

矫正苹果缺铁失绿症途径及机理研究

薛进军^{1,3} 张宝忠² 沈广城² 李绍华³ 张福锁²

(1. 广西大学, 南宁 530005; 2. 中国农业大学, 北京 100094; 3. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要 根系输液条件下, N-Fe 能够在短时间内有效地矫正苹果缺铁失绿症。红色邻二氮杂菲铁示踪结果表明: 二价铁肥根系输液处理时仍以二价态由根被动吸收, 运输到根、茎、叶和主脉内, 运输部位都是靠近形成层的木质部, 运输速度每小时可达数十厘米。室内营养液培养的八棱海棠苗用 ⁵⁹Fe 示踪结果显示, 根中分配的 ⁵⁹Fe 为 19.3%, 叶中分配的 ⁵⁹Fe 占 70.9%; 八棱海棠 ⁵⁹Fe 示踪结果表明, 断 1、2、3 条根 ⁵⁹Fe 在叶中分配的比例分别为 57.9%、63.6% 和 68.0%。经树干强力高压注射二价铁后, 其主要沿中央木质部的导管运输, 大部分向下运往根系并大量贮存; 而向上运稍难, 运输速度每小时达数百厘米, 所以矫正缺铁失绿症的速度比根系输液慢。但由于根中贮存大量的铁, 使铁肥持效期较长。叶面喷施铁肥有斑点状复绿现象, 主要是铁在叶片中不易移动所致。

关键词 苹果; 失绿症; Fe 缺乏

中图分类号 S661.1; Q945.12; S143.72

文章编号 1007-4333(2003)03-0047-06

文献标识码 A

Approach to the mechanism of remedying iron efficiency chlorosis in apple trees

Xue Jinjun^{1,3}, Zhang Baozhong², Shen Guangcheng², Li Shaohua³, Zhang Fusuo²

(1. Guangxi University, Nanning 530005, China; 2. China Agricultural University, Beijing 100094, China;

3. Plant Research Institute of Academia Sinica, Beijing 100093, China)

Abstract The best result was obtained with treatment of N-Fe $5.99 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ when iron fertilizer was root injected. The trace of red O-phenanthroline Fe indicated: Fe^{2+} was absorbed by roots and transported to stem, leaves and main vein when iron fertilizer was root injected. Fe^{2+} was transported along xylem near cambium. The speed of transportation reached dozens centimeter per hour. Trace of ⁵⁹Fe with Malus micromalus cultured in nutrient solution under controlled conditions indicated: distribution of ⁵⁹Fe in cutting roots and leaves was 19.3% and 70.9%, respectively. Trace of ⁵⁹Fe with Malus micromalus indicated: ratio of iron distributed in leaves by cutting one, two, three roots were 57.9%, 63.6% and 68.0%, respectively. the iron fertilizer by high-pressure trunk-injection indicates: Fe^{2+} was transported along the central xylem, most of Fe^{2+} was transported and stored in roots. It was a little difficult for Fe^{2+} to be transported upto leaves. The speed of transportation reached several hundred centimeters per hour when trunks were injected with iron fertilizer with high-pressure. Regreening of iron deficiency chlorosis trees was slower but the effect of correcting iron deficiency chlorosis lasted longer when trunks were rejected with iron fertilizer than iron fertilizer was root injected. Spotted regreening appeared by foliar spray of iron because it was difficult for iron to move in leaves.

Key words apple; chlorosis; iron dificiency

全世界约有 40% 的土壤上生长的植物容易发生缺铁失绿症, 主要包括石灰性土壤、盐碱地和沙地。主要果树如苹果、柑橘、葡萄、梨、桃、香蕉等对缺铁都非常敏感。曲周试区的土壤 pH 值多在 7.8 以上, 苹果缺铁失绿症非常普遍。由于土壤施铁肥时二价铁容易被氧化成三价铁, 导致肥效不高; 而叶面喷铁又由于铁的流动性较差, 经常只能获得斑点状复绿而效果不理想。因此, 开展了本研究。

1 材料与方法

1.1 矫正途径

试材为河北省永年县前曹庄村 1992 年定植的富士/八棱海棠, 共设 4 个处理: 1) 树冠喷施: 铁肥品种 N-Fe, 每株喷 500 mL 的 N-Fe $5.99 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} + 2000 \text{ mL}$ 去离子水; 2) 根系输液: 在距树干 1 m 左右的不同方位挖出 5 条直径为 0.5 cm 左右粗

收稿日期: 2003-10-14

作者简介: 薛进军, 教授, 主要从事果树生理研究。

的小根,将根插入盛有 $N-Fe\ 5.99 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1}$ 营养液的乳胶套中,每套 100 mL; 3) 树干注射: 铁肥为 $N-Fe\ 5.99 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1}$, 在每株供试树的主干上选光滑处, 钻 3 个错落、直径为 0.8 cm、深 2 cm 左右的注射孔, 在 3 个大气压下, 三孔同时注入共 $N-Fe\ 500\ mL\ 5.99 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1}$; 4) 对照: 不处理。1997-06-23 处理, 处理前每株采外围新梢中部叶 50 片, 果、枝(果台枝) 分别采 10 个, 叶片用丙酮法测叶绿素含量、HCl 用 $0.1\ mol\ L^{-1}$ 浸提后用原子吸收分光光度计测活性铁含量, 另取叶、果、枝经碳化、干灰化、HCl $6\ mol\ L^{-1}$ 溶解、定容后用原子吸收分光光度计测总铁量。处理后 10 d 于 07-03 采样再测。单株小区, 重复 3 次。邓肯氏新复极差测定差异的显著性。

1.2 矫正机理

1.2.1 根系输液机理

1) 邻二氮杂菲铁示踪试验: 试材为邯郸农业高等专科学校标本园 3 年生长富 2/ 八棱海棠, 药剂为自制的 $N-Fe\ 5.99 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1} + 0.1\%$ 邻二氮杂菲, 将 pH 调至 4.3。根据邻二氮杂菲与 Fe^{2+} 结合生成红色螯合物、不与 Fe^{3+} 反应的原理, 利用邻二氮杂菲铁做 Fe^{2+} 的示踪剂。根系输液处理从树的不同方位挖出 5 条直径 0.5 ~ 1.0 cm 粗的根, 剪断后分别插入 100 mL 邻二氮杂菲铁液中, 每株用 500 mL。插入铁肥后立即对树进行大剥皮处理, 大剥皮后第 1 小时每 10 min 测量一次邻二氮杂菲铁液上升高度, 以后每小时测量一次, 直至邻二氮杂菲铁上升到梢端叶片为止。然后将整株树彻底刨出, 室内解剖观察。

2) ^{59}Fe 示踪试验: 试材为在培养室内用营养液培养的八棱海棠苗, 苗高 30 cm 左右时(1999-01-07) 进行以下处理: 1) 断 1 条根; 2) 断 2 条根; 3) 断 3 条根; 4) 全部断根; 5) 不断根对照。这 5 个处理依次用符号 C1、C2、C3、C、I 来表示。前 3 个处理置分根盒培养, 所断的根置含 ^{59}Fe 放射性强度为 $40\ \mu Ci$ 的营养液盒中培养、未断的根置 $-Fe$ 营养液盒中培养。第 4、5 个处理置 ^{59}Fe 放射性强度为 $40\ \mu Ci$ 的 $+Fe$ 营养液中培养。01-11 将所有处理的苗留高 20 cm、从基向上第 8 位叶短截, 置 $-Fe$ 营养液中培养, 至 01-25, 短截口已长出新梢时将苗按根、茎木质部、茎韧皮部、新梢、叶(按不同节位) 等部分分解, 用 BH 1216 低本底、测量仪器测定放射性强度。不同器官和组织中 ^{59}Fe 分配百分数的差异显著性用邓肯氏新复极差测定。

1.2.2 注射机理

1) 邻二氮杂菲铁处理: 试材为 3 年生长富 2/ 八棱海棠, 用自制的 $N-Fe\ (5.99 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1}) + 0.1\%$ 邻二氮杂菲, 形成 Fe^{2+} 的红色螯合物。选 3 株生长一致的树, 在主干光滑处, 错落有致地打 3 个直径为 0.8 cm、深 2.0 cm 左右的注射孔, 在气压 303.975 kPa 下, 3 孔同时注入共 500 mL 邻二氮杂菲铁, 约 40 min 注完后, 堵塞注孔, 将树刨出, 移至室内, 全树剥皮、解剖后进行观察。

2) ^{59}Fe 处理: 试材为中国农业大学曲周实验站 1997 年田间培养的八棱海棠苗, 1998 年春用切接的方法嫁接品种长富 2, 1998-12-15 从田间刨出, 置植物培养室用营养液培养, 营养室光照强度为 $250\ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$, 光照时间为 $12\ h\ d^{-1}$ 。营养液组成同环剥试验。1999-01-26 选生长一致的植株, 在砧木光滑部位(砧木中部) 打孔注射 5 mL 含 ^{59}Fe 的营养液(放射性强度 $40\ \mu Ci$); 处理 5 株, 置营养室的营养液中继续培养 24 h, 于 01-27 将植株做如下处理: 注射植株分解为根、砧茎、长富 2 茎木质部和韧皮部、新梢、叶。分解后置烘箱中 $80\ ^\circ C$ 下烘干、称重、粉碎, 取样用 BH 1216 低本底、测量仪器测定放射性强度。计算不同器官和组织中 ^{59}Fe 分配的百分数。

1.2.3 喷施机理

试材为中国农业大学曲周实验站 1997 年田间培养的八棱海棠苗, 1998 年春用切接的方法嫁接品种长富 2, 1998-12-15 从田间刨出, 置植物培养室用营养液培养, 营养室光照强度为 $250\ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$, 光照时间为 $12\ h\ d^{-1}$ 。营养液组成同环剥试验。1999-01-26 选生长一致的植株进行叶片和枝干涂 ^{59}Fe 处理, ^{59}Fe 放射性强度均为 $40\ \mu Ci$ 。叶片涂抹部位为成叶, 叶的正反面各涂 2 次; 枝的涂抹部位为长富 2 品种田间生长部位。每处理 5 株, 培养后置营养室的营养液中继续培养 24 h, 于 01-27 将植株做如下处理: 先将植株用柠檬酸钠, EDTA-Na 反复洗、自来水冲, 以去掉涂在表面的 ^{59}Fe 。涂成叶的植株分解为根、砧径、长富 2 茎木质部和韧皮部、新梢木质部和新梢韧皮部、梢尖、涂叶和未涂叶; 涂茎植株分解为根、砧茎、长富 2 茎木质部和韧皮部、新梢、叶。分解后置烘箱中 $80\ ^\circ C$ 下烘干、称重、粉碎, 取样用 BH 1216 低本底、测量仪器测定放射性强度。

2 结果与分析

2.1 不同处理的矫正效果

2.1.1 对叶绿素含量的影响

叶片中铁的 80% 存

在于叶绿体,缺铁导致叶绿素含量降低而失绿。不同方式处理后叶绿素含量的变化见表1。从表1可见,树干强力高压注射处理后10 d,叶片叶绿素含量由 $0.309 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜重增加至 $0.493 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜重,增加了59.55%,叶片明显复绿;根系输液由处理前的 $0.307 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜重增加至 $0.732 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 鲜重,增加了138.44%,复绿效果显著好于树干强力高压注射;树干强力高压注射和根系输液处理后叶绿素含量高于对照。

表1 不同施肥方式的叶绿素含量

Table 1 The content of chlorophyll in leaves of apple trees under supplying iron fertilizer by different methods / ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, FW)

处理	日期		增长率/ %
	06-23	07-03	
注射	0.309	0.493	59.55 b
根输	0.307	0.732	138.44 a
喷布	0.312	0.422	35.25 c
对照	0.312	0.399	27.88 c

注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同

2.2.2 不同施肥方式对不同器官中铁含量的影响
不同施肥方式对苹果不同器官中总铁和活性铁含量的影响见表2。从表2中可以看出:树干强力高

表2 不同施肥方式对苹果树不同器官中铁含量的影响

Table 2 The effect of fertilizing manner to iron content in different organs of apple tree / ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

项目	器官	活性铁			全铁		
		06-23	07-03	增长率/ %	06-23	07-03	增长率/ %
注射	叶	55.00	65.50	19.09 b	135.52	173.67	28.15 a
	果				44.27	64.24	45.11 b
	枝				89.45	103.75	15.99 b
根输	叶	49.50	70.00	41.41 a	131.00	170.74	30.34 a
	果				53.70	86.18	60.48 a
	枝				115.05	143.07	24.35 a
喷布	叶	62.00	68.00	9.68 c	167.23	186.50	11.52 b
	果				44.39	51.50	16.20 c
	枝				103.96	111.54	7.29 c
对照	叶	57.00	63.00	10.53 c	144.47	146.97	1.73 c
	果				55.80	61.49	10.20 d
	枝				99.04	101.05	2.03 d

压注射、根系输液和对照叶片中的活性铁含量处理后比处理前分别增加了16.03%、41.41%和10.53%。根系输液增加最多,与其它处理的差异均达显著水平;树干强力高压注射居第二,与对照的差

异达显著水平。全铁含量总的趋势是叶 > 枝 > 果。树干强力高压注射后叶片中全铁含量由处理前的 135.52 增加至 $173.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加了28.15%,果实中全铁含量由处理前的 44.27 增加至 $64.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加了45.11%,枝中全铁含量由处理前的 89.45 增加至 $103.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加了15.99%。根系输液处理后叶片中全铁含量由处理前的 131.00 增加至 $170.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加了30.34%,增加值与树干强力高压注射处理差异不显著;果中全铁含量由处理前的 53.70 增加至 $86.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加了60.48%,增加值显著高于树干强力高压注射;枝中全铁含量由处理前的 115.05 增加至 $143.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,增加了24.79%,显著高于树干强力高压注射。

2.2 不同处理的矫正机理

2.2.1 根系输液矫正机理 铁肥根系输液后从根紧靠形成层的木质部被吸收,由于断根截面呈明显红色,可以肯定吸收的是二价铁。断根内亦可见邻二氮杂菲铁,表明铁在根内以二价态运输。铁上运到枝叶后仍为二价态,说明根系输液的铁肥是靠蒸腾拉力被动吸收和运输。为了进一步验证主动吸收和被动吸收铁在茎内运输的形态,用完整根和断根的紫罗兰通气培养在邻二氮杂菲铁液中,培养10 h左右后(断根枝叶脉显红),对茎进行徒手切片,显微镜观察照相。结果显示整根对铁肥是主动吸收,断根对铁肥是被动吸收,铁在茎内运输是二价态。

根系输液的铁在茎内是沿靠近形成层的木质部向上运输的,剥皮后形成层细胞主要留在木质部上,可撕下一层透明膜。邻二氮杂菲铁在靠近形成层的木质部运输时清晰可见。5条根插入红色铁肥后在主干上可见5条红道,说明铁肥从所插根被吸收而向上运输,红色宽度受所插根粗度的影响,本试验所插根直径分别为 0.600 、 0.412 、 0.680 、 0.462 和 0.340 cm 时,主干距地表 10 cm 处的红道宽度分别为 0.494 、 0.390 、 0.614 、 0.394 、 0.240 cm 。根茎与红色宽度的相关系数达 0.97 。因此,插入铁肥的根愈多或愈粗,铁在树冠上分布就愈广,治愈缺铁失绿症效果就愈好。

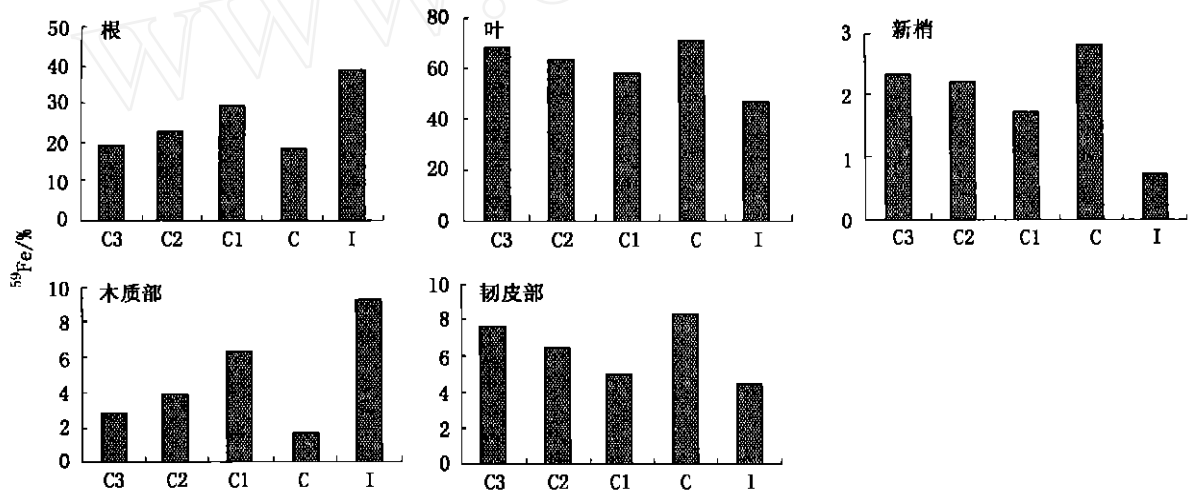
铁肥根系输液处理后10 min就有一红道上升至距主干地表 9.30 cm 处,第一小时每10 min平均上升高度 6.13 cm ,第5 h即上升到新梢顶端 192.40 cm 处,平均每小时上升 38.48 cm 。由此可见,铁肥根系输液处理后在地上部树冠内运输速度很快,铁在较短时间内可到达叶片,可以较快克服苹果缺铁

黄化,这对提高苹果产量和品质具有重要意义。

根系输液后铁肥主要向上运输,在根内分布很少,除所插根外,其它侧根的截面只有极少数(不足5%)在靠近主根处略显红色,铁在主干内分布,越向上越集中到靠近形成层的木质部,下部铁量大,向中央木质部扩散,随着上运铁量减少,越来越集中在活力较强的新生木质部中。用卡尺测量,铁液离形成层距离,由远到近依次为1.380、1.170、0.930、0.280、0.054和0.050 cm。铁在主干上横向运输时,横向分布有逐渐扩散的趋势,经在主干上距地表10 cm处不同时间抽样测量红道宽度,从早晨6:25~7:25每10 min量一次,红道宽度分别为0.158、0.450、0.614、0.694、0.788、0.970和0.986 cm,这种逐渐扩散有利于扩大铁在树冠上的分布,从而减轻铁分布的局限性。根系输液进入树体内的铁到叶片中后,经过主脉、侧脉、支脉中的导管运输,最后进入叶肉细胞。因此,铁在叶片中含量的多少依次为:主脉、

侧脉、支脉、叶肉。这可以从某个侧面解释为什么树体缺铁失绿时叶片的外观表现总是叶肉先黄化,叶脉后黄化。

通过分析图1可以看出,断根有利于增加叶片中的铁含量,而且叶片中的铁含量与断根的数量密切相关,全部断根植株的叶片中分配的 ^{59}Fe 百分数最高,随着断根数量的减少,叶片中分配的 ^{59}Fe 百分数依次降低,整根处理的植株叶片中分配的 ^{59}Fe 百分数最少,差异均达显著水平。根中分配的 ^{59}Fe 百分数与叶片中相反,整根中最多,全部断根的处理中最少。这说明整根吸收的铁大量淀积在根中,断根吸收的铁大部分运往叶片。与根和叶片相比,茎的木质部中分配的 ^{59}Fe 百分数相对较少,总的趋势与根相似,断根数量愈多,茎中所占 ^{59}Fe 愈少,这也是断根吸收的铁较少为导管吸附所致。新梢和韧皮部中均测到了 ^{59}Fe ,说明在缺铁胁迫条件下,铁的再利用比较明显,断根促进铁的再利用。



断根处理

C3 断3条根; C2 断2条根; C1 断1条根; C 根全断; I 不断根

图1 断根对 ^{59}Fe 在不同器官中分布的影响

Fig. 1 Distribution of ^{59}Fe in different organs of apple seedlings by root cutting

短截后, ^{59}Fe 在不同节位叶中的分配呈现以下规律:1) 低位叶中分配的 ^{59}Fe 少。分析这是由于老叶需要铁少,对铁的竞争能力弱,而且在缺铁胁迫的条件下,可能老叶中还有少量铁外运所造成的。2) 从基部向上第7位叶分配的 ^{59}Fe 数量最多,第8位叶(短截口下第一叶)低于第7位叶,但高于其它部位叶。分析这种现象是叶片本身的生长代谢状况和顶端优势综合作用的结果。第7和第8位叶都具有

较强的顶端优势,但第8位叶比第7位叶幼嫩,蒸腾拉力没有第7位叶强。3) 全部断根或整根的处理不同节位叶片中分配的 ^{59}Fe 百分数差异较小,断一定数量根的处理不同节位叶片中分配的 ^{59}Fe 百分数差异较大,这种现象说明了根系输液中铁分配的不均衡性和局限性(图2)。

2.2.2 强力高压注射矫正机理 邻二氮杂菲铁从注射孔进入树体内被吸收,大扒皮后外观见不到红

色的邻二氮杂菲铁,说明铁液在距形成层较远处的中央木质部运输。对根、干横截后观察,3孔所注铁液连为一体,注射孔向下运输红色面积渐大,根系铁含量较多,不但主根末端具红色邻二氮杂菲铁,所有侧根都含有红色铁液,距主根140 cm处的细根内也观察到了邻二氮杂菲铁。邻二氮杂菲铁从注射孔向上红色面积渐小,渐向中央木质部集中,即距形成层

渐远,孔上5、10、15和20 cm处红色的邻二氮杂菲铁距形成层分别为0.422、0.688、0.720、0.790 cm。邻二氮杂菲铁上运到注射孔上端120 cm左右处,而未达梢端,表明强力高压注射铁容易运输到根系,而向上运输较难。强力高压注射速度按铁液达注射孔上运高度,至侧根最远处计,折合每小时450 cm左右。

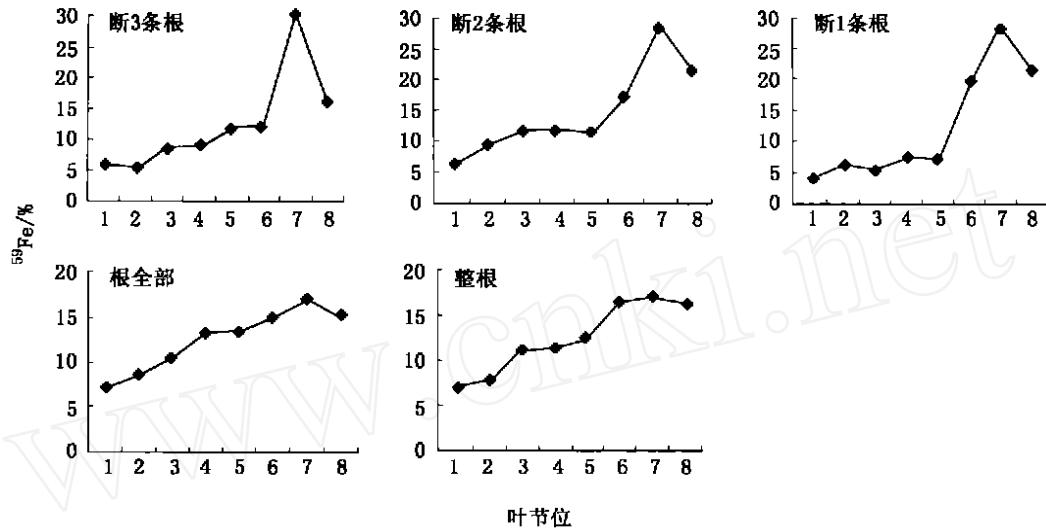


图2 ⁵⁹Fe 在不同节位叶中的分布
Fig. 2 Distribution of ⁵⁹Fe in the leaves from different node

注射后铁分布在根和砧茎中(图3)。砧茎是注射铁的部位,因此铁含量最多,⁵⁹Fe 计数为6156,所占百分数为74.3%,根中⁵⁹Fe 计数2129,所占百分数为25.7%。说明强力高压注射进入体内的铁向下往根部运输较易,向上运输较难,与邻二氮杂菲铁示踪试验结果相一致。叶中没有测到⁵⁹Fe,说明一般情况下强力高压注射的铁不容易直接到达叶片

内,主要贮存在根和茎干里,以后主要通过蒸腾作用运输到叶中、被再利用。因此,树干强力高压注射铁具有明显的贮存铁的作用。

2.2.3 喷施矫正机理 铁液涂成叶后24 h,未涂铁的叶片中测到了⁵⁹Fe,总cpm为47个,所占百分数为3.88%;梢韧皮部测到⁵⁹Fe,总cpm为422个,所占百分数为34.85%;茎韧皮部⁵⁹Fe 总cpm数为39,所占百分数为3.22%;涂⁵⁹Fe 的叶总cpm数为703,所占百分数为58.05%,其他器官中未测到⁵⁹Fe。分析这些结果可以看出,叶施铁后24 h内,⁵⁹Fe 已经向外运出,运输途径是新梢的韧皮部,未涂叶中已经获得少量的铁。⁵⁹Fe 涂枝后24 h内,已有少量铁运往叶、茎木质部和砧茎中,叶中分配比例为12%(总cpm 546),茎木质部中分配比例7%(总cpm 318),砧茎中分配比例9%(总cpm 409),涂铁的部位茎韧皮部含⁵⁹Fe 72%(总cpm 3275)(表3)。我们在营养室内-Fe 营养液中培养的植株,茎干涂铁的植株也未发生缺铁失绿症,说明枝干涂铁可以运输到叶片中,具有防止缺铁失绿症的效果。这些结果表明,⁵⁹Fe 处理后24 h内,涂枝外运进入叶中的铁多于涂枝外运到未

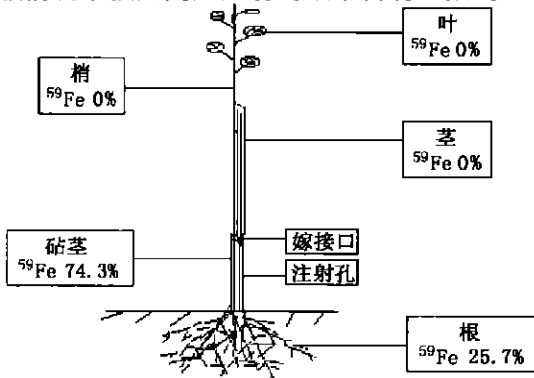


图3 ⁵⁹Fe 在注射株内的分配
Fig. 3 Distribution of ⁵⁹Fe in injecting plant

涂叶中的铁,分别为12%和3.88%,而树干强力高压注射的 ^{59}Fe 尚未进入叶中;树干强力高压注射进入根系中的铁最多,达25.7%,而涂叶和涂枝处理的根中未测到铁;涂叶的铁经韧皮部外运,木质部中没有测到 ^{59}Fe ,涂枝的铁有部分从所涂的皮部进入木质部。

表3 不同处理 ^{59}Fe 在不同器官中的分配

Table 3 Distribution of ^{59}Fe in different organs by different treatment

器 官	涂叶		涂枝	
	CPM	%	CPM	%
根	0	0	0	0
茎木	0	0	318	7
茎韧	39	3.22	3275	72
梢涂叶	703	58.05		
梢未涂叶	47	3.88	546	12
梢木	0	0		
梢韧	422	34.85		
梢茎	0	0	0	0
砧茎	0	0	409	9

3 小 结

1) 根系输液矫正苹果缺铁失绿症具有复绿快、复绿效果好的优点。根系液路的二价铁肥以二价态被根吸收,吸收机制是被动吸收;二价铁被根吸收以后,仍以二价铁在树体内运输,在根和茎中的运输部位是靠近形成层的木质部,运输动力是蒸腾拉力,运输速度快,每小时可达数十厘米;根系输液进入树体内的铁主要分配在叶片中,铁肥利用效率高,显效

快。由于铁肥是沿所输根向上运输,造成铁在树冠上的分配具有一定的局限性,得不到铁的枝叶复绿较慢。

2) 邻二氮杂菲铁能够较好地示踪铁在树体内的运输和分配。通过邻二氮杂菲铁示踪,基本上弄清了铁肥根系输液途径矫正缺铁失绿症复绿快、复绿有局限性的机理。弄清了断根土壤浸施铁肥与不断根土壤浸施铁肥在矫正缺铁失绿症的效果上存在差异的原因,断根土壤浸施铁肥时克服了根系输液铁在树冠上分配局限性的原因。明确了树干强力高压注射铁在树体内的分布,揭示了树干强力高压注射铁矫正缺铁失绿症的长效性机理。与通常所用的同位素示踪相比,邻二氮杂菲铁示踪具有成本低廉、使用安全、观察直观准确和便于长期动态观察的显著优点,但在定量研究方面不能代替同位素示踪。

3) 树干强力高压注射的二价铁肥经中央木质部运输,运输形态是二价铁,一般情况下,铁肥不直接注射到叶中,铁主要分布在根和茎干的中央木质部,主要靠蒸腾拉力运往叶片起到矫正缺铁失绿的作用。铁肥树干强力高压注射的主要特点是由于根和茎干的中央木质部贮存铁的库容较大,矫正缺铁失绿症的效果具有长效性,由于铁一般不直接注射到叶内,黄化叶复绿效果不如根系输液快。

4) 树冠喷施铁肥矫正缺铁失绿症的效果受多种因素的影响,由于树冠喷施铁肥时,二价铁容易被氧化成三价铁,铁进入叶片后又不易移动,一般而言,树冠喷施铁肥的效果不如根系输液、树干强力高压注射。