

# 硼对吲哚乙酸在植物体内运输的影响\*

焦晓燕\*\* 杨治平 赵瑞芬 王立志

(山西省农业科学院土壤肥料研究所山西省土壤环境与养分资源重点实验室, 太原 030031)

**摘要** 以绿豆为指示作物, 研究缺硼对侧芽生长及<sup>3</sup>H-吲哚乙酸( IAA) 在完整植株体内运输的影响. 结果表明: 缺硼诱导侧芽生长, 导致<sup>3</sup>H-IAA 移动峰靠近植株顶端, 茎中<sup>3</sup>H-IAA 的放射性活度也低于供硼充分的植株, 说明缺硼抑制了<sup>3</sup>H-IAA 在植株体内的极性运输; 无论缺硼与否侧芽中均未检测到<sup>3</sup>H-IAA, 所以侧芽的生长与<sup>3</sup>H-IAA 在其中的积累没有关系, 表明硼并不是通过调节 IAA 在侧芽中的积累, 而是通过调节 IAA 在主茎的移动流调控侧芽生长; 给缺硼植株供硼 24 h 能够恢复 IAA 在植株体内的极性运输能力.

**关键词** 硼 IAA 极性运输 顶端优势

**文章编号** 1001-9332(2007)02-0366-05 **中图分类号** S143.7 **文献标识码** A

**Effects of boron on indole-3-acetic acid transportation in intact *Phaseolus aureus* plant.** JIAO Xiao-yan, YANG Zhi-ping, ZHAO Rui-fen, WANG Li-zhi ( *Provincial Key Laboratory of Soil Environment and Nutrient Resources, Institute of Soil and Fertilizer, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China* ). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(2): 366-370.

**Abstract:** With intact *Phaseolus aureus* plant as test material, this paper studied the effects of boron deficiency on its axillary bud growth and polar auxin transportation. The results showed that boron deficiency induced axillary bud growth significantly, while applying indole-3-acetic acid ( IAA ) could suppress the axillary bud growth induced by the decapitation of boron sufficient plant. When the plant deficient in boron was decapitated, applying IAA could delay the axillary bud growth. Compared with boron sufficient plant, the plant deficient in boron had an inhibited auxin basipetal movement in terms of the shorter distance of <sup>3</sup>H-IAA peak from apex, and less total radioactivity detected in stem. No radioactivity was found in the axillary buds in any of the treatments, suggesting that the basipetal IAA transportation in stem rather than the IAA accumulation in bud was required for the inhibition of bud growth. A 24 h boron supply to the boron deficient plant could restore its <sup>3</sup>H-IAA transportation.

**Key words:** boron; IAA; polar auxin transport; apical dominance.

## 1 引言

缺硼植物的生态学变化之一是失去顶端优势<sup>[10, 24, 26]</sup>, 通常认为, 顶芽和未成熟的叶片中产生的吲哚乙酸( IAA )运输到侧芽而抑制其生长<sup>[4, 16]</sup>. 大量研究表明, 给去除顶端的植物外源供应 IAA 能抑制侧芽生长, 同时一些抑制激素运输的化学制剂能够促进侧芽生长<sup>[3, 21]</sup>. 从假单胞杆菌( *Savastanoi* )中提取的 *iaal* 基因是 IAA-赖氨酸合成酶的编码基因, 能使 IAA 连接到赖氨酸上; 该基因导入烟草( *Nicotiana tabacum* )中后, 自由 IAA 的含量降低, 烟

草顶端优势变弱<sup>[18]</sup>. 这表明 IAA 与植物的顶端优势有关.

硼和激素代谢之间也存在一定的关系. Lewis<sup>[13]</sup>早已指出, 硼、酚类化合物代谢, 过氧化物酶/ IAA 氧化酶之间相互影响; Jarvis 等<sup>[9]</sup>认为硼能刺激 IAA 氧化酶活性, 降低茎组织中激素的浓度; 与此相反, 也有缺硼提高植物激素浓度的报道<sup>[17, 20]</sup>. 缺硼对植株不同器官中 IAA 含量影响不同; 与正常供硼的植株相比, 同一器官缺硼胁迫的时间不同对 IAA 含量影响也不同<sup>[25, 27]</sup>. 缺硼降低向日葵( *Helianthus annuus* )离体上胚轴茎中 IAA 运输, 因此 Tang 等<sup>[23]</sup>认为硼影响在激素极性运输中起重要作用的( 细胞膜 )配位体的合成; 细胞培养试验也表明, 相对于供硼充足的细胞, 缺硼细胞释放的<sup>3</sup>H-IAA 量明显减

\* 山西省自然科学基金( 20031082 )和英国 Sheffield 大学奖学金资助项目.

\*\* 通讯作者. E-mail: Xiaoyan\_jiao@yahoo.com.cn

2006-05-30 收稿, 2006-11-29 接受.

少<sup>[6]</sup>. 因此, 缺硼可能通过影响植物体内激素的极性运输而影响顶端优势. 鉴于应用离体茎组织研究激素运输一直受到质疑<sup>[14,19]</sup>, 本文采用绿豆(*Phaseolus aureus*)完整植株研究硼对<sup>3</sup>H-IAA 在其体内极性运输的影响, 以明确外源供给 IAA 能否缓解缺硼引起的植物失去顶端优势及缺硼引起植物失去顶端优势是否与其对 IAA 极性运输的影响有关.

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

用 4% 漂白液对绿豆种子进行表面消毒, 然后在蛭石中用蒸馏水培养 5 d 待用. 为了防止硼污染, 所有器皿均用稀酸充分清洗后再用蒸馏水冲洗干净. 培养条件为光照时间 16 h, 白天温度 25 °C, 晚上 18 °C, 光照强度(PAR)为 150  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 光源为金属卤化物灯.

### 2.2 试验设计

**2.2.1 外源 IAA 对植物侧芽生长的影响试验** 培养 5 d 时将幼苗移栽到盛有沙子的塑料盆(直径 13 cm × 13 cm, 12.5 cm 深)中, 每盆 1 株, 每天从底部供给含有包括最佳硼浓度 50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和缺硼浓度 0  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 Rorsion 营养液<sup>[7]</sup>. 移栽 28 d 后将绿豆苗去掉顶端, 此时比绿豆出现明显的侧芽分化早 2 d. 每个硼浓度下均设 3 个处理: 1) 完整植株; 2) 去掉顶端后茎顶端供含 2% (w/w) IAA (Sigma, UK) 的羊毛脂(BDH, Poole, England); 3) 去掉顶端后茎顶端只供等量的羊毛脂. 每株羊毛脂用量为 1.5 g, 每两天更换羊毛脂以免 IAA 光分解. 每处理设 4 次重复.

分别在植株去顶后 9、11、13、15、18 d 测定侧芽分化情况.

**2.2.2 硼对成苗 IAA 运输的影响试验** 移栽后试验共设 3 个处理: 1) 植株供硼 50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 2) 植株不供硼; 3) 植株在移栽后前 27 d 生长在无硼环境, 然后在供硼 100  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的环境中生长 24 h, 以便明确暂时供硼能否减缓缺硼对 IAA 极性运输的影响. 每处理设 5 次重复. 移栽 28 d 后给所有完整植株供给<sup>3</sup>H-IAA.

**2.2.3 硼对幼苗 IAA 运输的影响试验** 供试幼苗在蛭石中生长 10 d, 共设 3 个处理: 1) 幼苗供硼 80  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 2) 幼苗不供硼; 3) 幼苗在播后前 9 d 生长在无硼环境, 然后在供硼 160  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的环境中生长 24 h, 以便明确暂时供硼能否减缓缺硼对 IAA 极性运输的影响. 每处理设 5 次重复. 播后 10 d

给所有完整植株供给<sup>3</sup>H-IAA.

### 2.3 试验方法

试验所用的 3-[5(n)-<sup>3</sup>H]IAA 贮存于乙醇溶液中(Amersham Place, England), 放射性活度为 777 GBq · mmol<sup>-1</sup>. 使用前用含吐温 20 的蒸馏水溶液稀释该贮备液, 使放射性活度为 3 700 KBq · ml<sup>-1</sup>, 此时吐温 20 的浓度为 0.009% (v/v). 成苗处理时, 小心用镊子打开最嫩叶片(供硼和无硼处理分别为从基部数第 5 片和第 4 片三复叶), 每株供给 5  $\mu\text{l}$  该溶液(即含 18.5 kBq 的<sup>3</sup>H-IAA); 幼苗处理时, 则直接将 5  $\mu\text{l}$  含 18.5 kBq 的<sup>3</sup>H-IAA 溶液滴在植物顶端. 6 h 后小心去掉接受<sup>3</sup>H-IAA 的叶子或顶芽, 从顶端起将茎切为 6.6 mm 的茎段并收集各三复叶腋分化侧芽, 然后在 10 ml 的 Hydrofluor (National Diagnostics, N. J., USA) 中浸泡 24 h, 再用 Tri-Carb 1600TR 液体闪烁光谱仪(Packard Instrument Company; USA)测定放射性活度, 以外标法进行猝灭校正.

### 2.4 数据处理

除表 1 外, 所有结果均为 5 次重复的平均数 ± 标准差.

## 3 结果与分析

### 3.1 硼与外源 IAA 对绿豆侧芽生长的影响

缺硼植株去顶后 9 d, 4 株绿豆均从第一茎节处明显长出侧芽; 而不去顶 9 d 有 1 株长出侧芽, 13 d 后 4 株均长出侧芽. 给去顶的绿豆植株供应 IAA, 明显延缓了侧芽的生长, 15 d 后只有 2 株长出侧芽. 生长在 50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  硼溶液中的完整植株在第 18 天只有 1 株开始生长侧芽, 去顶的植株到 15 d 开始生长侧芽, 如果给去顶植株供给 IAA 则具有与完整植株同等的顶端优势效果(表 1). 这表明给植物顶端供 IAA 能在不同程度上维持植物的顶端优势.

表 1 硼和 IAA 对绿豆侧芽分化的影响

Tab. 1 Effect of boron and IAA on axillary bud differentiation of *P. aureus*

硼 Boron ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	处理 Treatment	去顶后天数 Days after decapitated (d)				
		9	11	13	15	18
50	完整植株 Intact	0	0	0	0	1
	去顶 Decapitated	0	1	1	4	4
	去顶供 2% IAA Decapitated with 2% IAA	0	0	0	0	1
0	完整植株 Intact	1	1	4	4	4
	去顶 Decapitated	4	4	4	4	4
	去顶供 2% IAA Decapitated with 2% IAA	0	2	2	2	4

表中数值表示从第 1 个茎节明显长出侧芽的株数 Data meant the number of plants which had obvious axillary buds.

### 3.2 硼对<sup>3</sup>H-IAA在绿豆成苗中运输的影响

无论供硼与否,三复叶腋下分化的侧芽中均未检测到<sup>3</sup>H-IAA,植株体内<sup>3</sup>H-IAA沿茎向基部呈单峰移动.供<sup>3</sup>H-IAA 6 h后,一直供硼的植株茎中<sup>3</sup>H-IAA运输曲线的最大峰值离顶端较远,最大放射性出现在离顶点(35.6 ± 10.1) mm左右,平均移动速率为(5.9 ± 1.7) mm · h<sup>-1</sup>,茎中可测出的总放射性活度为(2 137 ± 245) Bq;在缺硼处理中,最大放射性出现在离顶点(30.0 ± 7.5) mm处,平均移动速率为(5.0 ± 1.3) mm · h<sup>-1</sup>,茎中可测出的总放射性活度为(1 459 ± 435) Bq(图1和表2).因此,绿豆成苗缺硼抑制了IAA在植株体内的极性运输能力.

缺硼影响植株形态和叶片数量,在本试验中供硼50 μmol · L<sup>-1</sup>的植株有5个三复叶和1对真叶,不供硼的植株有4个三复叶和1对真叶.为了避免形态学差异对激素运输的影响,在供<sup>3</sup>H-IAA 24 h之前,给生长在无硼环境中的绿豆植株供硼100 μmol · L<sup>-1</sup>,则<sup>3</sup>H-IAA移动峰距顶端(36.6 ± 10.1) mm,

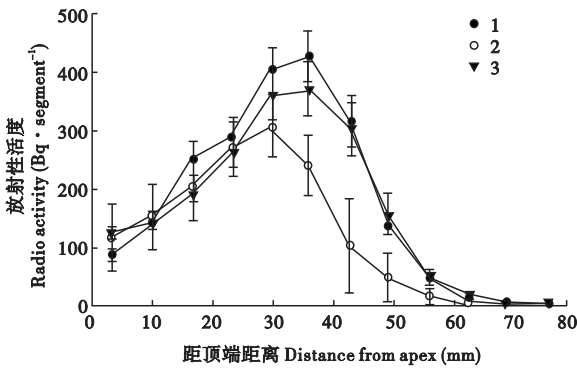


图1 硼对绿豆成苗中<sup>3</sup>H-IAA极性运输的影响  
Fig. 1 Effect of boron on basipetal transport of <sup>3</sup>H-IAA in older *P. aureus* plants.

1) 供硼 50 μmol · L<sup>-1</sup> 28 d 50 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 28 d; 2) 无硼 28 d Without boron for 28 d; 3) 无硼 27 d, 供硼 100 μmol · L<sup>-1</sup> 24 h Without boron for 27 d then 100 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 24 h.

表2 暂时供硼对缺硼绿豆成苗中 IAA 极性运输能力恢复的影响  
Tab. 2 Effect of boron on the reversibility of <sup>3</sup>H-IAA transport in older *P. aureus* plants

处理 Treatment	峰距顶端距离 Distance of the peak from apex (mm)	峰平均移动速率 Mean rate of the peak (mm · h <sup>-1</sup> )	放射性活度 Total radio activity (Bq)
1	35.6 ± 10.1	5.9 ± 1.7	2137 ± 245
2	30.0 ± 7.5	5.0 ± 1.3	1459 ± 435
3	36.6 ± 10.1	6.1 ± 1.7	1963 ± 227

1) 供硼 50 μmol · L<sup>-1</sup> 28 d 50 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 28 d; 2) 无硼 28 d Without boron for 28 d; 3) 无硼 27 d, 供硼 100 μmol · L<sup>-1</sup> 24 h Without boron for 27 d then 100 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 24 h.

平均移动速率为(6.1 ± 1.7) mm · h<sup>-1</sup>,总放射性活度为(1 963 ± 227) Bq. 这表明给缺硼植株供硼 24 h在一定程度上能够恢复 IAA 在植物体内的极性运输能力.

### 3.3 硼对<sup>3</sup>H-IAA在绿豆幼苗中运输的影响

无论供硼与否,生长 10 d 的绿豆幼苗形态一致:有一个小顶芽和一对真叶、高约 125 ~ 130 mm. 当幼苗在蒸馏水中生长 10 d,只有给扦插苗供硼才能生长不定根<sup>[28]</sup>,这表明在蒸馏水中生长 10 d 的幼苗体内已经缺硼,其可以作为研究硼对 IAA 运输影响的理想材料.

绿豆幼苗中<sup>3</sup>H-IAA运输也呈单峰极性运输,缺硼各段茎中放射性活度均较低(图2).供硼80 μmol · L<sup>-1</sup>时,<sup>3</sup>H-IAA峰移动的平均速率为(6.8 ± 1.5) mm · h<sup>-1</sup>,茎中总放射性活度为(1 683 ± 438) Bq;缺硼时<sup>3</sup>H-IAA峰移动的平均速率为(5.9 ± 1.2) mm · h<sup>-1</sup>,茎中总放射性活度为(849 ± 239) Bq. 与在80 μmol · L<sup>-1</sup>硼溶液中生长 10 d 相比,在无硼环境中生长 9 d 然后在 160 μmol · L<sup>-1</sup>硼溶液中生长 24 h 对 IAA 极性运输没有影响(表3).

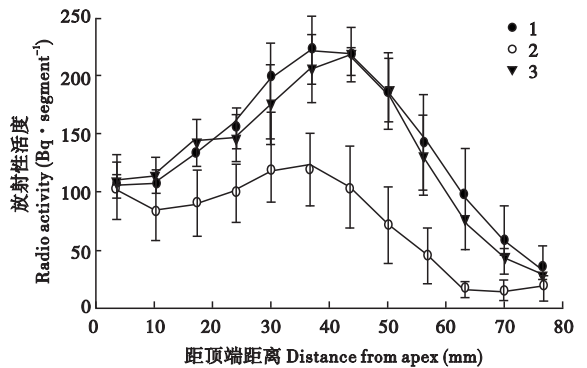


图2 硼对绿豆幼苗中<sup>3</sup>H-IAA极性运输的影响  
Fig. 2 Effect of boron on basipetal transport of <sup>3</sup>H-IAA in *P. aureus* seedlings.

1) 供硼 80 μmol · L<sup>-1</sup> 10 d 80 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 10 d; 2) 无硼 10 d Without boron for 10 d; 3) 无硼 9 d, 供硼 160 μmol · L<sup>-1</sup> 24 h Without boron for 9 d then 160 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 24 h.

表3 暂时供硼对缺硼绿豆幼苗中 IAA 极性运输能力恢复的影响  
Tab. 3 Effect of boron on the reversibility of <sup>3</sup>H-IAA transport in *P. aureus* seedlings

处理 Treatment	峰距顶端距离 Distance of the peak from apex (mm)	峰平均移动速率 Mean rate of the peak (mm · h <sup>-1</sup> )	放射性活度 Total radio activity (Bq)
1	40.6 ± 8.9	6.8 ± 1.5	1683 ± 438
2	35.3 ± 7.3	5.9 ± 1.2	849 ± 239
3	41.9 ± 8.9	6.9 ± 1.5	1617 ± 392

1) 供硼 80 μmol · L<sup>-1</sup> 10 d 80 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 10 d; 2) 无硼 10 d Without boron for 10 d; 3) 无硼 9 d, 供硼 160 μmol · L<sup>-1</sup> 24 h Without boron for 9 d then 160 μmol · L<sup>-1</sup> boron for 24 h.

## 4 讨 论

与以前的报道一致<sup>[24]</sup>,本研究表明,缺硼导致植株侧芽生长,因此硼与植物顶端优势关系密切。尽管激素不是调控植物顶端优势的唯一因素,但激素在很大程度上影响侧芽生长<sup>[1]</sup>。本研究中无论供硼与否,任何腋芽(即已分化但未生长的侧芽)中均未检测到<sup>3</sup>H-IAA,借助 *Lux* 基因表达和直接测定也表明,去顶后侧芽中激素浓度没有降低反而增加<sup>[5,12]</sup>,因此,缺硼可能不是通过调控激素进入侧芽来影响植物的生长。Tamas 等<sup>[22]</sup>也认为,茎中 IAA 的极性运输抑制了侧芽生长,而不是 IAA 在侧芽中积累的作用。本试验结果表明,缺硼时<sup>3</sup>H-IAA 极性运输的峰值靠近顶端(图 1 和图 2),茎中总放射性活度较小(表 2 和表 3),因此激素极性运输能力降低,这可能是缺硼导致顶端优势丧失的原因。

在植物茎内激素通过细胞上部质膜的吸收转移蛋白进入细胞,然后通过细胞下部质膜的载体流出,依此类推进行极性运输<sup>[11]</sup>。细胞培养研究表明,缺硼不影响<sup>3</sup>H-IAA 吸收,但抑制<sup>3</sup>H-IAA 输出<sup>[6]</sup>,这可能是由于缺硼影响质膜上 IAA 输出载体的功能的缘故。硼与含 *cis*-OH 化合物结合维持了细胞壁和细胞膜的结构与功能<sup>[2]</sup>,缺硼可能会影响质膜的完整性及其功能,硼还能调控黄酮类化合物的代谢<sup>[15]</sup>,后者具有抑制 IAA 极性运输的作用<sup>[8]</sup>。本研究表明,给缺硼植物供硼 24 h 能够恢复<sup>3</sup>H-IAA 的极性运输,这表明供硼可能很快修复细胞膜上与激素运输有关的输出载体的功能,但是否能够完全恢复植物的顶端优势还有待于进一步研究。

### 参考文献

[1] Beveridge CA, Symons GM, Turnbull CGN. 2000. Auxin inhibition of decapitation-induced branching is dependent on graft-transmissible signals regulated by genes *Rms1* and *Rms2*. *Plant Physiology*, **123**: 689–698

[2] Bolaños L, Lukaszewski K, Bonilla I, et al. 2004. Why boron? *Plant Physiology and Biochemistry*, **42**: 907–912

[3] Cline MG. 1991. Apical dominance. *Botanical Review*, **57**: 318–358

[4] Davies PJ. 1995. The plant hormones: Their nature, occurrence and functions// Davies PJ, ed. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. 2nd Ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

[5] Gocal GFW, Pharis RP, Yeung EC, et al. 1991. Changes after decapitation in concentrations of indole-3-Acetic acid and abscisic acid in the larger axillary bud of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Tender Green. *Plant Physiology*, **95**: 344–350

[6] Goldbach H, Amberger A. 1986. Influence of boron deficiency on <sup>3</sup>H indole-3yl-acetic acid uptake and efflux in cell cultures of *Daucus carota* L. *Plant Growth Regulation*, **4**: 81–86

[7] Hewitt EJ. 1966. Sand and Water Culture Methods Used in The Study of Plant Nutrition. 2nd Ed. Bucks: Commonwealth Agricultural Bureau, Fanham Royal.

[8] Jacobs M, Rubery PH. 1988. Naturally occurring auxin transport regulators. *Science*, **241**: 346–349

[9] Jarvis BC, Ali AHN. 1984. Irradiance and adventitious root formation in stem cuttings of *Phaseolus aureus* Roxb. *New Phytologist*, **97**: 31–36

[10] Jiao X. 2001. Effects of Boron on Shoot Development of Mung Bean (*Phaseolus aureus* Roxb.). Ph. D. Thesis. UK: University of Sheffield.

[11] Jones AM. 1998. Auxin transport: Down and out and up again. *Science*, **282**: 2201–2202

[12] Langridge WHR, Fitzgerald KJ, Koncz C, et al. 1989. Dual promoter of *Agrobacterium tumefaciens* mannopine synthase genes is regulated by plant growth hormones. *Proceedings of National Academy Sciences of the United States of America*, **86**: 3219–3223

[13] Lewis DH. 1980. Boron, lignification, and the origin of vascular plants: A unified hypothesis. *New Phytologist*, **84**: 209–229

[14] Lomax TL, Muday GK, Rubery PH. 1995. Auxin transport// Davies PJ, ed. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. 2nd Ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

[15] Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. San Diego: Academic Press.

[16] Ni W-M (倪为民), Chen X-Y (陈晓亚), Xu Z-H (许智宏), et al. 2000. Advances in study of polar auxin transport. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **42**(3): 221–228 (in Chinese)

[17] Rajaratnam JA, Lowry JB. 1974. The role of boron in the oil palm. *Annals of Botany*, **38**: 193–200

[18] Romano CP, Hein M, Klee H. 1991. Inactivation of auxin in tobacco transformed with the indoleacetic acid-llysine synthetase gene of *Pseudomonas savastoni*. *Genes Development*, **5**: 438–446

[19] Schwark A, Schierle J. 1992. Interaction of ethylene and auxin in the regulation of hook growth. I. The role

- of auxin in different growing regions of hypocotyl hook of *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*, **140**: 562 – 570
- [ 20 ] Shi M-T (施木田), Chen R-K (陈如凯). 2004. Effects of zinc and boron nutrition on balsam pear (*Momordica charantia*) yield and quality, and ployamines, hormone, and senescence of its leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**( 1 ): 77 – 80 ( in Chinese )
- [ 21 ] Taiz L, Zeiger E. 1998. *Plant Physiology*. 2nd Ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc. Publishers.
- [ 22 ] Tamas IA. 1995. Hormonal regulation of apical dominance// Davies PJ, ed. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. 2nd Ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- [ 23 ] Tang PM, Dela Fuente PK. 1986. The transport of indole-3-acetic acid in boron- and calcium- deficient sunflower hypocotyl segments. *Plant Physiology*, **81**: 646 – 650
- [ 24 ] Tang Y-L (唐玉林), Zhang F-S (张福锁), Fu F-L (傅凤丽). 1997. Studies on the mechanism of bud growth of boron deficient pea. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), **3**( 1 ): 15 – 20 ( in Chinese )
- [ 25 ] Xiong S-L (熊双莲), Wu L-S (吴礼树), Wang Y-H (王运华). 2001. Study on relationship between B-deficiency symptoms of cucumber and changes of endogenous hormone. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), **7**( 2 ): 194 – 198 ( in Chinese )
- [ 26 ] Xu Q (徐强), Jiao X-Y (焦晓燕), Wang Y-Z (王云中), et al. 2004. Effects of boron on growth and mineral element content of mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb). *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), **19**( 1 ): 89 – 92 ( in Chinese )
- [ 27 ] Yan H (严红), Liu N (刘娜), Jin J (金剑). 2003. Relationship between boron and IAA, GA3, iPA and ABA content in the different organs of wheat. *Soil and Fertilizer* (土壤肥料), ( 6 ): 25 – 29 ( in Chinese )
- [ 28 ] Zhao R-F (赵瑞芬), Jiao X-Y (焦晓燕), Yang Z-P (杨治平), et al. 2006. Effects of irradiance on boron requirement of *Phaseolus aureus* cutting for its adventitious root development. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **17**( 5 ): 801 – 804 ( in Chinese )

---

**作者简介** 焦晓燕,女,1964年生,博士,研究员.主要从事土壤与植物营养研究,发表论文 50 余篇. Tel: 0351-7133633; E-mail: xiaoyan\_jiao@yahoo.com.cn

**责任编辑** 张凤丽

---