

# 不同调节措施对菜豆吸收矿质元素 及其在体内分布的影响<sup>①</sup>

## I. Fe, Mn, Cu, Zn

邹春琴<sup>②</sup> 张福锁 毛达如

(植物营养系)

**摘 要** 用营养液培养方法研究了在不同铁供应水平下,铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )和硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )以及老叶遮光对菜豆吸收铁、锰、铜、锌及其在体内分布的影响。结果表明, $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的供应抑制了菜豆对锰、铜的吸收及向上部的转移,促进了缺铁菜豆对锌的吸收和铁、锌向地上部的转移。老叶遮光明显提高了菜豆对铁、锰的吸收,对铜和锌的吸收没有显著影响。氮素形态对新叶中铁含量的影响不大; $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的供应显著降低了新叶中锰、铜以及供铁菜豆新叶中锌的含量,提高了缺铁植株新叶中锌的含量。铁的供应使新叶中铁的含量明显增加,锰、锌的含量明显降低,铜的含量却无明显变化。老叶遮光对新叶中铁、铜、锌的含量影响不大,却使锰的含量显著增加,在缺铁时尤为突出。铁和 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 都能使新叶中活性铁含量显著增加,活性锰含量明显降低;同时, $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 的供应使新叶中活性锌含量明显增加,铁的供应对此无明显影响。本文对菜豆老叶、茎、根中铁、锰、铜、锌含量的变化规律也进行了详细的研究。

**关键词** 缺铁; 氮素形态; 遮光; 养分吸收; 养分分布; 菜豆

**中图分类号** Q945.12

## Effect of Iron, Nitrogen Forms and Shading on Uptake and Distribution of Other Nutrient Elements in Bean Plant:

### I. Fe, Mn, Cu, Zn

Zou Chunqin Zhang Fusuo Mao Daru

(Dept. of Plant Nutrition)

**Abstract** The effect of iron, two forms of nitrogen and shading on uptake and distribution of microelements in bean plants were studied in nutrient solution under controlled conditions. The results demonstrated that iron supply improve uptake and content in young leaves obviously and decreased Mn, Zn, Cu uptake and content in young leaves no matter what kind of nitrogen was supplied. At the same time, different nitrogen forms could also influence the contents of Fe, Mn, Cu, Zn in plants. Compared to  $\text{NO}_3^--\text{N}$ ,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  supply could improve active Fe content in young leaves and decrease Mn, Zn, Cu content under

收稿日期: 1995-09-15

①国家自然科学基金和攀登计划资助项目。

②邹春琴,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

Fe-deficient condition. Though there was lower Fe content in the roots of  $\text{NH}_4^+$ -N-fed plants comparing to  $\text{NO}_3^-$ -N supply, there were higher Fe contents in young leaves. Moreover, Fe and  $\text{NH}_4^+$ -N supply improved active Fe content and decreased the contents of active Mn and Zn in youngleaves of bean plants. The shading of first leaves improved Fe, Mn uptake and Mn content in young leaves, but there was no influence on Zn, Cu content in young leaves. The influence of iron, nitrogen forms and shading on contents and distribution of Fe, Mn, Zn and Cu in first leaves, stem and roots were also discussed.

**Key words** nitrogen forms; Fe deficiency; bean plant; uptake of nutrient; distribution of nutrient

铁、锰、铜、锌都是植物生长发育所必需的微量元素，它们之间在吸收、运输上存在着直接的竞争作用。它们在植物体内的生理功能既有相似之处，又有不同的地方。植物对这些微量元素的吸收和在体内的分布受许多因素影响。已有的研究表明，氮素形态对铁在植物体内的分布和利用有较大的影响<sup>[1,2]</sup>，叶片衰老对铜在体内的再分配有较大的影响<sup>[3,4]</sup>，但系统研究在不同供铁条件下，氮素形态，老叶遮光对铁、锰、铜、锌等微量元素的吸收、分布的影响还未见报道。本实验以菜豆为实验材料，研究两种氮素形态、老叶遮光对菜豆对这4种微量元素的吸收以及在体内分布的影响，进一步阐明这几种微量元素在吸收和运输上的相互作用、在体内的平衡状况，以及植物体内养分再分配的影响因素。

## 1 材料与方法

1.1 植物培养 植物的培养同前文<sup>[5]</sup>。

### 1.2 样品的制备

收获时分新叶、老叶、茎、根4部分取样，用蒸馏水冲洗植物组织表面，样品经105℃杀青15 min后，在80℃下烘干，磨粉备用。

### 1.3 样品中铁、锰、铜、锌全量的测定

定量称取样品，经550℃干灰化，用6 mol·L<sup>-1</sup> HNO<sub>3</sub>溶解后，用PERKIN-ELMER 2100原子吸收分光光度计测定样品中铁、锰、铜、锌的含量。

### 1.4 叶片中活性铁和活性锰含量的测定<sup>[6]</sup>

鲜样切碎后用1 mol·L<sup>-1</sup> HCl按1:10的比例浸提(振荡5 h)，过滤后，用PERKIN-ELMER 2100原子吸收分光光度计测定浸提液中活性铁、活性锰、活性锌的含量。

### 1.5 叶片中活性锌含量的测定<sup>[7]</sup>

称取2.0 g鲜样于10 mL 1.0 mol·L<sup>-1</sup> MES(2-N-吗啡啉乙磺酸，pH6.0)中匀浆后过滤，用PERKIN-ELMER 2100原子吸收分光光度计测定滤液中锌的含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同调节措施对铁、锰、铜、锌吸收的影响

表1结果表明，缺铁时， $\text{NH}_4^+$ -N的供应对地上部铁的累积的影响不大，却显著降低了

根中铁和锌、地上部锰和铜的累积,促进了铁和锌向地上部的转移。供铁时,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  对铁、锰、铜的影响与缺铁时基本相同,只是植物对锌的吸收降低。老叶遮光使菜豆地上部铁的累积增加,但却抑制了供应  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的菜豆根中铁的向上转移;提高了地上部锰、锌的累积,尤其是在缺铁时作用更加明显。

表 1 不同调节措施对菜豆吸收铁、锰、铜、锌的影响  $\mu\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$

项 目	-Fe				+Fe				
	$\text{NO}_3^-\text{-N}$		$\text{NH}_4^+\text{-N}$		$\text{NO}_3^-\text{-N}$		$\text{NH}_4^+\text{-N}$		
	不遮光	遮光	不遮光	遮光	不遮光	遮光	不遮光	遮光	
Fe	地上部	97.9e*	128.1b	89.6f	102.2d	127.4b	118.2c	99.9e	136.2a
	根	44.9e	54.9d	14.4h	26.9g	132.9a	125.3b	33.3f	70.4c
	地上部/根	2.18	2.33	6.24	3.80	0.96	0.94	3.00	1.93
Mn	地上部	58.7b	105.0a	32.5e	48.2d	52.5c	59.7b	20.5b	31.4e
	根	10.6e	21.7c	15.6d	16.9g	57.4a	34.6b	4.2f	2.8f
	地上部/根	5.56	4.84	2.08	2.85	1.40	1.72	4.87	11.01
Cu	地上部	7.4a	7.5a	4.3cd	4.9c	7.4a	5.9b	3.7d	4.9c
	根	2.3b	4.8a	2.2b	1.7c	1.6c	1.6c	1.1e	1.3d
	地上部/根	3.24	1.56	1.98	2.92	4.71	3.72	3.45	3.69
Zn	地上部	26.2d	33.5c	44.1b	47.0a	24.5d	25.4d	18.1f	21.0
	根	23.0b	39.2a	20.8b	17.9b	39.6a	41.1a	8.3c	14.8bc
	地上部/根	1.14	0.85	2.12	2.62	0.62	0.62	2.18	1.52

\* a, b 等表示处理之间差异的显著性,  $P=0.05$ , 邓肯法。以下同。

## 2.2 不同调节措施对铁、锰、铜、锌在菜豆体内分布的影响

铁的供应状况、氮素形态以及老叶遮光不仅对铁、锰、铜、锌的吸收有明显的影 响,并且显著影响它们在体内的分布(表 2~5)。

表 2 结果表明,缺铁时,菜豆新叶、茎、根中铁的含量明显下降,老叶中铁的含量变化不大。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  处理菜豆老叶、根中铁的含量显著高于  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  处理,尤其是根中铁的含量大约是  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  处理的 3~4 倍,茎中铁含量的结果正好相反。遮光对缺铁菜豆新叶中铁的含量影响不大,除  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  营养的缺铁菜豆老叶和根中铁的含量降低外,其他处理均有所增加。

$\text{NO}_3^-\text{-N}$  处理的菜豆植株新叶以及老叶中锰含量显著高于  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  处理的植株,老叶遮光明显提高了各器官中锰的含量(表 2)。缺铁时,与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的供应相比,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的供应使菜豆新叶、老叶中锰的含量显著提高,茎和根中锰的含量明显下降,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  处理新叶中锰的含量是  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  处理的 2~3 倍。供铁时,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  供应使菜豆各部位锰的含量显著高于  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  处理,新叶、根中锰的含量分别是  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  处理的 3.2 和 7 倍。虽然  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  营养的菜豆根中也有大量的锰,但转移到新叶中的比例却远低于  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  处理。遮光使新叶、老叶中锰的含量明显提高,尤其是  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  营养的缺铁菜豆可增加 1 倍。

表2 铁、锰、铜、锌在菜豆植物体中的分布  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}(\text{DW})$ 

植株器官	-Fe				+Fe				
	$\text{NO}_3^- - \text{N}$		$\text{NH}_4^+ - \text{N}$		$\text{NO}_3^- - \text{N}$		$\text{NH}_4^+ - \text{N}$		
	不遮光	遮光	不遮光	遮光	不遮光	遮光	不遮光	遮光	
Fe	新叶	180.8d	179.8d	171.1d	179.2d	273.4a	236.9b	206.3c	226.9b
	老叶	416.7d	742.6a	352.0e	477.5bc	518.7b	471.2bc	430.7c	493.7bc
	茎	67.9d	57.1e	99.8b	87.2c	111.1a	97.9b	104.2ab	110.6a
	根	748.3b	610.9c	239.4f	385.2e	1477.6a	1566.9a	476.0d	704.4b
Mn	新叶	150.3c	302.7a	69.5e	109.5d	146.5c	181.8b	46.8e	55.9e
	老叶	169.1b	191.5a	70.0f	104.5e	141.9c	125.4d	61.7f	102.3e
	茎	49.4d	77.1b	67.9bc	88.6a	55.6d	59.7cd	31.3e	29.1e
	根	176.1c	241.1b	260.5b	242.4b	416.1a	432.7a	60.1a	57.1d
Cu	新叶	16.41a	17.17a	5.15d	6.85cd	13.86b	14.31b	7.07c	7.33c
	老叶	13.81b	8.39d	5.94e	13.65b	17.90a	12.43bc	10.30cd	12.20bc
	茎	13.35bc	11.65cd	17.34a	11.91cd	15.58ab	10.23de	7.37f	8.80ef
	根	38.19b	53.54a	36.51b	24.15c	17.55de	20.04cd	15.34e	13.44e
Zn	新叶	55.2c	58.2c	83.7a	67.5b	48.5d	48.3d	22.3e	28.2e
	老叶	25.3d	32.3cd	77.6b	133.5a	39.0cd	48.2cd	19.8d	31.73cd
	茎	63.5cd	69.8c	120.1a	108.28b	60.6cd	61.6cd	64.0c	53.5d
	根	382.7c	435.9b	346.2c	256.5d	439.9b	514.1a	118.3e	137.8e

菜豆体内铜的含量较铁和锰的含量低(表2)。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N处理菜豆新叶中铜含量显著高于NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理;铁的供应使NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N处理新叶中铜含量降低, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理的铜含量约有增加,这与锰的变化规律基本一致。遮光新叶中铜的含量没有明显的影响。缺铁时,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N处理不遮光老叶中铜含量比NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理高56%,而遮光老叶却比NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理低38%;供铁时,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N处理不遮光老叶铜含量比NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理高42%,而遮光老叶却无显著差异。供铁叶中铜含量明显高于缺铁处理。缺铁时,在不遮光条件下,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N处理茎中铜含量低于NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理,供铁时结果相反;老叶遮光后两者之间没有差异。遮光使茎中铜含量基本上有所下降。供应NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N的遮光菜豆根中铜含量均显著高于NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理,尤其是在缺铁时,前者比后者高50%左右,而不遮光的菜豆根中铜含量则无显著差异。铁的供应降低了根中铜含量。

锌在菜豆体内的分布状况表明,缺铁时,菜豆新叶、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N营养的老叶、茎和根中锌的含量明显下降(表2)。但不同氮素形态对其影响的程度不同。缺铁时,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N处理的菜豆新叶、老叶、茎中锌含量显著低于NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理;而供铁时的结果正好相反,茎中锌的含量没有明显的变化。遮光使NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N处理的老叶中锌的含量下降,除NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N处理菜豆根中锌的含量增加外,对其他处理锌的含量没有明显的影响(表2)。

### 2.3 供铁状况和氮素形态对菜豆叶片中活性养分含量的影响

由上述结果可以看出,不管是氮素形态,还是铁的供应状况对铁、锰、铜、锌的吸收和

在体内的分布都有明显的影响。为了更确切地反应植物体内这些养分的营养状况，本文对活性铁、活性锰、活性锌的含量进行了测定，测定结果见表 3。

表 3 菜豆叶片中活性铁、活性锰和活性锌的含量  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (FW)

元 素	植株器官	- Fe		+ Fe	
		$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$
活性铁	新 叶	8.71d	15.02c	18.86b	24.27a
	老 叶	18.73c	35.57b	34.19b	35.91b
活性锰	新 叶	5.37a	3.00b	3.22b	2.45c
	老 叶	6.02a	3.92b	6.37a	3.74b
活性锌	新 叶	4.98b	5.60a	4.77b	5.65a
	老 叶	1.70b	1.10c	2.20a	2.33a

如表 3 所示， $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  使菜豆新叶中活性铁和活性锌含量明显提高，活性锰降低，这种效果在缺铁时尤为明显。铁的供应也使得新叶中活性铁含量增加，活性锰含量降低，而对活性锌含量没有明显的影响。 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  使缺铁菜豆老叶中活性铁含量增加，活性锰含量降低；对供铁菜豆老叶中活性铁和活性锌含量的影响不大，却使活性锰含量降低；铁的供应使  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  处理菜豆老叶中活性铁和锌含量增加，对活性锰含量的影响不大。

#### 2.4 不同调节措施对菜豆体内铁/锰、铁/锌的影响

铁、锰、锌是植物体内含量较高的必需微量元素，在吸收和运输上，它们之间相互影响，因而，它们间的比值可以反映出养分间的平衡状况。表 4 列出了不同调节措施对 Fe/Mn 和 Fe/Zn 的影响。

表 4 不同调节措施对菜豆体内中铁/锰、铁/锌比值的影响

植株器官	比值	- Fe				+ Fe			
		$\text{NO}_3^- \text{-N}$		$\text{NH}_4^+ \text{-N}$		$\text{NO}_3^- \text{-N}$		$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	
		不遮光	遮光	不遮光	遮光	不遮光	遮光	不遮光	遮光
新 叶	Fe/Mn	1.20	0.59	2.46	1.63	1.86	1.30	4.40	4.11
	Fe/Zn	3.27	3.08	2.04	2.65	5.63	4.90	9.08	8.00
老 叶	Fe/Mn	2.46	3.87	5.03	4.57	3.65	3.76	6.98	4.82
	Fe/Zn	16.49	23.01	4.53	3.57	13.29	9.77	21.76	15.56
根	Fe/Mn	4.25	2.53	0.92	1.59	3.55	3.62	7.91	12.33
	Fe/Zn	1.95	1.40	0.69	1.50	3.36	3.05	4.02	5.11

表 4 结果表明，与  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  处理相比，供应  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  使菜豆新叶、老叶以及供铁处理的根中 Fe/Mn 的比值提高；缺铁处理新叶、老叶、根中 Fe/Zn 的比值下降，供铁处理的 Fe/Zn 的比值提高。铁的供应使新叶中 Fe/Mn，新叶和根中 Fe/Zn 的比值明显提高；使供应  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的老叶、根中 Fe/Mn 以及老叶中 Fe/Zn 的比值增加。遮光明显降低缺铁菜豆新叶

中 Fe/Mn 的比值,特别是在缺铁条件下或供应  $\text{NO}_3^-$ -N 时,对新叶中 Fe/Zn 的比值却影响不大。

### 3 讨论

#### 3.1 供铁状况对铁、锰、铜和锌吸收及其分布的影响

铁的供应水平对铁、锰、铜和锌的吸收和在体内的分布都有较大的影响。缺铁时,植物对铁的吸收量明显下降,而锰、铜、锌的吸收量却相对增加(表 1)。从这些元素在体内的分布来看也是同样的趋势(表 2)。缺铁时,菜豆新叶中铁的含量较低,而锰和锌的含量却较高。尤其是在供应  $\text{NO}_3^-$ -N 时,新叶中全铁含量和活性铁的含量都明显下降,全锰和活性锰的含量却相对增加,因此常常造成缺铁植物体内阳离子的严重不平衡,引起锰中毒。这主要是因为  $\text{Fe}^{2+}$  与  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  在吸收和运输上有非常明显的拮抗作用<sup>[8]</sup>,在缺铁的条件下,  $\text{Fe}^{2+}$  的吸收减少了,  $\text{Mn}^{2+}$  的吸收就相对增加;而铁的供应明显改变了植物体内阳离子的平衡状况<sup>[9,10]</sup>,当铁的供应增加时,在吸收上与之有竞争作用的阳离子如  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  等就下降。在铁缺乏的情况下,菜豆新叶和老叶中活性锰和活性锌的含量都比正常供铁时要高也充分说明了这一点。植物体内铜的含量比较低,铁的供应水平明显降低了根中铜的含量,而地上部铜的含量受氮素形态的影响更大。这主要是因为铜在吸收和运输上的不同特点造成的。铜在吸收上与铁不同,它没有还原的过程,因此植物对铜吸收量的大小主要受植物本身的特性和需求、铜的供应状况以及其他阳离子的影响。

#### 3.2 不同氮源对铁、锰、铜和锌吸收及其分布的影响

$\text{NH}_4^+$ -N 营养的菜豆对 4 种微量元素的吸收量明显低于  $\text{NO}_3^-$ -N 处理,但就地上部与根中的比例而言,前者地上部所占的比例明显高于后者。就铁而言,虽然供应  $\text{NO}_3^-$ -N 时,菜豆对铁的吸收量显著高于  $\text{NH}_4^+$ -N 处理,但在缺铁条件下,菜豆新叶中铁的含量却没有明显的差异,而且后者新叶中活性铁的含量还显著高于前者。而锰、铜的结果却相反。除了在缺铁条件下  $\text{NH}_4^+$ -N 处理新叶中锌的含量高于  $\text{NO}_3^-$ -N 处理外,其他情况也与锰、铜的变化趋势一致。最直接的原因是  $\text{NO}_3^-$ -N 的供应使铁在根中大量累积,不利于其向地上部转移,造成体内阳离子的不平衡,而  $\text{NH}_4^+$ -N 却有相反的作用。根本原因是,供应  $\text{NH}_4^+$ -N 时,植物根系释放  $\text{H}^+$  而使得根际 pH 降低;供应  $\text{NO}_3^-$ -N 时,根系释放出  $\text{OH}^-$  或  $\text{HCO}_3^-$ ,使根际 pH 值升高<sup>[11]</sup>,这样根表吸附的阳离子如  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  就增加,因此吸收的量也增加,这对植物正常生长是不利的。同时  $\text{NH}_4^+$  本身与  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  在吸收上的竞争作用也使得  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  的吸收降低。 $\text{NH}_4^+$ -N 的供应新叶中铁或活性铁的含量明显提高的原因,主要是  $\text{NH}_4^+$ -N 吸收后释放的  $\text{H}^+$  对植物根系原生质膜上铁吸收的还原系统有较强的激活作用,促进了铁由质外体进入细胞中被利用<sup>[11]</sup>。

此外,  $\text{NH}_4^+$ -N 的供应能在一定程度上改善植物体内铁的营养状况,不是因为  $\text{NH}_4^+$ -N 使植物体内铁的含量增加,而是使植物体内活性铁含量增加,这种效果在植物缺铁时具有重要的意义。虽然供应  $\text{NH}_4^+$ -N 的菜豆根中铁的累积较少,但新叶中 Fe/Mn、Fe/Zn 的比值都较高,主要是因为  $\text{NH}_4^+$ -N 的供应促进了铁向上运输,改善了体内养分的平衡状况<sup>[13,14]</sup>,使锰和锌向地上部转移的量减少。

两种形态的氮素对体内铜的分布也有较大的影响;与  $\text{NO}_3^-$ -N 的供应相比,  $\text{NH}_4^+$ -N 营养的菜豆新叶中铜的含量明显降低,这主要是因为  $\text{NH}_4^+$ -N 与  $\text{Cu}^{2+}$  在吸收上的竞争作用造成的。

### 3.3 老叶遮光对铁、锰、铜和锌吸收及其分布的影响

老叶遮光在一定程度上增加了菜豆对铁的吸收,而对其他 3 种元素的吸收影响不大。老叶遮光对菜豆新叶中铁的含量没有显著的影响,却提高了新叶中活性铁的含量,供应  $\text{NO}_3^-$ -N 时,可使新叶中活性铁的含量提高 70% 左右,这对改善缺铁植株的铁营养状况具有重要的意义。并且遮光使新叶、老叶和根中锰的含量明显增加,尤其表现在植株缺铁时,但对锌和铜在体内的分布则影响不大。原因可能是:遮光加速了叶片的衰老,一方面使得养分转化成易移动的养分,向新生组织转移;另一方面减少了光合产物的竞争,使更多的能量用于根系吸收养分。

## 参 考 文 献

- 1 Mengel K, Geurtzen G. Relationship between iron chlorosis and alkalinity in *Zea mays*. *Physiol Plant*, 1988, 72:460~465
- 2 邹春琴,张福锁,毛达如. 铁在菜豆体内再转移效率的研究. 北京农业大学学报, 1993(增刊): 27~31
- 3 Robenson H J, Loneragan J F. The effects of copper supply and shading on the retranslocation of copper from mature wheat leaves. *Ann Bot*, 1979, 34(4):179~187
- 4 Hill J. The remobilization of nutrients from leaves. *J Plant Nutr*, 1980, 2 :407~444
- 5 邹春琴,张福锁,毛达如. 不同调节措施对菜豆吸收矿质养分及其在体内分布的影响: I. N, P, K, Ca, Mg. 中国农业大学学报, 1996, 1(5):27~33
- 6 Takkar P N, Kaur N P. HCl method for  $\text{Fe}^{2+}$  estimation to resolve iron chlorosis in plants. *J Plant Nutr*, 1984, 7:81~90
- 7 Cakamak I, Marschner H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton: III. Changes in physiological availability of zinc in plants. *Physiol Plant*, 1987, 70:17~20
- 8 Knezek B D, Greinert H. Influence of soil Fe and Mn-EDTA interactions upon the Fe and Mn nutrition of bean plants. *Agronomy J*, 1971, 68:617~719
- 9 Nye P H. *Advances in Plant Nutrition*. New York: Praeger Publishers, 1986
- 10 Brown J C, Ambler J E. Iron-stress response in tomato (*Lycopersion esculentum*): I. Sites of Fe reduction, absorption and transport. *Physiol Plant*, 1974, 31:221~224
- 11 邹春琴,杨志福. 氮素形态对春小麦根际 pH 变化的影响. 土壤通报, 1994, 4:175~177
- 12 Haynes R J S, Goh K M. Ammonium and nitrate nutrition of plants. *Biol Rev Cambisfw Philos Soc*, 1978, 53:465~510
- 13 Kirkby E A, Mengel K. Ionic balance in different tissue of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol*, 1967, 42:6~14
- 14 Kirkby E A. Ion uptake and ionic balance in plants in relation to the form of nitrogen nutrition. In: *Ecological Aspect of Plant Nutrition*. Rorison J Hed. 1969, 225~235