 12 months before treatments, and then resupplied with 0.001 mg/L (deficient, control) and 0.05 mg/L (Zn resupply, adequate) Zn in sand culture for 5 months were used to study the effects of Zn resupply on the growth and Zn nutrient absorption of Zn deficient Newhall navel orange inarched with trifoliolate orange. The results showed that the dry weight of new leaves and scion stems of inarched plants was higher than that of non-inarched plants either with Zn resupply or Zn deficient treatment. The Zn concentration and content of leaves were not higher in the inarched plants compared with the non-inarched plants under Zn deficient condition. However, the Zn concentration of the old leaves and roots of inarched plants was significantly higher than that of the non-inarched plants, and the Zn accumulation of new leaves of inarched plants was significantly higher than that of non-inarched plants under Zn resupply condition. Zn resupply significantly increased the Zn concentration and content of inarched plants, and significantly increased the Zn content of non-inarched plants. The potassium concentration in new leaves of inarched plants was significantly higher than that of the non-inarched plants, and the calcium concentration in the roots of the original rootstock was significantly higher than that of the non-inarched plants under Zn deficient condition. The potassium concentration of the new leaves was not significantly different between inarched plants and non-inarched plants under Zn resupply condition. The calcium concentration of the new leaves of inarched plants was significantly lower than that of non-inarched plants, but there was no significant difference in the calcium concentration of the original rootstocks between inarched plants and non-inarched plants. Zn resupply significantly reduced the boron concentration in the new leaves and roots of the plants.

Keywords Zn; Newhall navel orange; trifoliolate orange; Carrizo citrange; rootstock; inarching

(责任编辑:张志钰)