



苹果的铁素营养

山东科学技术出版社

苹果的铁素营养

于绍夫 曲复宁 编著

苹果的铁素营养

于绍夫 曲复宁 编著

*

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山东人民印刷厂印刷

*

850×1168毫米32开本6.625印张 145千字

1985年11月第1版 1985年11月第1次印刷

印数：1—11,100

书号 16195·118 定价 1.80元

前 言

自从十九世纪四十年代，人们已确认，“铁”是植物生长发育必需的营养元素之一。一个多世纪来，人们为研究和改善植物的铁素营养，付出了艰辛的劳动，进行了大量的工作，取得了可喜的进展。然而，在苹果生产中，因缺铁而引起的失绿、黄化，仍然是一个普遍而严重的问题。据估计，全世界栽培的苹果中，发生缺铁失绿的面积约占10%。在我国华北、西北、黄河故道，以及渤海湾等苹果主产区，苹果的缺铁失绿、黄化，更是一个亟待解决的普遍问题。

由于铁在土壤中，受以pH值和氧化还原反应为主的诸多因素的影响；由于铁在植物体内的较难移动特性，就为铁素营养的改善和缺铁失绿的矫正，增加了许多困难。因此，有的学者慨叹：“铁是难以捉摸的元素”。

近年来，我们以苹果缺铁失绿的矫正和防治为中心，对缺铁失绿的生态学、生理学，以及栽培技术等方面，进行了比较广泛的研究。特别是叶面喷布黄腐酸二胺铁和尿素铁的措施，对于矫正和防治苹果的缺铁失绿来说，已经取得了显著的效果，并已在生产中大面积推广应用。

为了有效地解决当前苹果生产中的缺铁失绿问题，我们根据自己的研究，参阅国内外有关矿质营养方面的研究资料，编写了《苹果的铁素营养》一书。编写过程中，从生态学的角度出发，注重按照“生物型谱”，即“细胞→组织→器官→

个体→群体”的层次关系，对铁的主要生理功能，铁的给源——土壤铁的有效化，铁的吸收、运输机制，土壤营养诊断和叶分析诊断，以及缺铁失绿的矫正和防治等，进行了比较系统、深入地论述。为了进一步提高苹果铁素营养研究的水平，对于有关的测试和资料统计分析方法，也作了必要的介绍。一些与铁营养研究有关的问题，也在附录中一一列出。

尽管如此，由于编著者的水平所限，对于苹果铁素营养这样一个复杂问题的论述，难免有片面和不足之处。对于本书所存在的缺点和错误，敬希读者不吝指教，以便再版时修改补充。

编著者

一九八四年六月

目 录

第一章 铁的主要生理功能和缺铁对苹果树生长

结果的影响1

第一节 铁的主要生理功能1

一、铁在叶绿素生物合成中的作用1

二、铁对叶绿素与蛋白质结合牢固性的影响10

三、铁对叶片细胞超微结构的影响11

四、铁与光合作用的关系15

五、铁与呼吸作用的关系21

六、铁在其他代谢过程中的作用25

第二节 缺铁失绿对苹果树生长结果的影响26

一、叶片缺铁失绿的症状与症状鉴别26

二、我国苹果缺铁失绿的情况27

三、缺铁对苹果树体生长的影响30

四、缺铁对苹果树结果的影响32

第二章 土壤中的铁及土壤铁素营养的诊断33

第一节 土壤中鉄的含量和形态33

一、土壤中鉄的总含量33

二、土壤中鉄的形态34

第二节 土壤中鉄的有效化过程37

一、pH值对土壤鉄有效性的影响37

二、土壤的氧化还原反应与土壤鉄的有效性39

三、我国土壤的pH值与土壤鉄有效性的关系40

第三节 土壤铁素营养的诊断	41
一、土壤铁素营养诊断的原理、内容和步骤	41
二、土壤分析样品的采集和处理	42
三、土壤中铁的测定方法	43
四、土壤有效性铁盈亏范围的判断	48
第三章 铁的吸收、运输和叶分析	51
第一节 土壤离子向根系表面的迁移	51
一、根截获	51
二、质流(集体流)	52
三、扩散	52
四、离子迁移三个过程间的关系	54
第二节 根系对离子的吸收及离子在植株内的 运输	54
一、根系吸收离子的一般过程和机制	54
二、离子在根系和植株内的运输	70
第三节 铁的吸收、运输及其影响因素	73
一、pH值	73
二、石灰含量	75
三、重碳酸盐	76
四、土壤空气	80
五、营养平衡	81
六、品种、砧木组合	84
七、其他因素	85
第四节 叶分析	86
一、叶分析的基本原理	86
二、叶片的采集和处理	87
三、叶片含铁量的测定	89

四、叶片铁诊断指标的商榷·····	94
五、矫正缺铁意见的提出·····	97
第四章 缺铁失绿的矫正和防治 ·····	102
第一节 防治缺铁失绿的原则·····	102
第二节 防治缺铁失绿的主要方法·····	103
一、选择适宜的栽培土壤·····	103
二、选择适宜的品种、砧木组合·····	104
三、合理灌水、施肥·····	107
四、调整果实负载量·····	113
五、叶面喷布铁盐溶液·····	114
六、土壤局部富铁·····	123
七、铁盐溶液浸根防治·····	125
八、树干打孔注射铁盐溶液·····	128
九、土壤施用有机螯合铁·····	129
第五章 苹果铁素营养的研究方法和资料的统计 分析 ·····	133
第一节 铁素营养研究的田间试验方法·····	133
一、田间调查方法·····	134
二、防治试验方法·····	139
第二节 实验数据的整理、统计与分析·····	142
一、平均数·····	142
二、标准差·····	144
三、变异系数·····	147
四、显著性测验·····	148
五、方差分析·····	156
六、相关和回归分析·····	170
〔附录〕 ·····	179

1. 叶片叶绿素含量的测定方法	179
2. 叶绿素与蛋白质结合牢固性的测定方法 (X·H·波钦诺克推荐)	181
3. 土壤中碳酸根和重碳酸根离子的测定方法 (中国土壤学会农业化学专业委员会推荐)	184
4. 土壤中氯离子的测定方法(莫尔法, 中国农 科院果树研究所推荐)	187
5. 土壤pH值的测定方法(中国土壤学会农业化 学专业委员会推荐)	189
6. 土壤氧化还原电位的测定方法(铂电极直接 测定法, 中国土壤学会农业化学专业委员 会推荐)	192
7. 土壤中有效锰的测定方法(中国农科院果树 研究所推荐)	195
8. 叶片过氧化物酶活性的测定方法(X·H·波 钦诺克推荐)	197
9. 叶片过氧化氢酶活性的测定方法(X·H·波 钦诺克推荐)	199
10. 半叶干重法测定叶片光合生产率(改良半 叶法)	202

第一章 铁的主要生理功能 和缺铁对苹果树生 长结果的影响

已知的92种天然元素中，在植物体内已发现有60种之多。自从1843年法国学者格瑞斯（Gris）发现缺铁会诱致植物失绿以来，已经证明：铁是植物所必需的16种营养元素之一。在大多数高等植物的叶片中，铁的含量虽然只有0.3%，在苹果叶片中虽然也只有100~300ppm，但是，因为铁对叶绿素的生物合成，对叶绿素与蛋白质结合的牢固性，对许多酶促反应，以及光合、呼吸反应和核酸的生物合成过程等，都有着重要的影响，所以，当苹果树缺铁时，就会削弱生长结果能力。严重时，还会造成整株死亡。

第一节 铁的主要生理功能

一、铁在叶绿素生物合成中的作用

铁虽然不是叶绿素的组成成分，但却是叶绿素生物合成过程中不可缺少的酶的辅基。缺铁，就会影响叶绿素生物合成过程的正常进行。

（一）叶绿素的生物合成过程

绿色植物中的叶绿素，是由以镁为中心的4个吡咯环组成

的卟啉化合物。主要有叶绿素a和叶绿素b等两种。其化学结构式如图1所示。

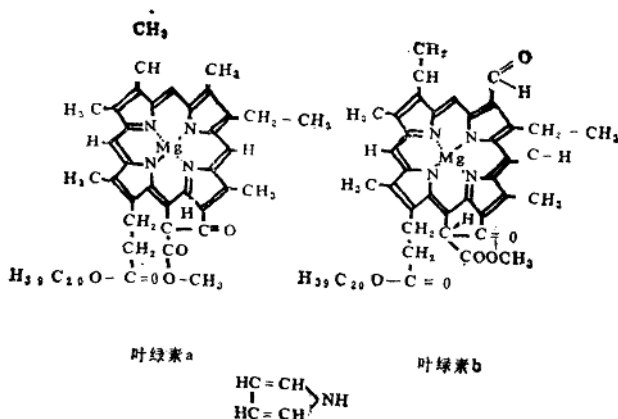


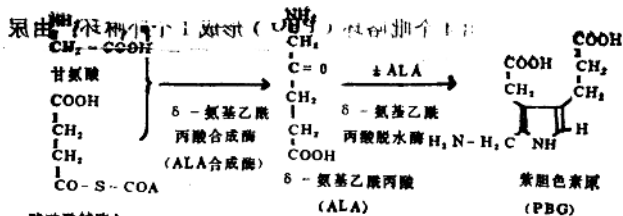
图1 叶绿素的化学结构式

两种叶绿素在化学结构上的差别是，在卟啉环中第2个吡咯环的第3个碳原子上，叶绿素a联有一个甲基（ $-\text{CH}_3$ ），叶绿素b联有一个甲醛基（ $-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ // \\ \text{H} \end{smallmatrix}$ ）。

在绿色植物体内，叶绿素生物合成的一般过程是：甘氨酸在吡哆醛磷酸酶的作用下，与吡哆醛结合而被活化。琥珀酸在琥珀酸辅酶A合成酶的作用下，与辅酶A结合而被活化。接着，两者在 δ -氨基乙酰丙酸合成酶（ALA合成酶）的作用下，经过脱羧而合成 δ -氨基乙酰丙酸（ALA）。此后，在ALA脱水酶的作用下，由两个ALA分子，在其羧基部分进行醇醛缩合，形成5环的紫胆色素原（PBG），完成吡咯环的生物合成

过程。这是叶绿素生物合成过程中的最初阶段。

接下去，即由4个吡咯环(PBG)形成1个卟啉环^{III}由尿原I(U—I)合成酶和PBGδ一位碳素相结合的一CH₂—NH₂，与另一种PBG β一位碳素相结合的一CH之间，依次进行脱氨基缩合，形成尿卟啉原(尿原)I。在这一反应过程的某些阶段，尿原Ⅲ辅合成酶(U—Ⅲ—COS)起着作用时，1分子的PBG进行一次旋转而缩合，形成尿卟啉原(尿原)Ⅲ。尿原Ⅲ在尿卟啉原脱羧酶的作用下，其支链的醋酸全部被脱羧而变成甲基，变成粪卟啉原Ⅲ。粪卟啉原Ⅲ在有氧的条件下，通过粪卟啉原氧化酶变成原卟啉Ⅲ(图2)。再由原卟啉Ⅲ，经过下列过程形成叶绿素a；在有铁存在时，生成亚铁血红素；在有镁存在时，生成镁—原卟啉(Mg—Pro)。在S—腺苷基蛋氨酸—Mg—原卟啉甲基转移酶的参与下，由Mg—原卟啉(Mg—Pro)生成Mg—原卟啉—甲酯(Mg—Pro—M)。在这一阶段，先由原叶绿素酯吡咯环C上的丙酸甲酯，生成环戊酮环。然后，吡咯环B上的乙烯基进行还原，生成乙基。其后的生物合成过程是：由原叶绿素酯a与蛋白质相结合，形成原叶绿素酯a全色素。在光的作用下，还原为叶绿素酯a全色素。最后，叶绿醇与D环丙酸生成酯，形成叶绿素a全色素。现已分离并提纯出分子量5~14×10⁶的椭圆形蛋白质—原叶绿素酯。因此，认为以上过程是叶绿素生物合成的主要途径。另外，还有一种意见认为，叶绿素a的生物合成过程，是由原叶绿素酯a→原叶绿素a→原叶绿素a全色素→叶绿素a全色素的途径(图3)。这一途径，迄今尚未有实验证据。至于绿色植物中另一种叶绿素成分——叶绿素b的生物合成过程，也同叶绿素a一样，经由相同的途径。



琥珀酰辅酶A

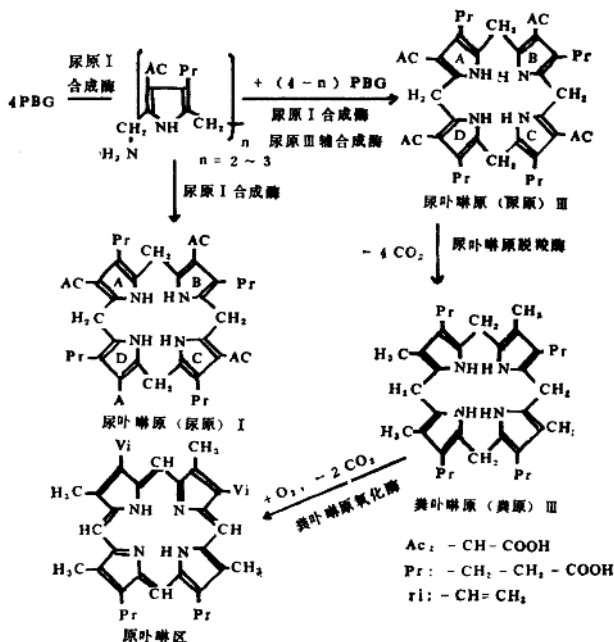


图 2 卟啉的生物合成途径

铁就会诱致苹果叶片发生失绿症。据于绍夫等(1983)研究,苹果叶片的含铁量与叶绿素含量之间,具有显著的正相关关系,相关系数 $r = 0.48^*$ ($t = 2.49$, $t_{\alpha 0.05} = 2.08$, 图4)。由于

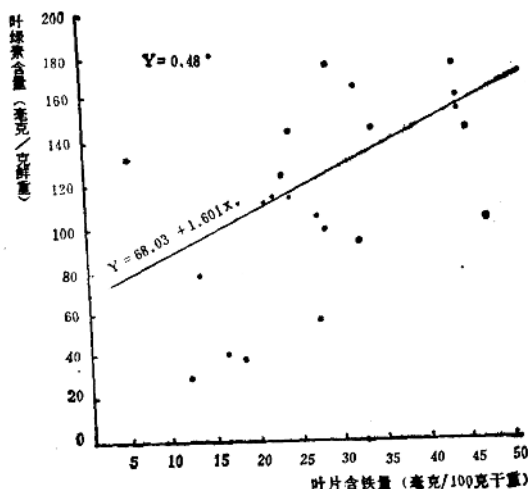


图4 苹果叶片含铁量与叶绿素含量间的相关回归
(于绍夫等, 1983)

叶片含铁量、叶绿素含量的不同,所表现出的叶色也不一样。当红香蕉、国光、金帅、红玉、秋花皮等品种,叶片含铁量为439~557.5ppm;青香蕉、富士、大国光、伏花皮等品种,叶片含铁量为230~340ppm;或者当叶片的叶绿素含量为1.4205~1.7304毫克/克鲜重时,叶片均不发生失绿或黄化。而当红香蕉、国光、金帅、秋花皮等品种,叶片的含铁量下降为164~324ppm;青香蕉、富士、大国光、伏花皮等品种,叶片的含铁量下降为250~273ppm;或者当叶片的叶绿素含量下降为

0.9194~1.4288毫克/克鲜重时，叶片就会发生失绿。当红香蕉、国光、金帅、秋花皮等品种，叶片含铁量进一步下降为84~273ppm，叶绿素含量下降为0.3674~1.1102毫克/克鲜重时，叶片就会发生严重黄化（表1、表2）。吴兆明等（1963）在河北保定（图5），苏爱珠等（1983）在山东济南（表3），

表1 苹果叶片含铁量与叶色的关系（于绍夫等，1983）

品 种	叶 色	含铁量 (ppm)
青 香 蕉	正失	292
	失	230
	黄	161
红 香 蕉	正失	452
	失	211
富 士	正失	340
	失	273
国 光	正失	439
	失	324
	黄	273
金 帅	正失	443
	失	280
	黄	132
红 玉	正失	557.5
	失	474
	黄	180
秋 花 皮	正失	439
	失	240
	黄	182
大 国 光	正失	322
	失	240
伏 花 皮	正失	340
	失	273

表2 苹果叶片叶绿素含量与叶色的关系(于绍夫等, 1983)

品 种	叶 色	叶绿素含量 (毫克/克鲜重)
青 香 蕉	正失	1.7355
	失	1.2338
	黄	0.3980
红 香 蕉	正失	1.4275
	常绿	1.1024
富 士	正失	1.4205
	常绿	1.0404
国 光	正失	1.5807
	失	0.9194
	黄	0.5518
金 帅	正失	1.5166
	失	0.9789
	黄	0.7711
红 玉	正失	1.1497
	失	1.0054
	黄	0.3674
秋 花 皮	正失	1.7304
	失	1.4288
	黄	1.1102
大 国 光	正失	1.6464
	常绿	1.1227
伏 花 皮	正失	1.4275
	常绿	1.1296

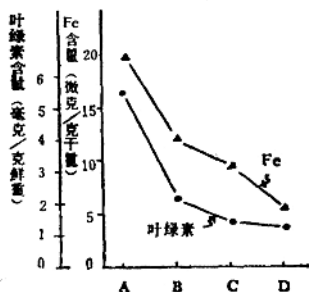


图5 苹果不同程度失绿叶内叶绿素含量与含铁量的关系(吴兆明等, 1963)

- A、正常叶
B、轻度失绿叶
C、较重失绿叶
D、严重失绿叶