第3卷 第2期
1997年6月

植物营养与肥料学报
PLANT NUTRITION AND FERTILIZER SCIENCE

Vol.3 No.2
Jun. 1997

玉米花生间作对花生铁营养的影响①

左元梅　李晓林　王永歧②　曹一平　张福锁

（中国农业大学植物营养系，北京　100094）

摘　要

采用根箱隔网盆栽方法模拟研究了玉米／花生间作对花生吸收利用铁营养的影响。用30μ m尼龙网将聚氯乙烯制作的根箱分为根室和外室，模拟了玉米单作、花生单作、玉米／花生间作三种情况。结果表明，间作对花生的铁营养状况有很大的影响。当花生与玉米间作时，花生地上部不表现缺铁现象；而花生单作则表现出严重的新叶缺铁黄化现象。间作花生新叶的全铁含量是单作的1.8倍，单作新叶活性铁含量仅是间作的47.2%，叶绿素含量是间作的25.3%。间作显著促进了花生对铁的吸收，使花生不同的部位的含铁量高于单作，从而提高了花生的光合速率；同时间作花生对铁的利用效率明显增加，花生子粒中铁的吸收量是单作的两倍多。

关键词　玉米　花生　间作　铁营养

许多研究表明，间作优势最主要表现在提高资源的利用效率，特别是提高土壤养分的吸收和利用效率[1~4]。在养分吸收利用的间作效应方面，氮磷养分研究相对较多，而微量元素很少。由于不同种类、以及不同品种的作物其根系形态特征及根系分泌物的差异[5,6]，使得活化和利用土壤养分的能力不同。玉米／花生间作是黄淮海平原沙区重要的种植方式，它被认为是能够合理利用当地光、热、水、养分资源，实现粮油同步增产的一种种植制度。花生是河南省沙区一大优势作物，同时也是当地油料的主要来源之一。然而花生缺铁黄化现象十分严重而普遍，成为制约花生高产稳产的重要因素。最近的田间观察发现，在花生／玉米间作的情况下花生叶片缺铁黄化现象明显减轻甚至消失，这意味着玉米对花生的铁素营养具有重要的改善作用。研究玉米改善花生铁营养的机制，对于揭示玉米／花生间作的地下部相互关系，合理利用和改进间作技术和解决花生缺铁问题，都具有重要意义。本研究采用根箱模拟方法，探讨了间作条件下玉米对花生铁营养的影响。

、材料与方法

（一）试验地点与材料

试验于1995.6～1995.10在中国农业大学植物营养系网室中进行。供试土壤为北京大兴县的砂土，其有机质含量为0.39%，全N0.027%，Olsen-P3.9mg/kg，速效钾（NH_4OAC-K）60.4mg/kg，缓效钾（1mol/L HNO_3-K）611.4mg/kg，有效铁（DTPA-Fe）7.63mg/kg，pH（$CaCl_2$）7.8。供试作物选用河南省沙区普遍种植的品种：玉米为

① 国家杰出人才科学基金项目
② 工作单位：河南省农科院土肥所，郑州　450002
收稿日期：1996－07－12

丹玉13号，花生为40(一)4。

试验用根箱由聚氯乙烯材料做成，长高宽为60cm×60cm×20cm。根室正面为透明的有机玻璃板，便于观察作物根系的生长发育状况，作物生长期间用黑布遮光。为获取根际土壤，用30μ m的尼龙网将根箱在10cm宽处隔成根室和外室前后两个分室，两室的体积保持一致，网的作用是限制根系在根室中生长，而水分和养分则可以穿过尼龙网在根室与外室间运移。根箱中间用聚氯乙烯板将玉米根系和花生根系的生长区相隔离，模拟花生单作和玉米单作；根箱无隔板，两种作物的根系可以自由交叉生长，模拟花生、玉米间作状况。

(二)试验设计与方法

试验设3种种植处理，分别为玉米单作(Maize monoculture, MM)，花生单作(Peanut Monoculture, MP)和玉米／花生间作(Intercropping IC)，3次重复。每种种植方式的施肥量相同，以mg/kg计，分别为N 150($Ca(NO_3)_2$)，P 150(KH_2PO_4)，K 100(KCl)，Mg 50($MgSO_4$)，Fe 5(柠檬酸铁)，Zn 5($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)，Cu 5($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)。将风干土壤过2.5mm筛，将肥料与土壤充分混匀后按容重1.3g/cm^{3}分别装入根箱的二个分室中，每个根箱装土90kg。装土前，根箱底层铺一层粗石英砂，将两块大小合适的硬塑料板或木板从两室紧靠尼龙网，以防装土过程中引起尼龙网弯曲变形，两室同时装土，边装土边将木板抽出并不断压实土壤，保证土壤平整均匀。装完土后浇水至田间持水量的60%，根箱上面土层再覆盖一层细石英砂，以减少水分蒸发。幼苗长至一定大小后间苗，单作玉米、花生各留6株，间作玉米花生分别为6株，使间作中玉米、花生的株数比例为1:1。虽然间作作物密度是单作的两倍，但间作根箱土壤体积也是单作根箱的两倍，保证了间作与单位每种作物所占土壤体积相同。

(三)样品采集及分析测定

植物生长3个月后，分别收获植物地上部、地下部。收获地下部植物根样时，打开根箱有机玻璃板，将根室土壤自上而下切成0～20cm，20～40cm和40～60cm三段，仔细挑出植物根系，并将间作处理的两种不同作物的根彼此分开，小心冲洗干净；根室土壤取完后，抽出尼龙网，以不同间距切取土壤外室中根际土及距网膜不同距离的土壤样品。

活性铁含量的测定：分别取花生不同部位的新叶、老叶，均匀剪碎，称取2.00克鲜样，按照1:10的比例加入1mol/L的盐酸，振荡5小时，过滤后用原子吸收分光光度计(PE—2100B)测定。

植物全铁含量的测定：称取一定量磨碎混匀的烘干植物样品，在550℃的马福炉中进行植物样品的灰化7～8小时，灰分用1:30HNO_3溶解后用原子吸收分光光度计测定。

光合速率的测定：用BAU光合测定系统测定植物新叶、老叶的光合速率。

叶绿素含量的测定：用叶绿素测定仪测定花生新叶、老叶的叶绿素含量。

间作效应的计算：间作效应(%)＝(间作测定值－单作测定值)／间作测定值×100%。

二、结果与分析

(一)间作对作物生长和子粒产量的影响

作物成熟后，分新叶、老叶、茎、地下部和子粒收获。表1说明，间作对两种作物地上部茎叶

表 1 玉米／花生间作各部分干物重、产量与单作的比较(克／盆)

Table 1 The comprision of dry weight and production of maize/peanut to those of monocropping(g/pot)

项目 Item	玉米 Maize		花生 Peanut	
	单作 Monocropping	间作 Intercropping	单作 Monocropping	间作 Intercropping
地上部 Shoot	35.84±1.01	37.03±1.09	19.05±1.34	16.55±2.34
地下部 Root	39.40±2.11	45.50±2.40	6.59±0.092	8.43±0.34
根冠比 Root/Shoot	1.09	1.23	0.33	0.51
子粒产量 Seed yield	47.19±1.33	92.17±3.13	25.91±2.05	36.83±2.39

生长没有显著的促进作用，与单作相比玉米地上部干物重只增加了3.21%，而花生则是单作地上部干物重高于间作17.04%。对地下部而言，间作表现出明显的促进作用，分别使花生和玉米根干重比相应的单作增加23%和15%。同时间作使玉米花生的根冠比都高于单作，分别增加了12.98%和58.08%，间作效应分别为11.39%和35.29%。对于产量则是间作使玉米的产量增加了近两倍，花生增加了1.42倍。

（二）间作对花生叶绿素含量和光合速率的影响

铁是叶绿素的组成成分，叶绿素含量与铁水平成正相关。缺铁引起叶绿体的解体和变小，并且铁很难转移而被再利用，故首先导致幼嫩叶片失绿黄化，引起上部叶片不同程度地失绿，进而抑制作物的光合作用[7]。从图1可看出，间作花生新叶中叶绿素含量显著地高于花生单作，单作花生新叶叶绿素含量仅为间作花生的25.28%，同时间作花生新叶的光合速率是单作花生的1.96倍。

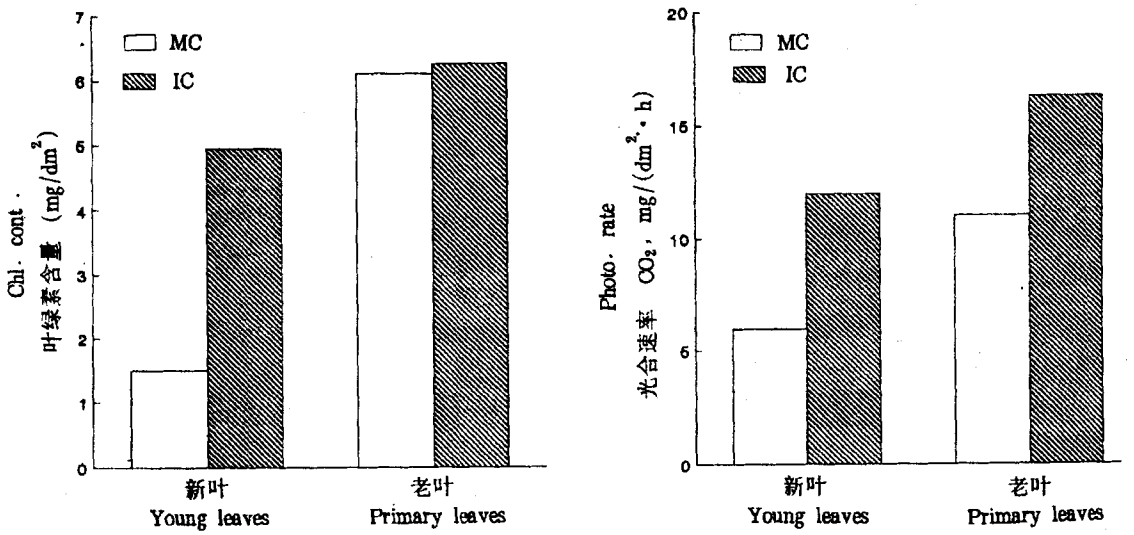

图1 单作和间作条件下花生不同叶片叶绿素含量和光合速率

Fig.1 Chlorophyll content and photosynthsis rate of peanut leaves under monocropping(MC) and intercropping(IC) conditions

（三）间作对植株含铁量的影响

表2为两种作物在不同种植方式中的含铁量。结果说明，间作对玉米、花生不同部位铁含量的影响不同。间作使花生各部位的铁含量都明显增加，间作花生根部的铁含量是单作的1.27倍，地上部铁含量是单作的1.32倍。从整个植株而言，间作花生的铁含量是单作的1.38倍；但间作导致玉米地下部、整个植株铁含量不同程度的减少，分别是单作的43%和56%，而地上部比单作增加了1.22倍。对于子粒中的铁含量，则均是间作铁含量高于单作，间作玉米是单作的1.38倍，而花生则间作是单作的1.44倍。

（四）间作对花生吸收利用铁及叶片中铁分布的影响

表3是花生吸收利用铁的状况。无论是单作或间作花生其吸收的铁主要累积在根部。从花生的整体而言，其地上部、地下部及整个植株体内的铁吸收量，均是间作花生铁的吸收量高于相

应的单作花生；间作花生根部铁吸收量是单作花生1.64倍，地上部铁的吸收量是单作的2.04倍。说明间作使铁不仅在根中大量积累，而且间作促使铁向地上部转移，间作子粒中铁的吸收量是单作的2.03倍，整体的间作效应为31.01%。就铁在花生叶片的分布而言，间作花生新叶、老叶中全铁含量都明显地高于单作，其中前者新叶全铁含量为后者的1.78倍，而老叶为1.41倍(图2)。

表 2 玉米、花生不同部位的铁含量(mg/kg,DW)

Table 2 The iron distriibution of maize and peanut

植株部位 Parts of plant	玉米 Maize		花生 Peanut	
	单作 Monocropping	间作 Intercropping	单作 Monocropping	间作 Intercropping
地上部 Shoot	41.13±5.54	50.07±4.69	28.02±1.98	65.50±2.92
地下部 Root	210.10±19.80	91.39±7.28	159.49±13.06	203.1±16.75
整个植株 Total Plant	130.71±11.97	73.08±6.36	61.81±6.68	111.96±4.51
子粒 Seeds	22.19±0.99	30.52±0.80	22.16±2.91	31.78±0.94

表 3 花生不同部位的铁吸收量(微克／盆)

Table 3 The amount of iron uptake of different peanut parts (μ g/pot)

植株部位 Parts of plant	单作 Monocropping	间作 Intercropping
地上部 Shoot	533.86±2.65	1084.05±6.83
地下部 Root	1051.04±13.21	1712.63±17.02
地上部／地下部 Shoot/Root	0.51	0.63
子粒铁吸收量 Iron uptake of seeds	574.16±5.96	1170.45±2.25

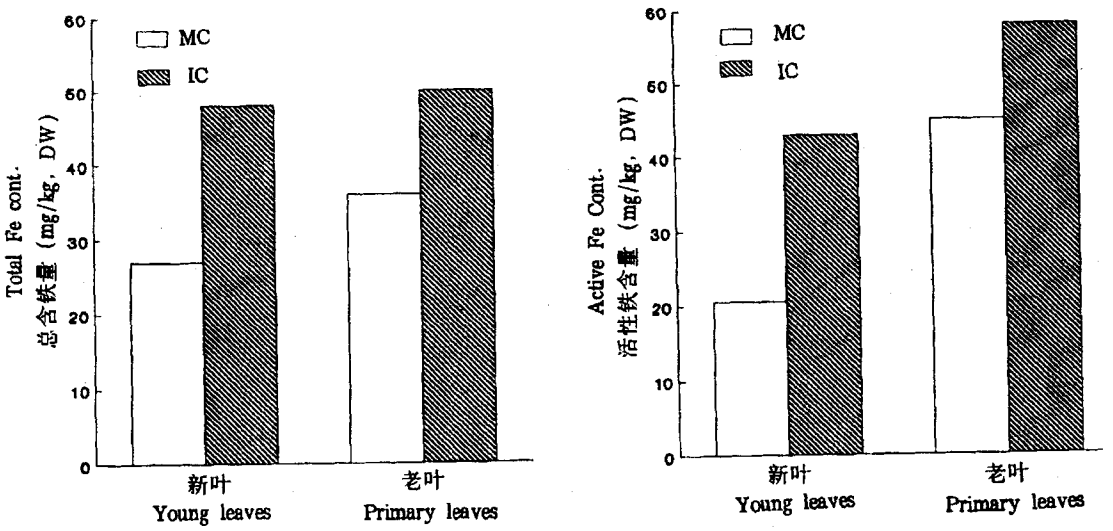

图2 单作和间作条件下花生叶片中总铁和活性铁含量

Fig.2 Total Fe and active Fe of peanut leaves under monocropping and intercropping conditions

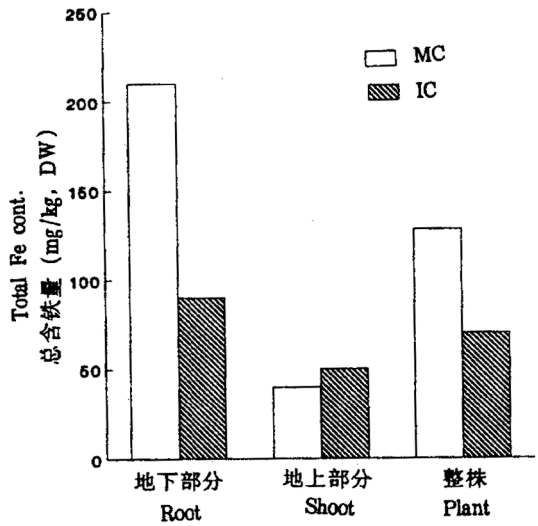

图3　单作和间作条件下玉米植株含铁量

Fig.3 Total Fe content of maize under monocropping and intercropping conditions

图2还看出，间作对花生吸收铁及铁在叶片中的分布有较大影响。单作花生新叶活性铁含量明显地低于间作花生新叶活性铁含量，单作仅为间作的47.17%，而单作花生老叶活性铁含量为间作花生老叶活性铁含量的80%。相关分析表明，花生叶片中叶绿素含量(Y)与活性铁含量(X)间有显著的正相关，回归方程为$Y=-1.02+0.137X$($r=0.960$)。可见活性铁的含量更能反映植物新生组织的铁营养状况。这可能是由于玉米／花生间作时，玉米分泌一些能活化石灰性土壤中难溶性铁的物质(如铁载体)，从而供给花生足够的有效铁而使间作花生不表现缺铁；而对于玉米则是单作玉米铁含量明显高于间作玉米，特别是地下部间作玉米铁含量仅为单作的43.48%(图3)。由此推测，间作玉米活化的那部分土壤铁不仅供其自身生长的需要，还要供给花生生长所需，因而其铁含量低于单作玉米，这也为间作花生不缺铁的机理推测提供一定的依据。但这一机理有待于试验进一步验证。

三、讨　论

与单作相比，间作对玉米、花生两种作物的茎叶生长无明显促进作用，但显著增加了根系生长(表2)，说明间作作物根系间存在互惠互利作用，从而使间作有利于作物吸收土壤中更多的营养元素。本研究说明禾本科作物玉米与花生间作与单作花生相比明显地提高了花生对铁的吸收和利用。无论是花生各部位铁的含量还是其铁的吸收量均高于单作(表2,3)，这一差异导致了间作花生新叶叶绿素含量及光合速率明显高于单作花生(图1)，特别是间作花生新叶活性铁含量明显地高于单作，更准确的反映了间作花生的铁营养状况优越于单作。单作、间作花生地上部干物重几乎没有差异，说明单作花生缺铁，并非是由于与间作花生生物量的差异而产生的稀释效应，而是由于其它作用机制所致。

研究表明高等植物在受到缺铁胁迫时，存在两种不同的适应性机制[8~11]。双子叶植物及单子叶非禾本科植物(机理Ⅰ)是通过提高根系的还原力(包括分泌还原性物质、质膜上诱导还原

酶活性增强)及分泌H^+来达到增强Fe^{3+}吸收的目的;单子叶禾本科植物(机理Ⅱ)则是通过分泌麦根酸类物质螯合土壤中的三价铁,并把该螯合物直接吸收进植物体内以弥补铁的不足。

本试验利用铁有效性低的石灰性土壤,花生属于对缺铁敏感的机理Ⅰ类植物,在缺铁胁迫条件下通过根系向根际土壤分泌质子以降低介质pH值;分泌酚类等还原性物质以增加根际土壤中还原铁的数量;诱导根系原生质膜还原酶的形成及其活力的提高以增强对铁的还原。但是因为石灰性土壤pH偏高,对酸碱缓冲能力较强,从而使质膜还原酶活性受到抑制,土壤中的铁不易被花生还原吸收进入植物体内,从而导致花生新叶黄化缺铁。玉米属于抗缺铁胁迫能力较强的机理Ⅱ类植物。当植株体内铁营养供应不足时其根系细胞合成和分泌对铁具有强烈螯合能力的麦根酸类植物铁载体,它与根际土壤中丰富的Fe^{3+}螯合后被根表细胞质膜上的特定专一性系统吸收[7];碱性土壤高pH值对植物铁载体的分泌及Fe^{3+}的结合影响不大[12],因此在pH高的石灰性土壤上玉米仍能从土壤中获得足够的铁而不易表现缺铁黄化现象。

本研究发现当玉米/花生间作时,玉米不仅能够从石灰性土壤中获得足够的铁满足其自身的需要,更为重要的是它明显的改善了花生的铁营养状况。产生这一现象的可能原因:一方面是玉米/花生间作时,虽然作物间地上部保持空间布局的分隔,但试验中观察到玉米、花生的根系相互交叉重叠生长,与单作相比花生根系紧贴玉米根系并随玉米根系的生长而向土壤不同部位延伸,从而使两种不同作物的相当一部分根系拥有相同的根际空间。因此玉米分泌的麦根酸类铁载体化合物与根际土壤中Fe^{3+}螯合后,其中一部分迁移到花生根表,经花生根系细胞质膜还原后为花生所吸收利用;另一部分可被花生直接吸收利用。已有研究证明禾本科作物分泌的麦根酸及其螯合铁能被双子叶植物所吸收[13],但在土壤条件下玉米分泌的铁载体及其螯合物能否迁移到花生根表被花生吸收利用,从而改善花生铁营养的作用还有待于试验进一步深入研究。另一方面可能的原因是,花生/玉米间作条件下,玉米根系的代谢活动可能影响花生根系的生长及其代谢,由于玉米植株生长速度快,吸收养分数量多,结果引起比花生单作情况下根际土壤磷、锌、氮等养分的更为严重亏缺[14]。而花生等作物在磷锌等养分缺乏时会引起质膜ATP酶活性增强以及分泌大量质子酸化根际土壤,可能引起花生根系还原力的提高,从而增强花生根系对铁的吸收。但这一机制是否有促进花生对铁的吸收和利用仍需试验研究证明。

参考文献

1 Midmore D J, 1993: Agronomic modifcetion of resource use and intercrop purductivity. Field Crops Res., 34:357~358.

2 Reday M S and Willy R W, 1981: Growth and resource use studies in an intercrop of pear millt/groundnut. Field Crops Res., 4:13~24.

3 Morris R A and Garrity D P, 1993: Resource capture and utilization in intercropping: Nonnitrogen nutrients. Field Crops Res., 34:319~334.

4 Mimore D J, 1993: Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. Field Crops Res., 34:357~380.

5 Barber S A, 1984: Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. New York: John Wiley and Sons Ic.

6 Francis C F, 1988: Biological effeiciencies in multiple cropping systems. Advances in Agron., 42:9~13.

7 Takagi, S C, 1993: Production of phytosiderophores. In: Barton L L and Hemming B C(eds.) Iron Chelation in Plant and Soil Microorganiisms, Academic Press Inc. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, 111~130

8 Romheld V, 1987: Existence of two difftrent strategies for the acquisition of iron in higher plants. In: G. Winkelmann, D. Van der Helm, J.B. Neilands (eds.), Iron Transpot in Microbes. Plant and Animals, VCH Verlag, Weinbeim, 353~374.

9 Romheld V, Marschner H, 1986: Mobilization of iron in the rhizosphtre of different plant species. Adv. Plant Nutr., 2:155

～204.

10 Romheld V, Marschntr H, 1990: Genotypical differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores. Plant Soil., 123:147～153.

11 Marschner H, Romheld V and Kissel M, 1986: Difference strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. J. Plant Nutr., 9:695～713.

12 Zhang F, Treeby M, Romheld V and Marschner H, 1990: Mobilization of iron by phytosiderophores as affected by other micronutrients. Plant and Soil, 130:173～178.

13 Takagi S and Ming-Hoyu, 1988: Efficiency of iron extraction from soil by mugineic acid family phytosiderophores. J. Plant Nutrition, 2:205～247.

14 Wallace A and Cha J W, 1986: Effects of bicarbonate, phosphores, and iron EDDHA and nitrogen sources on soybeans grown in calcareous soil. J. Plant Nutrition, 9:251～256.

EFFECT OF MAIZE/PEANUT INTERCROPPING ON IRON NUTRITION OF PEANUT

Zuo Yuanmei Li Xiaolin Cao Yiping Zhang Fusuo

(China Agricultural University of China, Beijing 100094)

Summary

An investigation was carried out to test the effect of maize/peanut intercropping on iron nutrition of peanut. There were three treatments: peanut monocrop, maize monocrop and maize/peanut intercropping. The plants were grown in sandy soil in pots with two compartments separated by 30μ m nylon nets, a central one for root growth and outer ones for soil. The results showed that intercropping improved iron nutrition of peanut. When peanut was intercropped with maize, the peanut had no iron deficiency, but peanut of monocrop treatment showed severe iron chlorosis on young leaves. In monocropping, the active iron content of peanut in young leaves was only 47.47% of that of intercroppng, and chlorophyll content was equal to 25.28% of that of intercropping. Intercropping increased photosynthetic rate of peanut leaves. For different parts of peanut, the iron content of shoot, root and total plant was more than that of monocropping treatment. The reasons for this may be that maize root exudates released insoluble iron from soil and supplied enough iron to peanut, and some activity of maize root could also affect reducing capacity of peanut, which needs to be studied further.

Key words Maize Peanut Intercropping Iron nutrition