

影响菜豆体内铁再利用效率的因素及其机理*

邹春琴 张福锁 毛达如

(中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

摘 要

本文在人工气候室中, 用营养液培养方法, 并结合同位素示踪技术研究了铁的供应状况、两种形态氮素(NO_3^- -N和 NH_4^+ -N)及叶片遮光对菜豆体内铁再利用效率的影响, 并对其有关机理进行了深入的研究。结果表明, 铁的缺乏有利于累积在根和初生叶中的铁向新生组织中转移, 铁的再利用效率明显提高。无论在缺铁还是供铁条件下, NH_4^+ -N的供应使得菜豆新叶中活性铁含量、新叶叶绿素含量及体内铁的再利用效率都明显高于 NO_3^- -N处理, 叶绿体超微结构完整, 并且新叶未出现黄化现象; 特别是在处理后期, 差异更加明显。初生叶遮光使得新叶中活性铁含量增加, 体内铁的再利用效率提高了6个百分点左右, 在一定程度上改善了 NO_3^- -N营养缺铁菜豆新叶的铁营养状况。可见, NH_4^+ -N的供应和叶片遮光都可提高菜豆体内铁的再利用效率, 明显改善菜豆新叶的铁营养状况。

关键词 菜豆, 氮素形态, 铁供应状况, 叶片遮光, 铁再利用效率

缺铁是威胁全世界许多粮食作物和经济作物生产的严重的营养问题^[12], 如何解决这一问题引起了植物营养学家的广泛关注。据统计, 全世界大约有40%的土壤缺铁, 在干旱、半干旱地区的石灰性土壤上尤为严重^[8]。在我国, 南起四川盆地, 北至内蒙古高原, 东自淮北平原, 西到黄土高原及甘肃、青海、新疆等地, 都有作物缺铁现象发生^[2]。

在农业生产上, 目前主要通过叶面喷施、土施、向树木根或茎注射铁肥的方法来矫正植物缺铁。然而, 叶面喷施要求少量多次, 费工费时, 而且喷施无机铁盐常常效果不佳, 而螯合态铁盐的价格又比较昂贵; 土施则因施入土壤中的铁被土壤所固定而事倍功半, 植株注射也常常难以获得良好的效果, 因而这些方法都不能从根本上解决植物缺铁的问题。不少研究发现, 造成植物缺铁失绿症的原因并非土壤中铁的总量不足, 而仅仅是由于土壤中有效铁含量较低^[13], 或者是由于植物对铁的吸收、利用和再利用能力较低所致。因此, 解决这一问题的可行性措施应是设法提高土壤中铁的生物有效性和植物对铁の利用及再利用能力, 而并非是一味盲目地向土壤中施用铁肥。

* 国家攀登计划和国家自然科学基金资助项目。

本系王贺老师对细胞原生质膜上ATPase的定位观察进行了指导, 在此表示感谢。

收稿日期: 1996-03-20; 收到修改稿日期: 1996-05-12

过去的大多数研究都认为铁在韧皮部中移动性很差^[9], 植物在遭受缺铁胁迫时, 新生组织的生长受到限制, 新叶出现黄化, 严重时会影响后期产量的形成。随着研究的进一步深入及对植物基因型潜力认识的提高, 发现植物体内铁的再利用受到环境条件、营养元素的供应状况、植物的基因型差异等因素的影响^[6, 17, 22]。因此, 研究影响铁移动性的条件, 寻找相应的调控措施, 对解决植物的缺铁问题具有重要的意义。本文研究了不同氮素形态、叶片遮光和供铁等措施对菜豆体内铁的再利用效率的影响及植物对铁の利用和再利用能力的潜力, 旨在寻求通过改进农业技术措施来解决植物缺铁失绿问题, 并为今后利用基因工程等技术进行植物铁营养效率的遗传改良奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 植物培养

供试植物为菜豆 (*Phaseolus vulgaris* L.) 品种为“American provider”, 中文译为“美国供给者号”。种子经消毒后在饱和 CaSO_4 溶液中浸泡半小时, 催芽后在石英砂中发芽, 5 天后, 挑选生长一致的幼苗, 用蒸馏水冲洗干净, 移至 pH6.5 的硝态氮营养液中, 营养液的组分如下 (mol/L): K_2SO_4 7.5×10^{-4} ; MgSO_4 6.5×10^{-4} ; KCl 2.0×10^{-3} ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2.0×10^{-3} ; KH_2PO_4 1.0×10^{-4} ; H_3BO_3 1.0×10^{-5} ; MnSO_4 1.0×10^{-6} ; CuSO_4 1.0×10^{-7} ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 5.0×10^{-9} ; ZnSO_4 1.0×10^{-6} ; FeEDTA 1.0×10^{-4} 。在体积为 1L 的营养液中培养 3 株苗, 每两天换营养液一次, 光照时间为 12h/d, 光照强度为 $250\mu\text{mol} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。待菜豆生长至第一片真叶 (将其定为初生叶) 完全展开时设置下述八个处理:

① 供给硝态氮, 不供铁, 不遮光; ② 供给硝态氮, 不供铁, 遮光; ③ 供给铵态氮, 不供铁, 不遮光; ④ 供给铵态氮, 不供铁, 遮光; ⑤ 供给硝态氮, 供铁, 不遮光; ⑥ 供给硝态氮, 供铁, 遮光; ⑦ 供给铵态氮, 供铁, 不遮光; ⑧ 供给铵态氮, 供铁, 遮光

铵态氮营养液 (mol/L) 组成为: K_2SO_4 1.75×10^{-3} ; CaCl_2 1.0×10^{-3} ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2.0×10^{-3} , 其中不含 KCl 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 。 MgSO_4 和微量元素同硝态氮营养液。叶片遮光的作法为: 用不透明反光铝箔将最先生长的两片真叶包裹 (并将其定为初生叶), 使其遮光。设置处理后每天换营养液一次。植株生长至第三片真叶 (指第三片三出复叶) 完全展开时收获。

同位素试验的菜豆培养方法如前所述, 铁用 $^{59}\text{FeEDTA}$ 标记, 浓度为 $1.0 \times 10^{-4} \text{mol} / \text{L}$, 标记强度为 $3.8775\mu\text{Ci} / \text{ml}$, 设置处理时用 DTPA 溶液, 草酸溶液和蒸馏水去除根系表面附着的 ^{59}Fe , 由此认为新生组织中的 ^{59}Fe 主要来自初生叶和根中累积的那部分。缺铁处理 3 天后再设置遮光处理。其它管理措施与常规培养相同。

样品制备: 收获时分新叶, 初生叶, 茎, 根四部分取样, 用蒸馏水洗净表面, 105°C 杀青 15 分钟后, 在 80°C 下烘干, 磨粉待用。

1.2 测定方法

1.2.1 溶液 pH 值的动态监测 监测从更换新营养液开始, 用 PM-10 数字酸度计于不同的时间间隔连续监测 23 小时营养液 pH 值。时间是从早晨 8:00 到第二天早晨 8:00。

1.2.2 样品中 ^{59}Fe 放射性强度的测定 样品制备如前所述。用 BH1216 低本底 α 、 β 测量仪测定 ^{59}Fe 的放射性强度。

1.2.3 叶片叶绿素含量的测定及叶绿体超微结构的观察 收获时用 POC-1型数显叶绿素测定仪测定叶片叶绿素含量。叶绿体超微结构的观察采用朱丽霞(1983)的方法^[4]。

1.2.4 叶片中活性铁含量的测定 新鲜叶片用蒸馏水洗净并用纸吸干,切成 0.5cm²大小,用 1mol/L HCl 浸提(连续振荡 5 个小时),过滤,用 PERKIN-ELMER 2100 原子吸收分光光度计测定浸提液中活性铁含量^[19]。

1.2.5 原生质膜上 ATPase 活性的定位观察 [1] 菜豆叶片和根细胞原生质膜上 ATPase 活性的定位观察采用孙敬三(1987)的方法。

2 结果与分析

2.1 三种因素对菜豆叶片叶绿素含量和叶绿体超微结构的影响

当植物缺铁时,首先受到影响的是生长最活跃的部位即新叶,两种形态氮素对菜豆植株生长的影响不同,同为缺铁条件,供给 NO₃⁻-N 的菜豆新叶出现明显的黄化现象, NH₄⁺-N 处理的菜豆新叶却未见缺铁黄化症状,而且叶片遮光可一定程度缓解 NO₃⁻-N 营养菜豆新叶的缺铁状况,减轻黄化程度。

表1 菜豆新叶中的叶绿素含量

Table 1 Chlorophyll contents in young leaves of bean plants

处 理 Treatment		叶绿素含量(mg/dm ²) chlorophyll content	
		NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
		-Fe	不遮光
	遮光	3.32e	3.88ab
+Fe	不遮光	3.54cde	3.78abc
	遮光	3.48de	3.98a

* 处理间差异的显著性检验用多重比较法,不同小写英文字母表示差异达到5%的水平(下同)。

对菜豆新叶叶绿素含量的测定结果表明(表1),供应 NO₃⁻-N 时,缺铁使植株新叶叶绿素含量显著降低,供应 NH₄⁺-N,铁的供应对叶绿素含量的影响不明显。无论是否供铁, NH₄⁺-N 处理的菜豆新叶叶绿素含量均明显高于相同条件下 NO₃⁻-N 处理的植株,其中,在不遮光的情况下,二者相差 41%。缺铁时,遮光对供给 NH₄⁺-N 的菜豆新叶中叶绿素含量影响不大,却使 NO₃⁻-N 处理新叶叶绿素含量提高了 35%,接近于供铁时的水平。

三种因素不但影响到叶片中叶绿素含量,而且对叶绿体超微结构也有明显的影响。(照片 1, a, b, c)显示,在缺铁条件下,供应 NO₃⁻-N 的菜豆新叶的叶绿体结构遭到破坏,类囊体结构松散,基粒片层少,发育不良,淀粉体几乎充满整个叶绿体。叶片遮光后,叶绿体结构完整,淀粉体减少,基粒片层增多。而在供应 NH₄⁺-N 时,无论初生叶是否遮光,新叶叶绿体大且结构完整,虽然淀粉体大但类囊体结构发育良好,基粒片层多且紧密基粒片层发育良好。一旦给植株铁时,所有处理叶绿体的结构均完,各处理间没有明显的差异。由此可见, NH₄⁺-N 和叶片遮光均能在一定程度上提高菜豆新叶的叶绿素含量,维持完整的叶绿体结构,保证光合作用的正常进行,这主要是由于新叶铁营养

状况的改善所致。

2.2 三种因素对菜豆叶片中活性铁含量的影响

已有的研究也表明, 缺铁时, NH_4^+-N 的供应有利于提高菜豆新叶中铁含量, 而在供铁时, 两种氮素形态间的差异不显著^[3]。为了更准确地表明各种调节措施对菜豆新生组织铁营养状况的影响, 测定了新叶中活性铁含量(表 2)。测定结果表明, 缺铁时, NH_4^+-N 处理菜豆新叶中活性铁含量比 NO_3^--N 处理高 38% 左右, 供铁时, NH_4^+-N 处理与 NO_3^--N 处理之间无显著差异, 前者略高于后者, 其中 NO_3^--N 营养的不遮光菜豆中活性铁含量显著低于其它处理。就同一种氮素供应来看, 供应 NO_3^--N 时, 铁的供应使新叶的活性铁含量提高了 37%—54%; 而当供应 NH_4^+-N 时, 这种效果不明显。叶片遮光对新叶活性铁含量也有较大的影响, 除 NH_4^+-N 处理的供铁菜豆外, 遮光都使新叶中活性铁含量增加 18—30% 左右。

表2 菜豆新叶中活性铁含量

Table 2 Active Fe contents in young leaves of bean plants

处 理 Treatment	处 理 Treatment	活性铁含量(mg/kg·FW)	
		Active Fe content	
		NO_3^--N	NO_4^+-N
-Fe	不遮光	8.71d	15.02c
	遮光	14.30c	23.93a
+Fe	不遮光	18.86b	24.27a
	遮光	22.89a	26.13a

分析表 1 和表 2 结果可知, 菜豆新叶中活性铁含量与其叶绿素含量间有显著的正相关(图 1), 其回归方程为: $y(\text{叶绿素含量})=1.91+0.080x(\text{活性铁含量})$, $r=0.851^{**}$, 但与全铁含量的相关性较差, 相关系数只有 0.250。由此可见, 活性铁含量比全铁含量更能反应植物新生组织的铁营养状况。因此, 越来越多的研究者用活性铁含量来表征植物的铁营养状况。

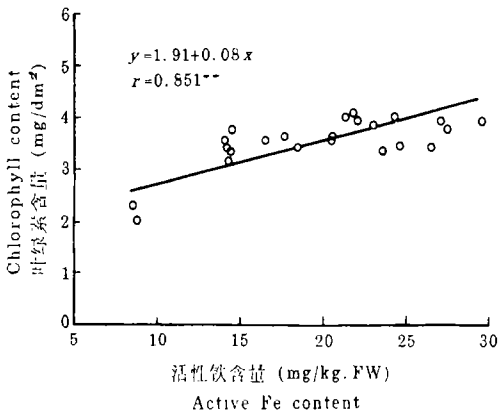


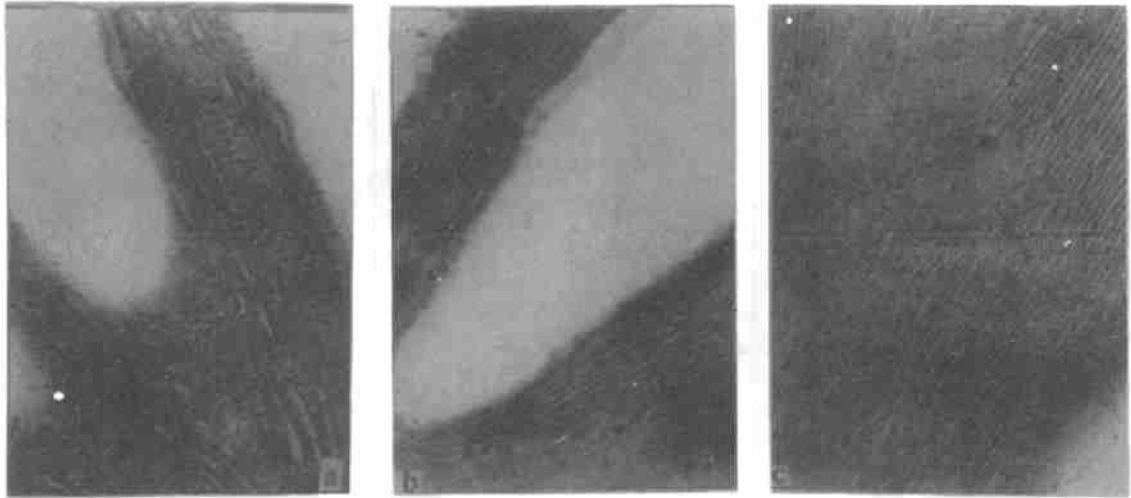
图 1 菜豆新叶中活性铁含量与叶绿素含量的关系

Fig.1 The correlation between active Fe content and chlorophyll content in young leaves of bean plants

2.3 三种因素对菜豆体内铁再利用效率的影响

上述结果业已表明, 铁的供应状况、两种形态氮素以及叶片遮光对菜豆植株的铁营养状况都有一定程度的影响, 主要原因是它们都影响了植株体内铁的再利用。

利用同位素示踪技术测定了植物体内铁的再利用效率(表 3)。结果表明, 缺铁明显提高了铁的再利用效率, 处理 3 天时, NO_3^--N 、 NH_4^+-N 处理菜豆体内铁的再利用效率较加铁时分别提高了 2.89 和 0.93 个百分点, 处理 6 天时分别提高了 2.12 和 6.42 个百分点, 处理 10 天时则分

a: NO_3^- -N, 不遮光 b: NO_3^- -N, 遮光 c: NH_4^+ -N, 不遮光照片 1 氮素形态和叶片遮光对缺铁菜豆新叶叶绿体超微结构的影响($\times 500000$)Photo 1 Effect of nitrogen forms and shading on chloroplast ultrastructure in young leaves of bean plants under Fe-deficient conditions ($\times 500000$)

别提高了 3.73 和 5.08 个百分点。无论是何种供铁条件下, NH_4^+ -N 处理比 NO_3^- -N 处理更有利于提高菜豆体内铁的再利用效率。在缺铁条件下, 处理 3 天时两种氮素形态间差异不明显, 处理 6 天和 10 天时, NH_4^+ -N 营养菜豆体内铁的再利用效率比 NO_3^- -N 处理分别提高了 8.21 和 4.77 个百分点; 在加铁条件下, 处理 3 天、6 天、10 天时, NH_4^+ -N 营养菜豆体内铁的再利用效率比 NO_3^- -N 处理分别提高了 1.82、3.91 和 3.42 个百分点。无论在缺铁还是供铁条件下, 叶片遮光均使植物体内铁的再利用效率明显提高。缺铁时, NO_3^- -N 处理菜豆体内铁的再利用效率在遮光处理 3 天和 7 天时分别提高了 6.40 和 5.31, NH_4^+ -N 处理则分别为 4.16 和 4.48; 供铁时, 前者分别为 4.43 和 6.69, 后者分别为 1.39 和 5.54。由此可见, 铁缺乏、供给 NH_4^+ -N 以及叶片遮光都可使菜豆植株体内铁的再利用效率显著提高。

表 3 三种因素对菜豆体内铁再利用效率* 的影响(%)

Table 3 Effect of Fe supply, nitrogen forms and shading on the reutilization efficiency of Fe in bean plants (%)

处理时间 Treatment time	处理 treatment	NO_3^- -N		NH_4^+ -N	
		不遮光 unshading	遮光 shading	不遮光 unshading	遮光 shading
处理 3 天	-Fe	8.41a		8.27a	
	+Fe	5.52b		7.34a	
处理 6 天	-Fe	11.50cd	17.90b	19.71b	23.87a
	+Fe	9.38d	13.81c	13.29c	14.68c
处理 10 天	-Fe	15.99c	21.30b	20.76b	25.18a
	+Fe	12.26cd	18.95b	15.68c	21.22b

* 铁再利用效率=新叶中 ^{59}Fe 的总量/整株植株中 ^{59}Fe 的总量。

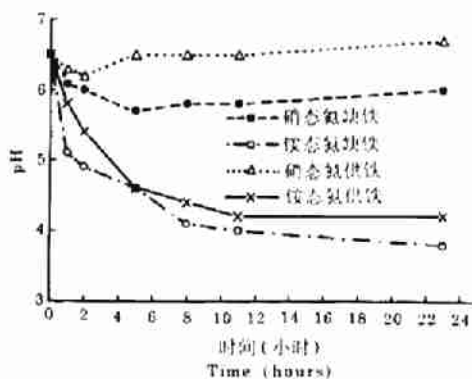
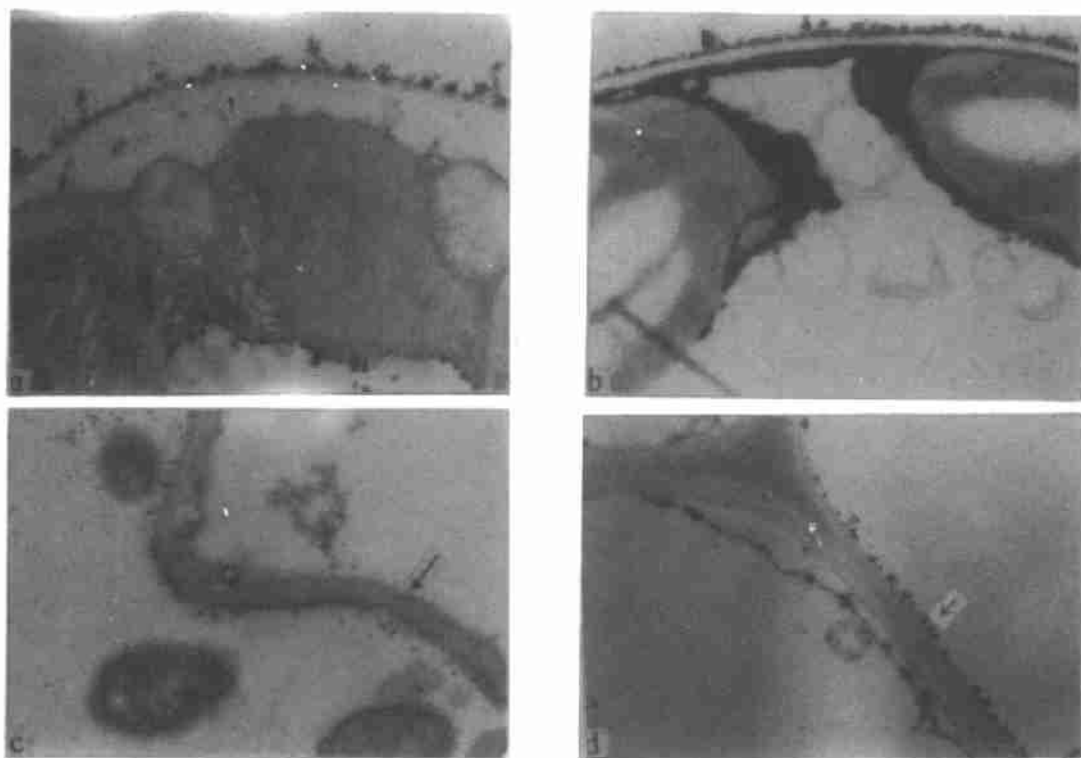


图2 菜豆营养液 pH 值随时间变化的曲线图
(起始 pH 为 6.5)

Fig.2 Effect of Fe and nitrogen forms on pH change in nutrient solution of bean plants (initial pH of 6.5)

2.4 不同形态氮素和铁的供应状况对根际 pH 值变化的影响

两种形态氮素和铁的供应状况对菜豆体内铁的再利用效率都有不同程度的影响,但作用的强度不同,原因之一是它们对菜豆生长介质 pH 值变化的影响不同。图 2 是菜豆幼苗生长介质的 pH 值变化曲线。结果表明,更换营养液后,介质 pH 值变化很快,缺铁时,处理 1 小时后, NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 处理介质 pH 值分别下降了 0.4 和 1.4 个 pH 单位;供铁时, NO_3^- -N 处理介质的 pH 值只下降了 0.2 个单位,而 NH_4^+ -N 处理的介质 pH 值仍有较大幅度的下降。23 小时后,供应 NH_4^+ -N 时,缺铁和加铁处理 pH 值分别下降了 2.7



a: NO_3^- -N, 叶肉细胞 b: NH_4^+ -N, 叶肉细胞
c: NO_3^- -N, 根表皮细胞 d: NH_4^+ -N, 根表皮细胞

照片 2 两种形态氮素对缺铁菜豆细胞原生质膜上 ATPase 活性的影响

(a, b, d $\times 8300$; c $\times 13000$)

Photo 2 Effect of nitrogen forms on the ATPase activity on plasma membrane of bean plants under Fe-deficient conditions (a, b, d $\times 8300$; c $\times 13000$)

和 2.3 个单位;而供应 NO_3^- -N 时, 缺铁处理介质 pH 值于起始值相比下降了 0.5 个单位, 供铁处理与起始值相比只升高了 0.2 个单位, 但与最低时相比则升高了 0.5 个单位。可见, 即使在供应 NO_3^- -N 时, 缺铁菜豆介质 pH 值仍然降低。

2.5 缺铁条件下, 两种氮素形态对菜豆细胞原生质膜上 ATPase 活性的影响

两种氮素形态对菜豆新叶中 ATPase 活性影响显著(照片 2, a, b, c, d)。供应 NO_3^- -N 的菜豆, 叶肉细胞原生质膜上 ATPase 活性很弱, 没有明显的酶反应, 铅沉淀的颜色很浅;而供应 NH_4^+ -N 时, 几乎在整个细胞膜上都有明显的酶反应, ATPase 活性较强。在根中也有同样的反应: NO_3^- -N 处理菜豆根表皮细胞原生质膜上酶反应较弱, 而 NH_4^+ -N 处理则较强。

3 讨 论

Mass 等人在 1988 年就明确提出, 外界铁的供应状况对韧皮部中铁的移动性有很大的影响。当外界铁供应不能满足植物正常生长需要时, 它在体内的移动性明显增加, 反之则其移性较小^[15]。本文的试验结果也表明, 铁的缺乏可使菜豆体内铁的再利用效率增加 1-6 个百分点, 这说明在缺铁条件下, 植物可通过提高体内铁的移动性来部分缓解铁的缺乏。这是因为, 在缺铁条件下, 植物具有活化体内贮藏的铁的机制, 如双子叶植物能分泌大量的酚类化合物来增加铁的移动性, 增加根质外体还原系统的活性^[7], 最终增加根表面和根质外体中累积的铁向细胞内的运输, 而在铁供应充足时, 这些活化机制的作用明显减弱甚至完全消失。本实验通过测定培养介质 pH 值和根际 pH 值的观察发现, 在缺铁条件下, 菜豆根际有明显的酸化, 这是植物适应缺铁的机制之一, 因此, 在缺铁条件下, 无论供应 NO_3^- -N 还是 NH_4^+ -N, 菜豆体内累积铁的再利用效率都明显提高, 因为对于缺铁的植株来说, 只有利用体内累积的这部分铁才能满足其正常生长的需要。而对于正常供铁的植株, 外界铁的供应完全可以保证其生长和发育的需要, 而不需要通过各种活化机制来提高体内铁的再利用, 当然, 体内铁的移动是一个动态过程, 即使在供铁条件下, 体内铁也可转移到生长活跃的组织供其利用, 只是比例较小。

由于两种氮素形态在吸收、体内的运转、同化等方面都存在一定的差异^[10], 因此, 它们对体内铁的再利用的影响也不同。植物吸收 NH_4^+ -N 后一般是等量地分泌质子, 致使根际 pH 大幅度降低^[5], 而吸收 NO_3^- -N 后, 大约只有 1/3 的 HCO_3^- 或 OH^- 分泌到介质中, 因此根际 pH 升高的幅度较小, 但对于根际微环境也有较大的影响^[18]。介质中这种 pH 的变化在水培条件下, 主要影响到根系表面的铁向细胞内的转移。所以, 供应 NO_3^- -N 时, 虽然根中累积的铁的量显著高于 NH_4^+ -N 处理, 但一旦外界停止供铁, 新叶就出现黄化, 其中一个原因就是铁运输受阻, 体内铁的再利用效率不高。本文实验结果表明, 供应 NO_3^- -N 时, 菜豆生长介质的 pH 值只升高了 0.5 左右, NH_4^+ -N 处理则下降了 2.5 个 pH 单位左右, 与之相联系的是前者处理的缺铁菜豆新叶出现了黄化, 后者却没有。

同时, 这两种氮素形态还对细胞原生质膜上 ATPase 酶的活性有较大的影响, 这也会进一步影响到根和初生叶中累积的铁的再利用。Marschner(1991)提出一种假设, 认为在细胞质膜上存在 ATPase 酶, 质外体中 H^+ 浓度的增加将会激活膜上的 ATPase, 使其

将 H^+ 泵到质外体中, 同时使铁等阳离子进入细胞内, 而且 H^+ 进入质外体后还会进一步活化其中的铁使其移动性增强, 更有利于运输^[14]。本试验结果表明, NH_4^+-N 的供应使缺铁菜豆新叶细胞原生质膜上 ATPase 的活性增强(照片 2), 这就为质外体中累积的铁提供了进入细胞质的还原力。同时, 供应 NH_4^+-N 的根细胞原生质膜上 ATPase 的活性也明显高于 NO_3^--N 处理(图版 II), 提高了根质外体中铁的再利用效率。有关这方面的工作还有待于利用更先进的试验技术, 如质外体分析技术的进一步确证。有资料表明, 质外体 pH 值的变化对于象铁这类阳离子的移动性有较大的影响。而两种形态氮素对质外体 pH 值变化的影响明显不同。有研究表明, NO_3^--N 的供应使植物体细胞质外体 pH 升高, 而 NH_4^+-N 使植物细胞质外体 pH 降低^[16]。质外体 pH 的降低使得铁的移动性增加, 促使根或叶片质外体中的铁进入木质部并向上运输或转变成韧皮部可移动的形式, 由韧皮部进入生长活跃的组织。 NH_4^+-N 的供应有利于提高铁的再利用效率, 一个很重要的方面可能就是能使质外体 pH 值降低。

由此可见, NH_4^+-N 的供应使介质 pH 和质外体 pH 降低、细胞质膜上 ATPase 酶活性增加, 使得菜豆体内铁的再利用效率比 NO_3^--N 处理提高了 3-5 个百分点左右, 最大时可达 8 个百分点左右。这对于利用效率较低的铁来说也是相当可观的。

本试验还通过叶片遮光来研究了叶片衰老对体内铁再利用效率的影响。有资料表明, 遮光促进了叶片的衰老^[11], 导致叶绿体解体, 大分子物质分解成小分子物质^[20], 因此与之相结合的铁的移动性也明显增强, 有利于铁的向外转移; 同时, 叶片遮光后, 其生长速率大大降低, 没有光合能力, 减少了与新叶竞争养分和碳水化合物的能力^[21], 使得更多的铁能够运到新生组织满足其生长发育的需要。本文的试验结果也清楚地验证了这一点, 菜豆叶片遮光处理 10 天后, 其叶绿体结构遭到严重破坏, 几乎没有完整的结构¹⁾, 但是体内铁的再利用效率却比未遮光处理提高了 6 个百分点左右, 这对于提高体内铁的再利用效率有不可低估的意义。

综上所述, 植物体内养分再利用的潜力是很大的, 关键是如何采取切实可行的措施来挖掘它。本实验所讨论的三个影响因素: 铁的供应状况、两种氮素形态以及叶片遮光对植物体内铁的再利用效率都有较大的影响。在缺铁条件下, NH_4^+-N 的供应不但可使体内铁的再利用效率提高 3-5 个百分点, 而且可以使新生组织中活性铁和叶绿素含量明显增加, 显著改善了新叶的铁营养状况, 使得菜豆即使在缺铁条件下新叶也不出现黄化现象, 这一结果是否能直接应用于田间还有待于进一步的实验来验证, 但从本文至少可以得到一些有益的启示, 在田间结合硝化抑制剂施用铵态氮肥可能是解决植物缺铁问题的一条新途径。在实际生产中也不可能采取直接遮光的措施来提高铁的利用效率, 然而采用激素等调节物质加速无效组织的衰老, 使得其中的养分迅速转移到生长活跃的组织, 对解决缺铁问题也有一定的意义。

参 考 文 献

1. 孙敬三、钱迎春, 1987: 植物细胞学研究。科学出版社。

1) 邹春琴, 1995: 提高玉米和菜豆铁营养效率的途径及其机理。博士论文。北京农业大学。

土 壤 学 报

ACTA PEDOLOGICA SINICA

中国土壤学会主办

第 34 卷

第 4 期

Vol. 34

No. 4

1997

科 学 出 版 社 出 版

FACTORS AFFECTING REUTILIZATION EFFICIENCY OF IRON IN BEAN PLANTS AND THEIR MECHANISM

Zou Chunqin Zhang Fusuo and Mao Daru

(Department of Plant Nutrition in CAU, Beijing 100094)

Summary

The effects of iron supply, nitrogen forms (NO_3^- -N and NH_4^+ -N) and primary-leaves-shading on reutilization efficiency of Fe in bean plants and their mechanism were studied in nutrient solutions under controlled conditions. The ^{59}Fe isotopic method was also used to identify the iron reutilization efficiency. The results showed that Fe deficiency could enhance Fe translocation to young leaves from roots and primary-leaves, thus increasing Fe reutilization efficiency. The plants added with NH_4^+ -N had a much higher content of active Fe, more chlorophyll in young leaves and high Fe reutilization efficiency, much better ultrastructure chloroplast than those fed with NO_3^- -N, and these were true both in Fe-sufficient and deficient treatments. No chlorosis occurred in young leaves of bean plants fed with NH_4^+ -N under Fe-deficient condition. More active Fe and 6 percent enhancement in Fe reutilization efficiency were found in the primary-leaves-shading treatment, which improved Fe nutrition in young leaves of Fe-deficient plants fed with NO_3^- -N. All these results demonstrated that both NH_4^+ -N and primary-leaves-shading had a beneficial effect on increasing Fe reutilization efficiency, improving Fe nutrition in young leaves and depressing chlorosis symptom in bean plants.

Key words Bean plant, Nitrogen form, Primary-leaves-shading Fe supply, Fe reutilization efficiency