第16卷 第2期　　土 壤 学 报　　Vol. 16, No. 2
1979 年 5 月　　ACTA PEDOLOGICA SINICA　　May, 1979

在石灰性土壤上硫酸亚铁防治苹果黄叶病的研究*

周正卿 邸三多 王锡民 黄俊杰 寇锡琴 陈宝祥
（河北农业大学）

果树黄叶病（失绿症）是由于缺铁而引起的生理病害。这种病害在我国西北、华北等地区发病相当普遍，有的果园发病率竟达 20%—60%，病重者甚至死亡。用无机铁盐来防治这种病害，迄今已有一百多年的历史了。但用硫酸亚铁来防治黄叶病的效果并不令人满意。

关于硫酸亚铁的施用问题，采用叶面喷施或树干注射，对黄叶病的防治都只能产生暂时的，局部的效用。而施入土壤，一般认为无效（Guest et al., 1949; 小林章, 1964），只有施用量很高（100 多磅/株，酸性土）时方有效（Leonard et al., 1953）。据我们过去和现有的大面积田间试验资料来看，只要施用方法得当，对每棵成年大树，即使只施用 4—6 斤硫酸亚铁，也能产生良好的防治效果。

近二十多年来，国外对螯合铁防治黄叶病的效用（Leonard, 1953; Bould, 1955; Higdon, 1957）及其在土壤中的转化进行了研究。用螯合铁喷施叶面，也只能产生暂时局部的作用，施用于土壤的效果良好，效力可持续一年左右。由于螯合铁的价格昂贵，妨碍其广泛使用（Giordano et al., 1972）。

为了从理论上阐明土壤施用硫酸亚铁对黄叶病防治效应良好的机制问题，我们对铁在土壤和有机肥中的转化，存在形态及含量等问题进行了研究，研究结果表明，硫酸亚铁施入土壤或加入有机肥料中，能显著提高土壤肥料中有效铁的含量，肥效良好，但也存在铁的固定问题。现将试验结果分述于后。

一、试验材料及方法

1975 年在本校农场果园内进行试验。试验面积 345 亩，供试土壤为脱沼泽浅色草甸土，含有碳酸盐，土壤质地为表层中壤，中层重壤，下层中壤。灌溉水 pH 值为 7.60。供试树树龄为 19—20 龄，共 719 棵，其中重病 194 棵，中病 201 棵，轻病 326 棵。试验处理共 15 个（表 1）。

（一）防治方法

1. 见根穴施铁肥法　　在见根的情况下，将硫酸亚铁，或硫酸亚铁加有机肥混合集中

* 邸三多、王锡民、黄俊杰、寇锡琴、陈宝祥为河北农业大学农场。

穴施入土。具体方法是：(1) 沿树冠外围，视根的分布状况，酌情挖穴，并露出根，穴的直径约 45 厘米，穴深以见较多根为准。每树施肥穴数，根据树的大小而定。试验用树为大

表 1 硫酸亚铁对苹果黄叶病的防治效应

试验处理（每株用量）	总株数	处理前失绿病况(%)			处理后病树复绿情况(%)			
		轻病	中病	重病	无病	轻病	中病	重病
未施肥	4		50.0	50.0			50.0	50.0
马粪 40 斤	4		50.0	50.0			50.0	50.0
硫酸亚铁 4 斤	177	58.2	19.2	22.6	65.0	17.0	5.0	13.0
硫酸亚铁 4 斤＋马粪 40 斤	61	36.1	36.1	27.8	85.2	8.2	3.3	3.3
2% 硫酸亚铁溶液浸根	2			100		100		
2% 硫酸亚铁溶液浸根＋硫酸亚铁 4 斤＋马粪 40 斤	61	45.9	34.4	19.7	100			
2% 硫酸亚铁溶液浸根＋硫酸亚铁 2 斤＋马粪 40 斤	8	37.5	37.5	25.0	100			
2% 硫酸亚铁溶液浸根＋硫酸亚铁 2 斤＋腐殖酸铵 20 斤	31	32.3	22.6	45.1	100			
硫酸亚铁 4 斤＋棉籽饼 40 斤	32	25.0	28.1	46.9	81.3	9.4	3.1	6.2
硫酸亚铁 4 斤＋棉籽饼 40 斤（施后立即浇水）	46	28.3	52.2	19.5	95.6	4.4		
硫酸亚铁 4 斤＋木屑 40 斤	157	54.8	29.9	15.2	71.3	15.9	8.3	4.5
硫酸亚铁 2 斤＋腐殖酸铵 20 斤（施后立即浇水）	10			100	60	30	10	
硫酸亚铁 6 斤＋马粪 42 斤	106	50.0	28.3	21.7	79.1	10.4	4.7	5.8
硫酸亚铁 3 斤＋腐殖酸铵 21 斤（施后立即浇水）	6			100	100			
硫酸亚铁 4 斤＋腐殖酸铵 20 斤（施后立即浇水）	4			100	100			

树，每树 8—10 个穴。(2) 铁-有机混合肥的调制，硫酸亚铁分别与有机肥料马粪、棉籽饼（发酵一星期）、木屑、腐殖酸铵等按不同比例混合（表 1），调制成铁-有机混合肥。调制时，先用水将有机肥湿润，使含水量达 50% 左右，然后将预先用粉碎机粉碎好的硫酸亚铁均匀撒在有机肥上，随加随充分混匀，或将硫酸亚铁溶于水，然后喷撒在有机肥上。(3) 将调制好的铁肥施入穴中，然后覆土。

2. 穴施铁液浸根法　(1) 挖穴露根同上法；(2) 将 2% 硫酸亚铁溶液倒入穴中进行浸根；(3) 每树用量 120—150 斤，每穴 15 斤溶液；(4) 浸根时，待溶液自然渗下，约需 15分钟以后覆土。病树的断根及邻近的根可在短时内吸收较多的铁。

3. 穴施铁液浸根-见根穴施铁肥综合法　这是以上两法的综合运用。即先用硫酸亚铁溶液浸根，然后施入铁-有机肥。

试验施肥日期在 4 月 28 日至 6 月 5 日进行。

（二）室内试验

为了探索硫酸亚铁在土壤和有机肥中铁的转化，存在形态及含量，进行了室内试验。试验分土壤和有机肥料两组。硫酸亚铁分别与土壤、有机肥按不同比例混合，各组处理见表 3。每一处理如混合比为 1:50，即称取土壤样品（或有机肥）5 克和硫酸亚铁 0.1 克各三份，两者混合成三份，分别盛于三个 250 毫升三角瓶中，然后各加入 5 毫升蒸馏水，并充分混合，于室内放置两天，令其充分反应。在放置过程中摇动两次，两天后进行测定：(1) 第一份加入 50 毫升蒸馏水，用于测定水溶态铁；(2) 第二份加入 3% $AlCl_3$（pH3.5）50 毫升，用于测定代换态铁（代换态铁＝(2)－(1)）；(3) 第三份加入 50 毫升 3% $AlCl_3$ 和 0.2% 对苯二酚溶液，用于测定易还原态铁（易还原态铁＝(3)－(2)）；其它形态铁＝总铁量－(3)。将加有试剂的三角瓶置振荡机上振荡提取一小时，所得滤液备测定用。铁的测定采用邻菲啰啉比色法，以 71 型光电比色计测定；用雷磁 25 型酸度计测定水溶态铁滤液的 pH 值。

二、结果和讨论

（一）硫酸亚铁对苹果黄叶病的防治技术及防治效果

关于土壤施用硫酸亚铁对果树黄叶病的防治问题，前人研究，曾采用过高压注入法（Guest et al., 1949），深穴法（沈隽等，1951），表土施用或打孔施入（Leonard et al., 1953），但均未能见效。土壤施用硫酸亚铁防治黄叶病有无效应的问题，我们认为与施用方法和施用量有关。大量田间试验材料说明，用见根穴施铁肥法，或穴施铁液浸根法，或综合法，将硫酸亚铁，或硫酸亚铁溶液，或铁-有机肥施入土壤，都能对黄叶病产生良好的防治效果。全部试验除单独施用有机肥料未能见效外，其它处理的效果都是显著的（表 1）。

1. 见根穴施硫酸亚铁-有机混合肥　从表 1 的资料说明，在病树树冠外围 8—10 个穴中，施入 1:10（硫酸亚铁-马粪、硫酸亚铁-棉籽饼、硫酸亚铁-木屑、硫酸亚铁-腐殖酸铵），1:7（硫酸亚铁-马粪、硫酸亚铁-腐殖酸铵），1:5（硫酸亚铁-腐殖酸铵）的硫酸亚铁-有机混合肥，对黄叶病都有良好的防治效应。由于硫酸亚铁与有机肥配合的比例不同，铁的存在形态和含量多少不一，其防治效果各异。试验处理的病树 428 株，一月之后，一般可使 70% 以上的病树复绿，恢复正常生长。有的处理（混合比 1:5）治愈率达 100%，效力持久，可达一年以上。见根穴施硫酸亚铁-有机混合肥防治效果好，主要是下列原因。

(1) 多点施肥利于全树复绿。考虑到地下部根系和地上部相应枝条之间在养分供给方面有一定相关性，并为了使整个树体都能得到铁的供应，所以在吸收养分的新生细根多的病树树冠外围八个方位，布置施肥点，病树八方有根可吸收铁，故能使病树全树复绿。

(2) 见根施肥增进肥效。病树根系发育不良，发根力弱，根生长慢，如根系远离肥料，病树不能及时得到铁的供应，采用见根施肥、送肥到根的措施，使根直接与铁肥接触，增

进了根对铁的吸收。

集中穴施混合肥，能够省肥，降低成本。并能减少硫酸亚铁在土壤中的固定，而提高肥效。防治效果良好的主要原因，还在于硫酸亚铁加入有机肥中，使混合肥中有效铁(水溶态铁、螯合铁、代换态铁和易还原态铁)的含量显著提高。表 6 中，1:10 铁-马粪混合的有效铁含量为每百克有 1965 毫克，比马粪中提高了约 327 倍。将这种含有高量有效铁的铁-有机混合肥施入土壤，则在土壤中创造了多个特殊的"富铁区"。其中有效铁比施肥点邻近的土壤 $土_1$ 高 982 倍，比 $土_2$ 高 1965 倍，这为病树复绿创造了良好的条件。在同样的情况下，病树根系从含有大量有效铁的铁-有机肥吸取铁，要比从有效铁含量低的土壤中吸取铁更加容易得多。

硫酸亚铁加入有机肥中，其中代换态铁显著增加。如 1:10 铁-马粪混合肥比马粪中的含量高了约 793 倍，铁-棉籽饼中的含量比棉籽饼中高约 2760 倍。前者比土壤高 7935 倍，后者比土壤高 4760 倍(表 3)。代换态铁能不断地供给植物吸收利用，也就增加了防治效力的持久性。铁-有机肥因铁盐水解而酸化，增强了铁的有效性，这也应是防治效力持久原因之一。

铁-有机肥混合比为 1:20，1:10，1:7，1:5 都有良好的防治效果。1:20，1:10 混合肥，其中有效铁主要以代换态存在，劲缓、水溶态少，故施后未见出现毒害。施用 1:7 或 1:5 混合肥时，由于其中水溶态铁含量高，若施后立即浇水，则易出现毒害，引起部分叶脱落，但继后长出新叶呈绿色。如铁-腐殖酸铵混合比为 1:7时，水溶态铁为 1.54%，1:5 时为 2.56%。

2. 见根穴施硫酸亚铁　土壤中单施硫酸亚铁(表 1)，采用见根穴施法，每棵大树施 4 斤。病树于一月后调查，轻病树 90% 以上，中病树约 50% 恢复了正常生长，重病树恢复较慢，从最后一次调查结果看，仅有 5 株恢复正常。由此说明，土壤施用硫酸亚铁，对轻病、中病树的防治效果是良好的，而对重病树的防治效力较差。这种差异的造成，我们认为与树势生长强弱，根系发育良好与否有关。这种施用方法虽然简单，效力较好，但易出现毒害，施用技术不易掌握，有待进一步研究。

3. 穴施硫酸亚铁溶液浸根　对成年大树我们用穴施硫酸亚铁溶液浸根，是沿树冠外围，视根的分布状况，酌情挖 8—10 个穴(穴中见根)，将 2% 硫酸亚铁倒入穴中进行浸根，防治效力快速。4 月 28 日—5 月 3 日处理 102 株病树(综合法处理病树一并计算在内)，其中轻病 41 株，中病 31 株，重病 30 株，半月后调查，其中 92 株在短时间内全树变绿，恢复了正常生长，10 棵转为轻度。这种方法的最大特点是：第一，防治效力快，效果显著，病树通过断根及邻近的根，能在短时间内吸收大量的水溶态铁，并迅速运转到地上部叶内。如病树处理后的第二天就可看到枝梢顶端幼嫩叶片有复绿迹象，过一星期后全

表 2　不同叶的铁含量

叶的铁含量(ppm)			
病　叶	正常叶	处理后转绿叶	毒害叶
63—90	72—89	89—138	182—336

注：用湿法消煮叶样测定植物中铁。

部病叶都复绿，复绿叶的铁含量增加（表 2）。第二，病树四面八方的根都得到了铁的供给，故能使全树复绿。此法对重病、中病、轻病都是适宜的，但也存在一定问题，一是效力短，二是掌握不好易出现毒害。铁液浸根，在生长季节进行易出现毒害，若浸根时期改在果树萌芽前进行，有可能不出现毒害。

4. 穴施铁液浸根-见根穴施铁有机肥综合法　从上述结果来看，穴施铁液浸根和见根穴施铁和有机肥，在防治效果上，都各有长短之处。前者生效快，效力短，而后者则相

表 3　硫酸亚铁与土壤、有机肥料混合对铁的形态的影响

试验处理			不同形态铁的含量（毫克/100 克）						土层深度（厘米）
硫酸亚铁（克）+土壤（克）		混合比	pH值*	总铁量**	水溶态铁	代换态铁	易还原态铁	其它形态铁	
0	5		7.78		0	0.2	2		
0.1	5	1:50	7.21	412	0	7	4	401	
0.25	5	1:20	7.00	1030	0	21	11	998	±1
0.50	5	1:10	6.10	2060	246	428	111	1275	0—25
0.625	5	1:8	5.95	2575	654	536	42	1343	
0.83	5	1:6	5.75	3420	1385	750	10	1275	
0	5		7.40		0	0.03	1		
0.1	5	1:50	7.00	414	0	6	15	393	
0.25	5	1:20	6.54	1035	20	150	19	846	±2
0.50	5	1:10	4.95	2070	732	168	45	1125	25—50
0.625	5	1:8	4.71	2588	1131	270	114	1073	
0.83	5	1:6	4.60	3436	1936	230	41	1229	
硫酸亚铁（克）+马粪（克）									
0	5		8.65		4	2	0.6		
0.1	5	1:50	8.10	956	4	155	46	751	
0.25	5	1:20	7.80	2390	4	459	33	1894	
0.50	5	1:10	5.05	4780	378	1587		2815	
0.625	5	1:8	4.70	5975	854	2737		2384	
0.83	5	1:6	4.45	7935	1613	3141		3181	
硫酸亚铁（克）+棉籽饼（克）									
0	5		8.60		0.2	0.4	1		
0.1	5	1:50	8.10	1077	6	229	151	691	
0.25	5	1:20	7.40	2693	6	716	217	1754	
0.50	5	1:10	5.90	5385	434	952	119	3880	
0.625	5	1:8	4.41	6731	1505	632	59	4535	
0.83	5	1:6	4.08	8939	2901	568	374	5096	
硫酸亚铁（克）+腐殖酸铵（克）									
0	5		6.15		0	9	51		
0.1	5	1:50	5.40	449	9	50	186	204	
0.25	5	1:20	4.40	1123	96	149	282	596	
0.50	5	1:10	4.00	2245	652	332	225	1036	
0.625	5	1:8	3.90	2806	1165	494	102	1045	
0.83	5	1:6	3.79	3727	1908	493	184	1142	

* 水溶态铁滤液 pH 值，** 土壤铁未计算在内。

反，生效慢，但效力长。我们综合运用两法的特点，取长补短，提出穴施铁液浸根-见根穴施铁有机肥综合法来防治黄叶病。从表 1 资料可以看到，先用 2% 硫酸亚铁溶液（120—150 斤）浸根，当溶液渗完后，再施入硫酸亚铁 2 斤（或 4 斤）和有机肥 40 斤的混合肥（或腐殖酸铵 20 斤和硫酸亚铁 2 斤），凡经综合法处理的病树，一星期内病树黄叶迅速全部复绿，效力持久，可保持一年以上，治愈率达 100%，病树恢复了正常生长，枝叶繁茂，如图版 I, 4 所示。而未经处理的病树（对照），如图版 I, 1、2、3、5，叶色发黄，若不防治，其后果是导至早期落叶，梢尖枯萎，甚至截枝或死亡，如图版 I, 5、6、7 所示。

5. 单施有机肥　据报道，土壤中施用绿肥或有机物会使失绿症加重（曾骧，1964）。我们单独施用马粪、棉籽饼的试验也得到类似的结果。从表 3 资料的分析结果来看，马粪、棉籽饼中都含有一定量的水溶态铁，分别为每百克 4 毫克（自然状态含 1.72 毫克）和 0.2 毫克，还含有代换态铁 2 毫克和 0.4 毫克。但土壤中无水溶态铁，代换态铁含量在 0—25 厘米土壤深度中为 0.2 毫克，25—50 厘米深度中为 0.03 毫克。若将有机肥和土壤中有效铁含量加以比较，不难看出，土壤中施用棉籽饼对防治黄叶病无效，可能是由于有效铁含量低，与土壤中含量相近似的缘故。可是马粪和腐殖酸铵中的有效铁却比土壤中高得多，但也未见效果。

（二）硫酸亚铁在土壤和有机肥中的转化与肥效问题

硫酸亚铁在土壤中的转化及其对黄叶病防治效应的问题。据曾骧（1964）报道，土壤施用硫酸亚铁，在石灰性土壤中很易氧化沉淀，效力不长，用量高。Steward 和 Leonard (1952)在酸性土上用柑桔树做试验，每株施硫酸亚铁 2500 克时，没有效应，认为是由于游离态铁很快以水化氧化高铁而沉淀。又据同一作者（Leonard et al., 1953）报道，当每株施用 100 多磅硫酸亚铁时，效果良好。另外，关于施硫酸亚铁无效的看法还散见于其他的报道（Guest et al., 1949; Higdon, 1957; 小林章，1964; Giordano et al., 1972）。一般认为铁肥肥效在土壤施用硫酸亚铁少时无效，施用量高时才有效。因此，弄清硫酸亚铁在土壤肥料中的转化和肥效问题很有必要。硫酸亚铁施入土壤对防治果树黄叶病究竟有无效用的问题，从下述铁的转化，存在形态及含量分析的结果可以看出。

1. 硫酸亚铁能显著提高土壤和有机肥中有效铁的含量　研究铁在土壤、肥料中的转化结果表明（表 3），硫酸亚铁与土壤、肥料按不同比例混合，经两天平衡处理，再充分振荡提取一小时之后，土壤、肥料发生了某些性质的改变：(1) pH 变化，(2) 碳酸盐分解，(3) 胶体絮凝。而使土壤、有机肥原为水溶性的硫酸亚铁形成部分有机螯合铁（水溶性），代换态铁、易还原态铁等有效铁和其它形态的铁，如氢氧化铁、氧化铁等。这一结果说明，土壤、肥料相互作用的结果，铁只有一部分形成固定态铁，并非全部固定，仍有多种形态的有效铁存在。可见，硫酸亚铁或铁-有机肥施入土壤，能显著提高局部土壤中有效铁的含量，因此能够纠正失绿症。

铁转化成有效铁的途径很多，其中提高胶体铁和水溶态铁是两条主要途径，其次是水溶性有机螯合铁及易还原态铁。

(1) 水溶性有机螯合铁。土壤中缺乏水溶性有机螯合铁。在有机肥中的含量也较少。马粪、棉籽饼虽呈碱性，但在未加硫酸亚铁之前，含有少量水溶态铁，这种铁能在碱性

介质中以水溶态存在，我们认为它是一种水溶性有机螯合铁。否则，铁将以沉淀形态而析出。土壤、肥料中加入硫酸亚铁后，如混合比为 1:50、1:20 时，土壤、马粪浸提液仍呈碱性，土壤和马粪浸提液中未发现水溶态铁增加，说明在此混合比之内没有有机螯合铁的形成。而棉籽饼在此相同混合比时，pH 仍在碱性范围内，但水溶态铁却显著的比原来增长了近 30 倍，加入前每百克含 0.2 毫克，加入后则增至 6 毫克，这说明棉籽饼中水溶性有机螯合物多，因而形成的螯合铁也多。水溶性有机螯合铁，活性大，肥效高，在碱性环境中不沉淀，植物容易吸收利用。

(2) 水溶态铁。水溶态铁为植物最易吸收利用的形态，其浓度的高低影响肥效和引起毒害。硫酸亚铁加入土壤、肥料中，其水溶态铁的含量受到土壤环境因素的影响。表 4

表 4　水对硫酸亚铁性质的影响

蒸馏水（毫升）	硫酸亚铁（克）	pH 值	沉淀铁(微克)	铁的转化率(%)
50	0	6.50	0	
50	0.1	4.55	2500	12.5
50	0.2	3.99	3000	7.5
50	0.4	3.77	4000	5.0

资料表明，硫酸亚铁加入蒸馏水中，铁盐水解产生酸，少部分铁形成胶体状的氢氧化亚铁沉淀析出，大部分铁仍以水溶态铁存在。沉淀与空气接触即被氧化为棕色氢氧化铁，由低铁变成高铁，故水和空气有降低硫酸亚铁肥效的作用。其化学反应如下：

$$FeSO_4 + 2H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_2\downarrow + H_2SO_4$$

$$2Fe(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow$$

比较表 3、5，可以看出硫酸亚铁施入石灰性土壤中或有机肥中，铁易沉淀固定，降低肥效。铁的有效度受 pH 值高低和碳酸盐含量多少的影响。硫酸亚铁水解产生酸，它将引起土壤中碳酸盐的分解和土壤、肥料 pH 值的改变。土壤、肥料的溶液中是否出现水溶

表 5　不同土层碳酸盐含量

土层(厘米)	碳酸盐(%)
0—25	6.42
25—50	5.71
50—80	22.86

注：用酸滴定法测定碳酸盐。

态铁与硫酸亚铁的用量有关，用量少时，铁盐水解产生的酸少，其量尚不足以中和碱性和耗于碳酸盐的分解，溶液仍呈碱性，铁全部沉淀，溶液中没有水溶态铁或极少。如与土$_1$、马粪、棉籽饼的混合比为 1:50、1:20 时，就是如此。但当其用量增大时，如混合比为 1:10 时，由于铁盐水解所产生的酸多，足以中和碱和分解碳酸盐，因此使土壤、肥料溶液的 pH 值由碱变酸。如土$_1$ pH 值由 7.78 显著降低到 6.1，而马粪 pH 值的降低更为明显，由 8.65 降到 5.05。随着硫酸亚铁的加多，pH 值降低及干扰因子的消除，溶液中就出现了大量的水溶态铁，土壤由无水溶态铁增加到 100 克含 246 毫克，马粪由 4 毫克增至 378 毫

克。由此说明缩小混合比，加大硫酸亚铁用量，消除干扰因素的作用，是提高土壤、肥料水溶态铁含量，增进肥效的途径之一。

土壤、肥料中有无水溶态铁及其量的多少与土壤、肥料的 pH 值高低有一定的相关性。从总的看来，土壤、肥料溶液在 pH7 以下出现大量的水溶态铁，pH 值愈低，水溶态铁愈多。在 pH 值 7 以上除有机肥中有水溶性有机螯合铁外，而土壤则无水溶态铁。因此，我们可以通过对土壤和混合肥 pH 值的简单测定而略知水溶态铁的存在情况，这对铁肥的施用有一定的指导意义。

(3) 代换态铁。代换态铁的形成与土壤、肥料中的胶体有关。将易被固定的水溶态铁转化成对植物有效的代换态铁，无疑也是一条提高土壤、肥料有效铁含量的良好途径。

分析土壤、肥料不同混合比的结果表明，土壤、肥料胶体能将铁转化成代换态铁。土壤、肥料中一旦加入硫酸亚铁，代换态铁就急剧增长，就是在硫酸亚铁加入量少的情况下，代换态铁的增长也是相当显著的。如 1:50 时，$土_1$ 每 100 克含 7 毫克，比对照土壤 0.2 毫克增长约 35 倍；马粪 100 克含 156 毫克，比对照增长约 77 倍。随着硫酸亚铁量逐渐加多，代换态铁则更加惊人的巨大增长。如 1:10 时，$土_1$ 每 100 克含 428 毫克，增长约 2140 倍；马粪每 100 克含 1587 毫克，增长约 793 倍；棉籽饼每 100 克含 952 毫克，增长 2760 倍。

代换态铁在量上的变化，有一定的规律性，其生成量随硫酸亚铁加入量的增多，逐渐上升而达高峰，继后又下降。一般在 1:8、1:6 时出现高峰，随后又逐渐下降，后一种变化，可能与溶液的 pH 值有关。代换态铁的消长规律，随硫酸亚铁量的增多而上升，又随氢离子浓度增大而下降。在溶液出现酸化之前，土壤、肥料中的有效铁以代换态铁为主。比较土壤、肥料的代换态铁量，有机肥中代换态铁比土壤高若干倍。

(4) 易还原态铁。铁在土壤、肥料中受多种因子的作用下，部分铁转化成以上三种有效形态。除此，另一部分铁则转化成其它形态的铁、其中少部分为易还原态铁，植物较易利用。这种形态的铁，在腐殖酸铵中特别高，每 100 克含 51 毫克。一般土壤中的含量比有机肥中高，$土_1$、$土_2$ 分别含 2 毫克、1 毫克，马粪含 0.6 毫克，棉籽饼含 1 毫克。

土壤、肥料中加入硫酸亚铁后，易还原态铁增加，增长量的变化，尚无一定的规律，原因不明，有待研究。但从总的来看，都有增加的趋势。

铁肥施入土中后，可有四种有效铁存在(水溶态铁、有机螯合铁、代换态铁、易还原态铁)，而加大硫酸亚铁用量，可酸化土壤、肥料溶液，提高水溶态铁量。增施有机肥，可增加水溶性螯合铁与代换态铁。

上述田间试验结果和硫酸亚铁转化的分析资料，可证明硫酸亚铁施入土壤中或加入有机肥料中后施入土壤，能显著地提高土壤中有效铁的含量和降低 pH 值。因此，就是在铁肥施用量少的情况下，对黄叶病的防治效果也是良好的，并非施用量高时才有效。但从下述资料也可见到铁被固定的事实也是存在的，有时也是严重的。

2. 铁的固定　过去许多研究者都同持土壤中施用硫酸亚铁防治黄叶病无效的观点。但上述的试验结果说明并非完全如此。硫酸亚铁施入土壤，土壤、肥料相互作用的结果，铁不仅被转化成无效铁，同时也还有大量的有效铁存在，铁并非全部被固定。只要施用得当，用量合适，它对黄叶病的防治不仅有效，而是效果良好。

硫酸亚铁施入土壤中，转化成无效铁，其消长规律决定于土壤与肥料比例的大小。比例大时，有效铁少，无效铁多，固定的多，如 1:50 时，有 97% 的铁被土壤固定（表 6），转化

表 6　硫酸亚铁在有机肥料、土壤中的转化

测定项目		硫酸亚铁：有机肥料	pH 值	总铁量（毫克/100 克）	有效铁量（毫克/100 克）	铁增加倍数	有效铁(%)	固定铁量（毫克/100 克）	固定铁(%)
肥料种类	马粪	0	8.65		6				
		1:50	8.10	956	205	34	21	751	79
		1:20	7.80	2390	496	83	21	1894	79
		1:10	5.05	4780	1965	327	41	2815	59
		1:8	4.70	5975	3591	598	60	2384	40
		1:6	4.45	7935	4754	792	60	3181	40
	棉籽饼	0	8.60		2				
		1:50	8.10	1077	386	193	36	691	65
		1:20	7.40	2693	939	469	35	1754	65
		1:10	5.90	5385	1505	752	28	3880	72
		1:8	4.41	6731	2196	1098	33	4535	67
		1:6	4.08	8939	3843	1921	43	5096	57
	腐殖酸铵	0	6.15		61				
		1:50	5.40	449	245	4	55	204	45
		1:20	4.40	1123	527	9	47	596	53
		1:10	4.00	2245	1209	20	53	1036	47
		1:8	3.90	2806	1761	28	63	1045	37
		1:6	3.79	3727	2585	42	69	1142	31
土层深度（厘米）	$土_1$ 0—25	0	7.78		2				
		1:50	7.21	412	11	6	3	401	97
		1:20	7.00	1030	32	16	3	998	97
		1:10	6.10	2060	785	393	38	1275	62
		1:8	5.95	2575	1232	616	48	1343	52
		1:6	5.75	3420	2145	1073	63	1275	37
	$土_2$ 25—50	0	7.40		1				
		1:50	7.00	414	21	21	5	393	95
		1:20	6.54	1035	189	189	18	846	82
		1:10	4.95	2070	945	945	46	1125	54
		1:8	4.71	2588	1515	1515	59	1073	41
		1:6	4.60	3436	2207	2207	64	1229	36

成无效铁，比例小时，无效铁少，有效铁多，如 1:6 时，铁被固定的少，只有 37% 的铁被固定，大部分铁为有效铁（63%）。但无效铁量的变化，无论是土壤或有机肥大都在铁土比、铁肥比为1:10时，其变化幅度也就不大了。

比较 $土_1$、$土_2$ 两层土壤对铁的固定情况，下层比上层少。如在 1:20 时，$土_2$ 铁的固定率为 82%，比 $土_1$ 同一比例的少固定 15%。

腐殖酸铵呈酸性，铁固定率比土壤、肥料小得多，1:50 时仅 45%。

综上所述，通过铁肥比，铁土比的研究，基本上了解铁的转化规律，有效铁的形成和铁

的固定问题，为铁肥集中施用提供了依据。比例小时，硫酸亚铁的改土作用加强，土壤对铁的固定作用相对降低。由于铁的固定减少，有效铁含量的提高，增进了铁肥肥效。

3. 土壤、有机肥料对铁的固定和经济效益　硫酸亚铁在有机肥中的转化与土壤类同，因没有碳酸盐的干扰，所以铁固定率比土壤低。如 1:50 时，马粪为 79%，棉籽饼为 65%，而 $土_1$ 为 97%（表 6）。从铁的固定和经济效益考虑，将硫酸亚铁与有机肥料混合调制成铁有机肥来施用，比将硫酸亚铁直接施入土壤的效果好。这样可以减少铁的固定，提高肥效。

参 考 文 献

小林章（曲泽洲等译），1964：果树的营养生理。150 页，农业出版社。

沈隽、曾骥，1951：北京果树黄叶病研究续报。中国农业研究，第 2 卷 2 期，104—107 页。

乔达诺 P.M.，等（中国科学院南京土壤研究所编译室译，1974）1972：大量元素肥料中微量元素的农业效果。土壤农化（参考资料），第 4 期，17—30 页。

曾骥，1964：果树植物的缺铁失绿症。园艺学报，第 3 卷 3 期，237—247 页。

Bould, C., 1955: The use of iron chelates for the control of lime-induced in fruit, Progress report II. Soil and Fertilizers. 19(5):438—439.

Guest, P. L. and Chapman, H. D., 1949: Investigation on the use of iron sprays, dusts, and soil application to control iron chlorosis of citrus. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 54:11—21.

Higdon, R. J., 1957: Pear tree chlorosis with special reference to its correction with chelated metals. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 69:101—109.

Leonard, C. D. and Steward, I., 1953: An available source of iron for plants. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 62:103—110.

Steward, I. and Leonard, C. D., 1952: Chelates as sources of iron for plants growing in the field. Science 116:564—566.

Sslandits, I., 1956: The agricultural use of chelates. Soil and Fertilizers. 19(1):1—4.

STUDIES ON THE APPLICATION OF FERROUS SULPHATE FOR CONTROLLING CHLOROSIS OF APPLE TREE ON THE CALCIUM SOILS

Zhou Zen-qin, Di San-do, Wang Xi-ming, Huang Jun-jie,
Guan Xi-qin and Chen Bao-xiang
(*Hopei Agricultural University*)

Summary

1. The regularities of the transformation of the ferrous sulphate in the soils and organic manure, and the mechanisms of the effect of ferrous sulphate on controlling chlorosis of apple tree were studied.

2. The chlorosis of apple tree was cured rapidly by the application of 2% ferrous sulphate solution to the roots in hole, at a rate of 60 liters per tree. The curative effect lasted a month.

3. By application of a mixture of ferrous sulphate and organic manure in the ratio 1:20 (or 1:10; 1:5) to the roots in hole, at the rate of 22.5 kilograms per tree, the chlorosis of large apple tree was cured after a month. The curative effect lasted about a year. Injuries occured by watering after the treatment with the mixture in the ratio 1:5.

4. Favorable effect was acquired in hole application of mixture of ferrous sulphate and organic manure in the ratio 1:20 (or 1:10) at the rate of 22.5 kilograms per tree after the application of 2% ferrous sulphate solution 60 liters per tree. The curative effect of this method lasted about a year.

5. The application of manure alone to the root zone was ineffective under our experimental conditions.

1.正常叶与病叶； 2.病枝叶片(上部黄色,下部呈绿色)； 3.病枝（早期落叶，重生簇叶，呈“马鞭梢”或枯梢）； 4.重病树经处理后恢复正常生长； 5.重病树（对照）全部黄叶； 6.重病树（早期落叶、枯梢、染有其它病害）； 7.重病树截枝。