第2卷 第3期
1996年9月

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

Vol.2 No.3
Sep. 1996

铁和不同形态氮素对玉米植株吸收矿质元素及其在体内分布的影响①

Ⅱ. 对铁、锰、铜、锌等营养元素的影响

邹春琴　李春俭　张福锁　毛达如

（中国农业大学植物营养系，北京 100094）

摘　要

用营养液培养方法研究了铁和两种形态氮素对玉米植株吸收铁、锰、铜、锌等微量元素及其在体内分布的影响。结果表明：与硝态氮(NO_3^--N)相比，铵态氮(NH_4^+-N)显著提高了玉米对铁的吸收，降低了对锰、铜及锌的吸收。供铁也明显提高了植株地上部铁的吸收总量，降低了锰及锌的吸收量，尤其是在供应NO_3^--N时这种作用更为明显。在缺铁条件下，NH_4^+-N处理的玉米新叶中铁的含量明显高于NO_3^--N处理；而新叶、老叶、茎中锰、锌、铜含量以及根中锰、锌含量都明显低于NO_3^--N处理。但使用NH_4^+-N时，根中铜的含量较高。在供铁条件下，NH_4^+-N处理的玉米植株四个不同器官中锰和锌的含量显著低于NO_3^--N处理的植株，而铜的含量正好相反。在缺铁条件下，玉米新叶中活性锰、活性锌的含量显著高于供铁处理；与NO_3^--N相比，NH_4^+-N的供应也显著降低了玉米新叶中活性锰以及活性锌的含量。

关键词　氮素形态　缺铁　微量元素　玉米

植物对硝态氮(NO_3^-—N)和铵态氮(NH_4^+-N)的吸收、同化及在体内的运输存在明显的差异，这也影响到对其他微量元素的吸收和利用，最终影响植物的生长和发育[3]。已有的研究结果表明，在缺铁条件下，供应NO_3^--N时，铁向植物地上部分的运输以及在组织之间的转移受到抑制，使铁在根中大量累积，导致植株新叶中的全铁含量较低，叶绿素含量下降，因而新叶出现黄化现象。而供应NH_4^+-N有利于铁向植物地上部运输，新叶中全铁含量较高，根中累积的铁较少，新叶不出现黄化现象。可见，氮素形态对铁在植物体内的分布和利用有较大的影响[1,2]。但有关不同形态氮素对锰、铜、锌等微量元素的吸收、分布及在植物体内的分布和利用的研究尚少见报道。本文以玉米为实验材料，研究了铁和不同形态氮素对微量元素铁、锰、铜和锌的吸收以及在植物体内分布的影响。

一、材料与方法

（一）植物的培养与样品制备

植物培养与样品制备方法同Ⅰ.（见植物营养与肥料学报2(1)：68～73）。

① 国家自然科学基金和攀登计划资助项目。
收稿日期：1995-03-07

(二)测定方法

1. 铁、锰、铜、锌全量的测定 定量称取样品,经550℃干灰化,用6mol/L HNO_3溶解后,用PERKIN-ELMER 2100原子吸收分光光度计测定。

2. 叶片中活性锰的测定[12] 新鲜叶片用蒸馏水洗净、吸水纸吸干并切成0.5cm^2大小,再用1mol/L HCl按1:10的比例浸提(振荡5个小时),过滤后,用PERKIN—ELMER 2100原子吸收分光光度计测定。

3. 叶片中活性锌的测定[6] 称取2克鲜样于10mL 1.0mmol/L MES(pH6.0)缓冲液中匀浆后过滤,用PERKIN—ELMER 2100原子吸收分光光度计测定活性锌的含量。

二、试验结果

(一)铁和不同形态氮素对玉米植株吸收铁、锰、铜、锌影响

铁的供应与两种形态氮素对玉米植株吸收铁、锰、铜、锌都有明显的影响(表1)。无论缺铁还是供铁,NH_4^+-N处理使地上部铁的总吸收量明显高于NO_3^--N处理,在供铁时这种差异更大。铁的供应明显提高了植株铁的吸收量,但供应NO_3^--N使铁在根中大量累积。从地上部与根中铁的总量的比值可以看出,NH_4^+-N的供应有利于铁向地上部的转移,缺铁处理时的这一比值均高于供铁处理,说明在铁缺乏的条件下,铁在体内的移动性增加。锰的吸收量变化与铁不同。无论是否供铁,NO_3^--N处理的植株地上部锰的吸收总量以及根中累积的锰的量均明显高于NH_4^+-N处理,尤其是在缺铁条件下,玉米地上部累积了大量的锰,因而造成锰中毒,新叶出现褐色斑点。铁的供应明显降低了植株对锰的吸收,地上部锰的总量低于缺铁处理,说明锰与铁有较强的竞争。缺铁时,地上部与根中锰的比值在两种氮素形态间没有明显的差异;供铁时,NH_4^+-N处理明显高于NO_3^--N处理。锌的吸收与铁的关系比较复杂,供应NO_3^--N时,铁的供应对地上部

表 1 铁和不同形态氮素对铁、锰、铜、锌吸收量影响 (μ g/plant, DW)

Table 1 Effect of Fe and different forms of nitrogen on uptake of Fe, Mn, Cu, Zn by corn plants

元素 Elements	器官 Organs	-Fe		+Fe	
		NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N
Fe	地上部	5.62±0.21c *	6.03±0.10c	6.67±0.30b	8.44±0.22a
	根	8.78±0.10b	2.91±0.11d	14.79±0.24a	3.48±0.11c
	地上部/根	0.64	2.07	0.45	2.42
Mn	地上部	8.78±0.18a	5.78±0.12c	6.87±0.19b	4.88±0.33d
	根	3.30±0.12b	2.01±0.11c	4.31±0.51a	1.35±0.08d
	地上部/根	2.66	2.88	1.59	3.61
Cu	地上部	2.23±0.14a	1.58±0.10b	1.77±0.17b	2.13±0.13a
	根	1.18±0.10c	2.84±0.12	1.02±0.03c	1.63±0.14b
	地上部/根	1.89	0.56	1.74	1.31
Zn	地上部	14.27±0.25a	9.95±0.10b	14.00±1.00a	13.74±0.70a
	根	4.04±0.13a	1.91±0.11c	3.16±0.15b	1.96±0.20c
	地上部/根	3.53	5.21	4.43	7.01

注:处理间差异的显著性检验用新复极差法,不同小写英文字母表示处理间差异达5%显著水平,以下同。

锌的吸收总量影响不大，而供应NH_4^+-N时，铁的供应明显提高了地上部锌的总量。NO_3^--N处理根中锌的累积量高于NH_4^+-N处理，地上部与根中累积锌的比值明显低于NH_4^+-N处理，这主要是NO_3^--N处理根表吸附大量的锌。供应NO_3^--N时，铁的供应降低了植株对铜的吸收；供应NH_4^+-N时，铁的供应促进了铜向地上部的转移，降低了铜在根中的累积。缺铁时，NO_3^--N处理地上部铜的量高于NH_4^+-N处理，根中的结果相反；而供铁时，NO_3^--N处理地上部和根中铜的含量都低于NH_4^+-N处理。NO_3^--N处理地上部与根中铜含量的比值都高于NH_4^+-N处理，特别是在铁缺乏时。

（二）铁、锰、铜、锌在玉米体内的分布

铁在玉米植物体内的分布，以根中含量最高，老叶次之，新叶和茎最小（表2）。在供铁时，两种形态氮素对老叶和新叶中铁的含量没有显著的影响。但NO_3^--N可明显促进根中铁的累积，与供应NH_4^+-N相比增加了4倍，但却使茎中铁的含量减少。缺铁时，两种氮素形态对玉米植株体内铁的分布的影响与供铁时类似，不同之处在于使用NO_3^--N时，新叶中铁的含量明显减少；与供应NH_4^+-N相比，NO_3^--N使根中铁含量增加幅度小于供铁时的增加幅度。供应NO_3^--N时，铁的供应显著提高了玉米植株新叶和根中铁的含量，对老叶中铁含量没有明显的作用。供应NH_4^+-N时，铁的供应对玉米植株体内铁的含量没有显著的影响，但茎中含量有所提高。

表 2　铁和不同形态的氮素对铁在玉米体内分布的影响（mg/kg，DW）

Table 2　Effect of Fe and different forms of nitrogen on distribution of Fe in corn plants

植株器官 Organs	-Fe		+Fe	
	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N
新叶	52.9±4.4b	68.6±2.2a	73.5±3.5a	68.1±2.8a
老叶	101.8±3.5a	103.7±1.1a	93.9±6.4a	105.9±0.8a
茎	51.1±4.5b	49.6±2.7b	37.2±2.9c	60.6±4.2a
根	418.2±19.3b	145.5±11.0c	704.3±27.5a	165.5±11.4c

表 3　铁和不同形态氮素对锰在玉米体中分布的影响（mg/kg，DW）

Table 3　Effect of Fe and different forms of nitrogen on distribution of Mn in corn plants

植株器官 Organs	-Fe		+Fe	
	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N
新　叶	77.5±6.2a	63.5±2.4b	51.5±5.5c	41.2±3.5d
老　叶	203.1±3.2a	137.8±6.7c	157.8±4.6b	104.2±4.1d
茎	56.8±1.7a	21.7±2.5b	24.1±1.7b	14.9±1.3b
根	157.2±6.4b	100.4±3.9c	205.2±9.5a	64.2±1.0d

无论供铁还是缺铁，使用NO_3^--N都可明显增加老叶、新叶、茎和根中锰含量(表3)。除供铁时使用NO_3^--N使根中锰含量高于缺铁时根中的锰含量之外，缺铁时使用两种形态氮素使各器官中锰含量都显著高于供铁时使用相应的氮素时各器官中的锰含量，特别是在新叶中，缺铁时锰含量的绝对值高于供铁时新叶中的锰含量。这时NO_3^--N使新叶叶片出现褐色斑点，表现出锰中毒症状，而使用NH_4^+-N时，新叶未出现锰中毒现象。

缺铁时NO_3^--N处理的玉米植株新叶中铜显著高于NH_4^+-N处理，而老叶中铜含量无显著差异。但供铁时，玉米新叶中铜含量在两种形态氮素的处理之间无显著差异，但NH_4^+-N处理的玉米植株老叶中铜含量相对较高。在缺铁条件下，NO_3^--N使玉米茎中铜含量显著高于NH_4^+-N处理；供铁时则无显著差异。NH_4^+-N处理的玉米根中铜含量显著高于NO_3^--N处理，尤其是在缺铁条件下，这种差异达2.5倍(表4)。

表 4 铁和不同形态氮素铜在玉米体中分布的影响(mg/kg, DW)

Table 4 Effect of Fe and different forms of nitrogen on distribution of Cu in corn plants

植株器官 Organs	-Fe		+Fe	
	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N
新 叶	25.0±1.9a	20.1±1.7bc	22.7±1.5ab	20.3±1.4bc
老 叶	20.8±1.1a	22.9±1.4a	17.4±2.2b	22.9±4.1a
茎	29.1±5.9a	13.9±2.3bc	11.5±1.2bc	14.5±0.2b
根	56.4±3.8bc	141.9±3.5a	48.6±6.0c	77.7±4.4b

在缺铁或供铁条件下，NO_3^--N处理玉米植株各器官中锌的含量高于NH_4^+-N处理，尤其是在缺铁时，NO_3^--N的供应使得新叶中锌含量比NH_4^+-N处理高出38%。此外，在供应NO_3^--N时，供铁显著降低了玉米新叶、茎以及根中锌的含量，对老叶中锌含量影响不大。而供应NH_4^+-N时，供铁使新叶中锌的含量显著降低，但下降幅度不如供应NO_3^--N时大(表5)。

表 5 铁和不同形态氮素对锌在玉米体中分布的影响(mg/kg, DW)

Table 5 Effect of Fe and different forms of nitrogen on distribution of Zn in corn plants

植株器官 Organs	-Fe		+Fe	
	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N
新 叶	110.7±10.5a	68.5±7.3b	76.5±5.4b	54.1±4.6c
老 叶	113.4±5.6ab	100.6±6.2bc	119.2±6.7a	87.2±5.1c
茎	241.6±19.0a	182.5±3.8b	171.8±8.9bc	179.6±1.6bc
根	192.3±5.2a	95.3±12.1b	150.7±10.9b	93.1±6.8c

铁、锰及锌是植物体内含量较高的必需微量元素，它们之间在吸收和运输上相互影响，因而它们之间的比值或许可以反映这些元素之间的平衡状况。结果(表6)表明，缺铁时，NH_4^+-N处

理的玉米植株新叶中Fe/Mn和Fe/Zn比值高于NO_3^--N处理，而供铁时两者之间的差异缩小。说明在铁胁迫条件下，NH_4^+-N的供应有利于铁向生长活跃的新生组织移动，这对改善幼嫩组织铁的营养状况具有重要的意义。此外，新叶中Fe/Mn和Fe/Zn比值在供铁时比缺铁时高，说明铁可以影响锰在植物体中的运输。无论供铁与否，各处理的玉米植株老叶中Fe/Zn的比值都明显高于Fe/Mn的比值，这主要是由于老叶中锌的含量较低(表5)。在根中，无论是否供铁，NO_3^--N处理的Fe/Mn和Fe/Zn比值均高于NH_4^+-N处理，这是由于在供应NO_3^--N时根中累积了大量的铁(表2)。

表 6　铁和不同形态氮素对玉米叶片和根中Fe/Mn、Fe/Zn比值的影响

Table 6　Effect of Fe and different forms of nitrogen on Fe/Mn、Fe/Zn ratios in leaves and roots of corn plants

植株器官 Organs	项目 Item	-Fe		+Fe	
		NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N
新　叶	Fe/Mn	0.68	1.08	1.43	1.65
	Fe/Zn	0.48	1.00	0.96	1.26
老　叶	Fe/Mn	0.50	0.75	0.59	1.01
	Fe/Zn	4.89	4.53	5.39	4.62
根	Fe/Mn	2.66	1.45	3.43	2.57
	Fe/Zn	2.17	1.53	4.67	1.77

(三)玉米体内活性锰、活性锌的含量

由上述结果可以看出，铁以及不同形态氮素都对玉米体内、锰、铜、锌的含量和在体内的分布有较大的影响。为了更确切地反映这些微量元素在植物体内的营养状况，对植物体中活性锰和活性锌含量进行了测定。

结果表明，无论缺铁还是供铁，老叶中活性锰及活性锌的含量明显高于新叶。使用NO_3^--N时，新叶、老叶中的活性锰以及老叶中的活性锌含量显著高于使用NH_4^+-N(表7)，这一结果与叶片中全锰及全锌含量的分布趋势相同(表3，表5)。单缺铁时老叶中活性锌含量没有显著差异，并且活性锰的差异比活性锌大，新叶中的差异比老叶中的大。此外，在缺铁条件下新叶中活性锰和活性锌的含量都高于供铁时的含量。

表 7　铁和不同形态氮素对玉米叶片中活性锰、锌的影响(mg/kg，FW)

Table 7　Effect of Fe and different forms of nitrogen on Mn，Zn content in leaves of corn plants

元素 Elements	植株器官 Organs	-Fe		+Fe	
		NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N
活性锰	新　叶	6.90±0.10a	3.80±0.35c	5.73±0.25b	2.80±0.10d
	老　叶	22.61±0.41b	19.98±0.46c	24.79±0.69a	17.04±0.23d
活性锌	新　叶	2.93±0.05a	2.17±0.02b	1.71±0.03c	1.48±0.02d
	老　叶	4.57±0.10b	4.62±0.07a	4.58±0.04b	3.34±0.14c

三、讨 论

铁供应水平以及两种形态氮素对玉米植株吸收铁、锰、锌和铜有较大的影响。铁和NH_4^+-N的供应都可显著促进植株对铁的吸收以及向地上部的转移，降低了对锰的吸收；NH_4^+-N还可以明显降低缺铁植株对铜和锌的吸收(表1)。说明铁和NH_4^+-N可抑制锰的运输，这可以解释在缺铁时使用NO_3^--N肥料常常造成新叶锰中毒的现象。

铁、锰、铜以及锌在玉米植株体内分布受到铁供应水平及不同形态氮素的影响。在正常供铁条件下，不同形态氮素对玉米植株新叶中铁的含量基本没有影响，但在缺铁时，供应NO_3^--N使新叶中铁含量明显降低(表2)。在供铁时NO_3^--N可使新叶中锰和锌含量高于NH_4^+-N处理；在缺铁时，NO_3^--N的这种促进作用更加明显(表3，表5)。这一方面是因为铁与锰及锌在吸收以及运输上都有明显的竞争作用[10]。在缺铁情况下，植株对铁离子的吸收减少，使得对锰和锌的吸收及运输相应增加；另一方面，铁的供应改变了植物体内阳离子的平衡状况[4,11]。在缺铁情况下玉米新叶和老叶中活性锰和活性锌的含量高于正常供铁时的含量也证明了这一点(表7)。植物体内铜的含量相对较低，铁的供应水平对铜的吸收和在体内的分布的影响不大，但却显著受氮素形态的影响(表5)，这可能是由于铜在吸收上与锰、锌的不同特点决定的。

不同形态氮素对植物阴阳离子的吸收[11]和体内离子的平衡有重要的影响[7,8]，这种影响主要是通过改变根际的pH环境和影响体内的代谢来达到的[5,9]。供应NH_4^+-N时，植物根系释放H^+而使根际pH降低，根表吸附的阳离子如Mn^{2+}、Zn^{2+}的量也降低，导致植物对锰和锌的吸收量比供应NO_3^--N 时低(表1)，因而体内的含量也降低(表3，表4)。在供应NO_3^--N 时，植物吸收NO_3^-后根系释放出OH^-或HCO_3^-，使得根际pH值升高，这样根系表面就吸附了大量的阳离子如Mn^{2+}、Zn^{2+}等，因而在缺铁时，供应NO_3^--N常常会造成锰中毒。同时NH_4^+本身与Mn^{2+}、Zn^{2+}在吸收上也有明显的颉颃作用，相互竞争根表面阳离子的结合位点，这也使得根系对锰、锌的吸收降低。

NH_4^+-N在一定程度上改善植物体内铁的营养状况。这并不是由于NH_4^+-N使植物体内铁的含量增加，而是在于使植物内铁的活性增加[1]，这种效果在植物缺铁时尤为明显。供应NH_4^+-N的玉米根中累积的铁较少，新叶中Fe/Mn和Fe/Zn的比值却高，这主要是因为铁的向上运输改善了体内养分的平衡状况。这进一步说明了NH_4^+-N对铁高效利用的有利作用更多地表现在促进铁向上转移和保持养分的平衡。

两种形态的氮素对铜的吸收和在体内的分布的影响不同于锰和锌。在缺铁时，使用NO_3^--N使玉米新叶中铜含量高于NH_4^+-N处理；两种氮素形态对植物体内铜含量的影响不大。NH_4^+-N处理的玉米根中累积大量的铜(表5)，尤其是表现在缺铁时，造成这一结果的原因还有待于进一步研究。

参 考 文 献

1 邹春琴，张福锁，毛达如，1994：不同形态的氮素对玉米体内铁利用效果的影响。1992～1994攀登计划学术讨论会，兰州。

2 邹春琴，张福锁，毛达如，1993：铁在菜豆体内再转移效果的研究。北京农业大学学报(增刊)：27～31。

3 H. 马斯纳著，曹一平，陆景陵译，1991：高等植物的矿质营养。北京农业大学出版社。

4 Brown J C and Jones W E 1974: pH changes associated with iron-stress response. Physiol. Plant, 30: 148～152.

5 Haynes R J S and Goh K M 1978: Ammonium and nitrate nutrition of plants. Biol. Rev., 53:465～510.

6 Ismail C and Marschner H, 1987: Mechanism of phosphorus-induced Zinc deficiency in cotton. Ⅲ. Changes in physiological availability of Zinc in plants. Physiol. Plant., 70:13～20.

7 Kirkby E A, and Menge K, 1967: Ionic balance in different tissue of the tomato plant in relation to Nitrate, Urea, or Ammonium nutrition. Plant Physiol., 42:6～14.

8 Kirkby E A 1969: Ion uptake and ionic balance in plants in relation to the form of nitrogen nutrition to "Ecological Aspect of Plant Nutrition". edited by Rorison J H, 275～235.

9 Kirkby E A, Armstrony M J and Leggerr J E, 1981: Potassium recirculation in tomato plants in relation to potassium supply. J. of Plant Nutr., 3(6): 955～966.

10 Knezek B D and Greinert H, 1971: Influence of soil Fe and MnEDTA interactions upon the Fe and Mn nutrition of bean plants. Agronomy J., 68:617～619.

11 Nye P H, 1968: Advances in Plant Nutrition. Pracer Publishers, New York.

12 Takkar P N and Kaur N P, 1984: HCl method for Fe^{2+} estomation to resolve iron the chlorosis in plants. J. Plant Nutr., 7(1～5):81～90.

EFFECTS OF IRON AND DIFFERENT FORMS OF NITROGEN ON UPTAKE AND DISTRIBUTION OF MINERAL ELEMENTS IN CORN PLANTS

Ⅱ. On the Fe, Mn, Cu and Zn

Zou Chunqin　Li Chunjian　Zhang Fusuo　Mao Daru

(Dept. of Plant Nutrition, Chinese Agricultural University, Beijing 100094)

Summary

The effects of Fe and two forms of nitrogen on uptake and distribution of microelements in corn plants was studied in nutrient solution under controlled conditions. The results demonstrated that Fe supply improved Fe content in young leaves obviuosly and decreased Mn, Zn content in young leaves no matter what kind of nitrogen was supplied. At the same time, different forms of nitrogen could also influence the contents of Fe, Mn, Cu, Zn in plants. Compared to NO_3^--N, NH_4^+-N supply could improve Fe content in young leaves and decrease Mn, Zn, Cu content under Fe-deficient condition. Though there was lower Fe content in the roots of NH_4^+-N fed plants comparing to NO_3^--N supply, there was higher Fe content in young leaves. Moreover, Fe and NH_4^+-N supply decreased the contents of active Mn and Zn in young leaves of corn plants. The influence of iron and nitrogen supply on contents and distribution of Fe, Mn, Zn and Cu in old leaves, stem and roots was also discussed.

Key Words　Nitrogen form　Fe deficiency　Microelements　Corn