

# 氮素形态对大豆根系形态性状及释放 $\text{H}^+$ 的影响<sup>\*</sup>

乔云发<sup>1</sup> 苗淑杰<sup>1, 2</sup> 韩晓增<sup>1</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150081; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 采用水培培养方法, 研究了不同形态氮素对大豆根系形态性状及释放  $\text{H}^+$  的影响。结果表明, 不同形态氮素对根系形态特性的影响不同, 表现为,  $\text{NO}_3^- \text{N}$  和  $\text{NH}_4\text{NO}_3^- \text{N}$  促进根表面积增加;  $\text{NH}_4^+ \text{N}$  对根系的生长表现出抑制作用; 而生物固氮处理, 除根尖数随生育期的延长而增加外, 其他根系形状几乎没有变化。  $\text{NH}_4^+ \text{N}$  处理根系释放出大量  $\text{H}^+$ , 且大豆根系受到  $\text{NH}_4^+ \text{N}$  的毒害, 阻碍了根系对其它元素的吸收; 而  $\text{NO}_3^- \text{N}$  处理, 根系释放出大量  $\text{OH}^-$ , 对根系吸收其它元素的抑制作用较小, 因此, 生物量增加较明显;  $\text{NH}_4\text{NO}_3^- \text{N}$  处理根际 pH 变化较小, 促进大豆植株生长; 而生物固氮处理, 在生育前期, 根瘤固氮能力较弱, 不能及时为大豆生长提供充足的氮素, 进而抑制大豆的生长, 使生物量偏低。

**关键词** 氮素形态; 大豆; 根系性状;  $\text{H}^+$

**中图分类号** S 565.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2006)03-0265-05

氮素是植物生长所必需的大量营养元素之一, 通常植物在生长过程中吸收的氮素要多于其它矿质元素, 因而氮素常成为限制植物生长的主要元素。环境中对植物有效的氮素以不同形态存在, 包括  $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 、 $\text{NH}_4\text{NO}_3^- \text{N}$  和  $\text{N}_2$  等<sup>[1]</sup>。氮的利用效率受环境中氮形态影响, 多数植物在生长过程中主要吸收  $\text{NO}_3^- \text{N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 。根作为植物三大营养器官之一, 不断地从土壤中吸收养分和水分, 对植物的生长发育有极其重要的作用<sup>[2]</sup>。大豆生育的中前期良好的根系生长对提高产量有积极作用, 准确了解植物根系的发育特征对科学地估计产量是至关重要的<sup>[3]</sup>。根系的生长及其养分吸收受到各种因素(土壤、气候及本身遗传特性等)的影响, 其中根系释放的  $\text{H}^+$  是影响土壤中各种矿质养分及其有效性的最活跃因素之一。根系释放  $\text{H}^+$  是由于植株体内阴阳离子吸收的不平衡引起的<sup>[4]</sup>, 因此, 供应不同形态氮素, 对植物体内阴阳离子吸收的不平衡具有直接影响, 从而引起根释放  $\text{H}^+$  的变化<sup>[5]</sup>。目前, 磷对植物根系影响的研究较多, 而不同形态氮素对植物根系影响的研究较少, 因此本试验研究氮素形态对大豆根系形态及质子释放量的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 供试大豆品种: 黑农 35

1.1.2 基本营养液组成: ( $\mu\text{M}$ ):  $\text{K}_2\text{SO}_4$  700,  $\text{MgSO}_4$  500,  $\text{CaCl}_2$  800,  $\text{FeNaEDTA}$  40,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  20,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  0.10,  $\text{ZnSO}_4$  1.0,  $\text{MnSO}_4$  2.0,  $\text{CuSO}_4$  1.0 和  $\text{CoSO}_4$  0.2,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  16.0。

### 1.2 试验设计

四种形态氮源: ①  $\text{N}_2$  接种根瘤菌  $105\text{cell/ml}$  ② 0.5 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ③ 0.5 mM  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ④ 0.5 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 3 次重复。

### 1.3 试验方法

1.3.1 培养方法: 大豆种子用 10%  $\text{H}_2\text{O}_2$  灭菌, 以无菌水冲洗 7~8 次, 放入带有 5~7mm 孔径的塑料板上, 然后放入盛有 1 mM  $\text{CaCl}_2$  和 5  $\mu\text{M}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ , pH 为 5.0~5.5 的塑料桶, 桶中液面恰好浸没种子一半, 在 25~30  $^\circ\text{C}$  温度下避光催芽, 待主根长 4~5cm, 须根尚未长出时, 移栽, 用脱脂棉固定, 8 株/

\* 收稿日期: 2005-12-28

项目来源: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2005CB121101), 黑龙江省攻关项目(GB05C201-01)资助

作者简介: 乔云发(1976-), 男, 主要从事植物营养方面研究。

通讯作者: 韩晓增研究员, Tel: 0451-86602940, E-mail: xzhan@cern.ac.cn

盆。24 小时连续通气供氧, 前两周每次换营养液时, 生物固氮处理重新接种根瘤菌, 而其它氮源处理, 在培养两周后, 每次换营养液时加入其氮源。在日光温室内培养, 采用内径 19 cm、高 20 cm 的塑料盆培养, 用蒸馏水配制营养液, 每周更换 2 次, 每天用 HCl(0.01××N)或 NaOH (0.01××N)调节营养液 pH 值, 保持为 5.5~6.0 范围内, 记录加入的酸或碱的体积。移栽后第三周开始取样, 每周取样 1 次, 共 4 次。

1.3.2 测定方法

全氮: 采用 UDK-140 凯氏定氮仪测定; 根系形态性状采用根系扫描仪(HP6100C)测定; H<sup>+</sup> 释放量测定采用 pH 计测定, 利用 14=p[H<sup>+</sup>]+p[OH<sup>-</sup>] 原理计算。

2 结果与分析

2.1 生物量的影响

根系的生物量可以表示根系的发达程度, 根系发达的处理, 其地上部植株长的繁茂<sup>[7]</sup>。从图 1 可以看出, 氮素形态对生物量影响较大, 在氮素处理第一周(培养 21d)对大豆生物量的影响差异不显著, 而随着培养时间的延长, 生物量逐渐表现出明显差异, 在培养 28d 以后, 氮素处理间生物量达到 5% 显

著水平, 但硝铵和硝态氮处理间对大豆地上部影响差异较小, 差异不显著。培养 42d, 硝酸铵态氮处理根系生物量分别比硝态氮、铵态氮和生物固氮处理高 10.7、42.4、201.9 个百分点, 地上部分别高出 0.7、35.2、266.5 个百分点。这进一步证明供给硝态氮和硝铵态氮有利于干物质积累<sup>[14]</sup>, 不同氮素形态对大豆的生长发育影响较大。

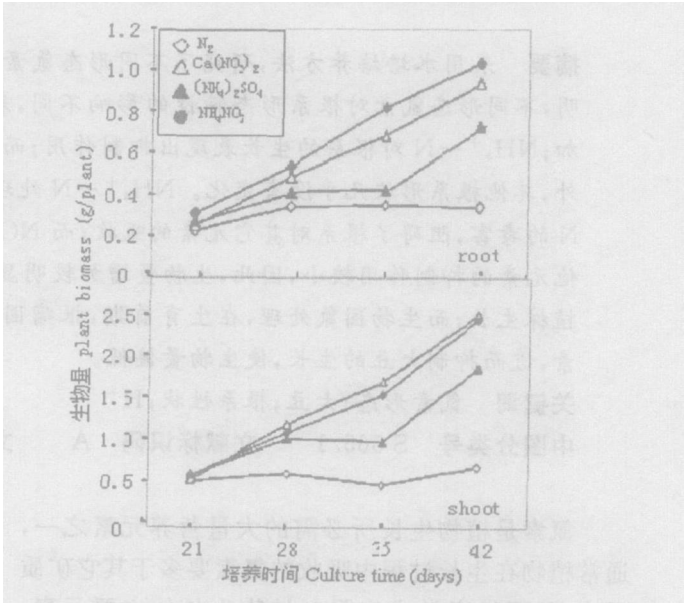


图 1 烘干生物量动态变化  
Fig. 1 Dynamic change of dry plant biomass during culture

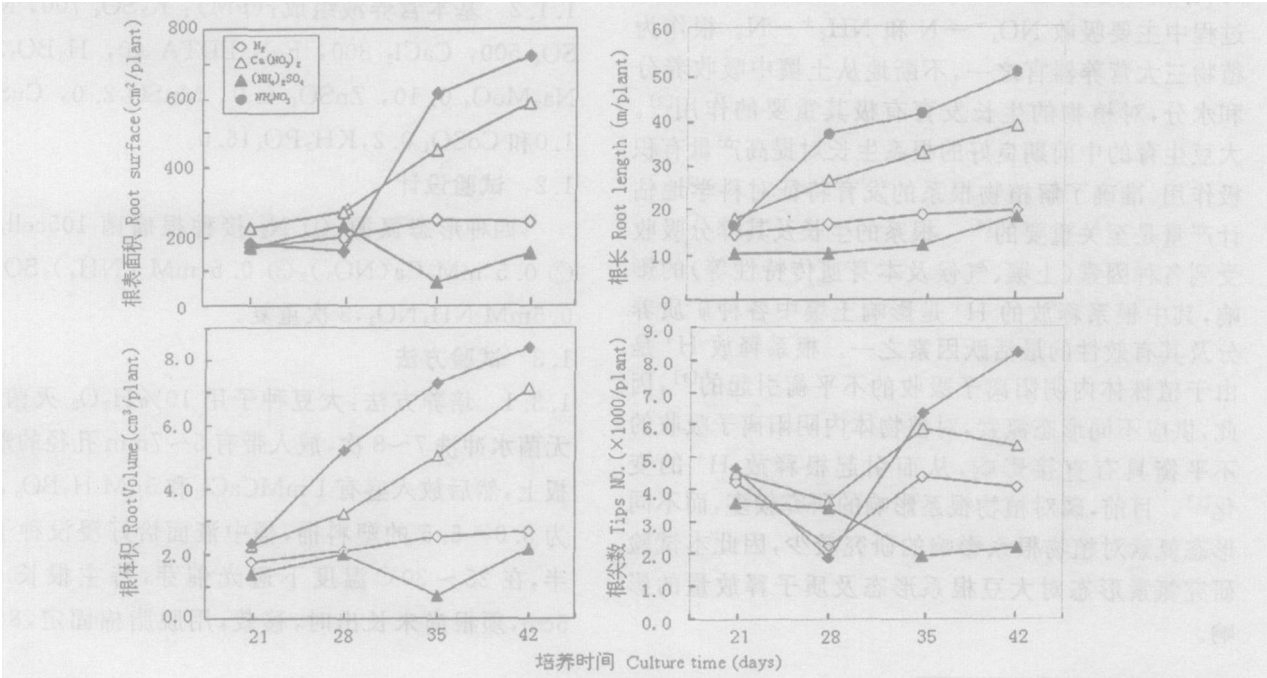


图 2 根系形态性状动态变化  
Fig. 2 Dynamic change of root morphological traits

2.2 根系形态性状的影响

氮素形态对大豆根系产生了明显的影响, 且不

同形态氮素处理, 根系受影响程度存在显著的差异。根系形态(表面积、根长、根体积、根尖数)是衡量根系吸收能力的一个综合指标, 根表面积大, 则根系与营养元素接触机会多; 根长越长, 根系吸收范围越广; 根体积大, 根系土壤接触面积大; 根尖数多, 根系活性大<sup>[13]</sup>。图 2 可看出, 不同形态氮素处理根系表面积的变化趋势是不同的。硝铵态氮和硝态氮促进根系表面积增加, 而生物固氮处理根系的生长长幅平稳, 而铵态氮处理对根系生长起到抑制作用, 随培养时间的增长, 根尖数明显变小, 由于铵离子的毒害作用, 使根系的生长受到限制, 影响根表面积、根体积、根长、根尖数。

### 2.3 根系 $H^+$ 释放量

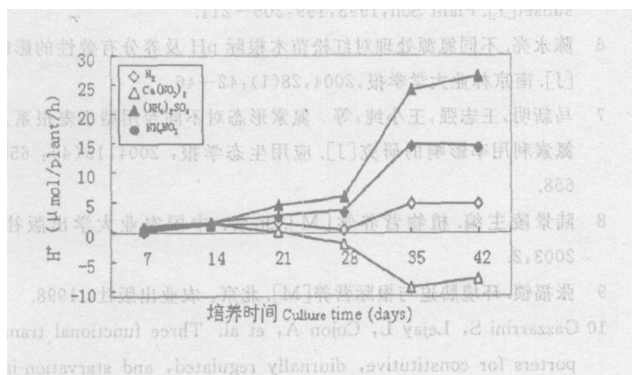


图 3 根系释放质子总量

Fig. 3 Total  $H^+$  extrusion by root of soybean

### 2.4 植物体内氮含量

氮素形态影响着大豆根系对氮素的吸收, 从而影响着氮素在大豆体内的积累量。测定结果(图 5)表明, 施入硝态氮、铵态氮、硝铵态氮和根瘤固氮处理, 培养 21d 后, 植株体内氮含量开始有差异, 在培养 42d 时, 地上部中全氮含量分别为 21.9、29.7、19.2 和 10.0 g/kg, 而根系含氮量分别为 24.2、26.6、

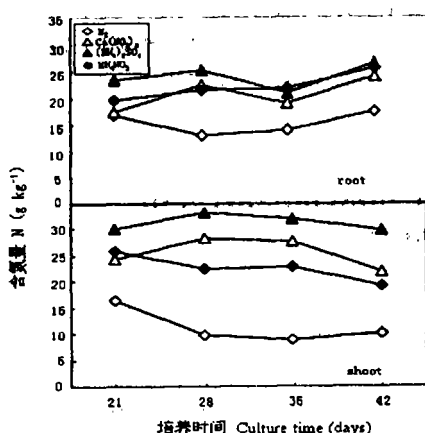


图 5 根系和地上部含氮量动态变化

Fig. 5 Dynamic change of roots and shoots concentration of N

氮素形态对大豆根系释放  $H^+$  的量表现出显著的影响(图 3), 培养 42d, 铵态氮处理释放  $H^+$  的量( $H^+ \mu\text{mol/plant/h}$ )最多为 26.35, 硝铵态氮和生物固氮处理次之, 分别为 14.09 和 4.73, 而硝态氮释放出大量  $OH^-$  离子, 为  $7.82 \mu\text{mol/plant/h}$ 。特殊  $H^+$  释放量( $\mu\text{mol/g root d. wt/h}$ )(图 4)与  $H^+$  释放量规律相似,  $NH_4^+ - N$  处理根系释最大为 36.26, 而硝铵态氮和根瘤固氮处理根系释放的  $H^+$  量相近, 分别为 13.61 和 13.78, 硝态氮根系释放  $OH^-$  的量为  $8.37 \mu\text{mol/g root dw/h}$ 。比较而言, 施入相同浓度的硝态氮与铵态氮后, 硝态氮引起的根系释放  $OH^-$  的量低于铵态氮引起的根系释放  $H^+$  的量(图 4), 这与陈永亮<sup>[6]</sup>的研究结果相一致。

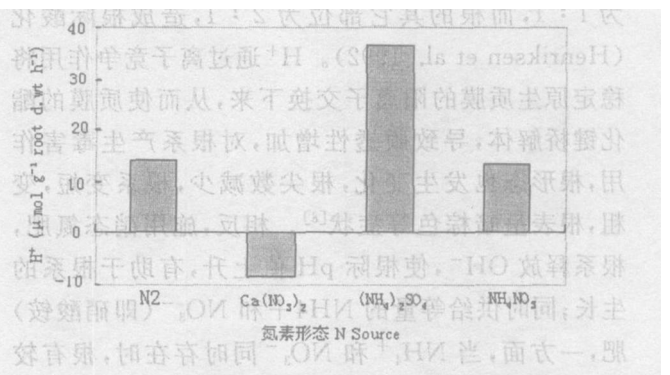


图 4 培养 42d 根系释放特殊质子量

Fig. 4 Specific  $H^+$  extrusion by root of soybean after 42 d

25.5 和 17.4 g/kg。整个培养阶段, 不同形态氮素对地上部氮素吸收效率影响规律为  $NH_4^+ > NO_3^- > NH_4NO_3 > N_2$ , 而根系为  $NH_4^+ > NH_4NO_3 > NO_3^- > N_2$ , 这可能与氮素在大豆体内参与生化反应及光合产物分配不同有关。

## 3 讨论

根系作为大豆重要的吸收器官和代谢器官, 与地上部关系密切, 其根系生长状况不仅直接控制着大豆根系吸收水分和养分的能力, 而且制约着大豆地上部生长发育<sup>[7]</sup>。氮素形态不同, 对植物根系产生的生理效应不同, 主要影响根长、根面积、根体积和根尖数, 从而导致植物生物量不同。硝态氮促进植物侧根的发生, 且使根系长度增加, 根系生物量增大<sup>[11]</sup>。硝铵态氮提高根系表面积, 增加根长, 增加根尖数, 进而增加根系吸收能力, 促进地上部生长, 降低大豆体内的含氮量。而  $NH_4^+ - N$  对根系有一定毒害作用, 抑制根系的生长发育, 降低了生物量, 但增加了地上部氮素的含量。

根系各形态性状存在显著的相关关系。根系生物量与根表面积、根长、根体积和根尖数之间存在线性相关关系,而且各根系性状与生物量之间的相关系数为根长>根体积>根表面积>根尖数,进一步证实了根长与生物量的关系更为密切<sup>[12,13]</sup>。

植物吸收氮素的形态不同,根际 pH 值会发生相应的变化。 $\text{NH}_4^+$  的吸收是逆电化学势进行的,并且能被代谢抑制所阻断,是一个热力学主动吸收过程,这个吸收过程依赖于质膜 ATPase (Wang et al. 1994)。施用  $\text{NH}_4^+$ -N 肥时,由于总吸收量中阳离子量大于阴离子量,为了维持体内电荷平衡和满足正常生长对细胞 pH 值的要求,根系向外释放  $\text{H}^+$ ,尤其在根顶端(1mm 处)  $\text{NH}_4^+$  吸收与  $\text{H}^+$  释放为 1:1,而根的其他部位为 2:1,造成根际酸化 (Henriksen et al. 1992)。 $\text{H}^+$  通过离子竞争作用将稳定原生质膜的阳离子交换下来,从而使质膜的酯化键桥解体,导致膜透性增加,对根系产生毒害作用,根形态也发生变化,根尖数减少,根系变短,变粗,根表呈暗棕色等症状<sup>[8]</sup>。相反,施用硝态氮肥,根系释放  $\text{OH}^-$ ,使根际 pH 值上升,有助于根系的生长;同时供给等量的  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  (即硝酸铵)肥,一方面,当  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  同时存在时,根有较强吸收和同化  $\text{NH}_4^+$  的能力,根尖分生组织更有效利用  $\text{NH}_4^+$ ,植物更容易吸收铵态氮<sup>[10]</sup>;另一方面, $\text{NO}_3^-$  促使根系释放  $\text{OH}^-$  的能力低于  $\text{NH}_4^+$ -N 促使根系释放  $\text{H}^+$  的能力,因此,硝铵态氮处理,大豆根系释放的  $\text{H}^+$  量介于  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 之间,综合表现根系释放出  $\text{H}^+$ ,这与张福锁<sup>[9]</sup> 研究结果相一致;大豆根瘤在固定空气中  $\text{N}_2$  时,将  $\text{N}_2$  还原成  $\text{NH}_4^+$ ,释放出  $\text{H}^+$  来平衡电荷<sup>[8]</sup>。本文只研究了氮素形态对大豆根系生育前期的影响情况,而没有对植物生育后期的影响作报道,因此还需要进行深入探讨,氮素对大豆生育后期根系形态性状的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Von Wiren N, Gagarini S, Frommer W B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants[J]. Plant and Soil, 1997, 96: 191-199.
- 2 Markus L, Alberto S, Peter S et al. Root development of maize (Zea mays L.) as observed with Minirhizotrons in Lysimeters [J]. Crop Sci., 2000, 40: 1665-1672.
- 3 傅金民,董钻.大豆根系生长与产量的关系[J].大豆科学,1987,6(4):261-279.
- 4 Gijssman A J. Rhizosphere pH along different root zones of Douglas fir (Pseudotsuga menziesii), as affected by source of nitrogen[J]. Plant Soil, 1990, 124: 161-167.
- 5 Silber A, Ganmore neumann R, Ben Jaacov J. Effects of nutrient addition on growth and rhizosphere pH of Leucadendron, vSafari sunse[J]. Plant Soil, 1998, 199: 205-211.
- 6 陈永亮.不同氮源处理对红松苗木根际 pH 及养分有效性的影响[J].南京林业大学学报,2004,28(1):42-46.
- 7 马新明,王志强,王小纯,等.氮素形态对不同专用型小麦根系及氮素利用率影响的研究[J].应用生态学报,2004,15(4):655-658.
- 8 陆景陵主编.植物营养学[M].北京:中国农业出版社,2003,2.
- 9 张福锁.环境胁迫与根际营养[M].北京:农业出版社,1998.
- 10 Gazzarrini S, Lejay L, Cojon A, et al. Three functional transporters for constitutive, diurnally regulated, and starvation induced uptake of ammonium into Arabidopsis roots. Plant Cell, 1999, 11: 937-948.
- 11 Bhat K K S. Nutrient inflows into apple roots. Plant Soil, 1983, 71: 371-380.
- 12 Costa C, Dwyer LM, Hamilton RI, et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner based image analysis[J]. Agron. J. 2000, 92: 621-627.
- 13 金剑,刘晓冰,王光华,等.大豆生殖生长期根系形态性状与产量关系研究[J].大豆科学,2004,23(4):253-257.
- 14 曹翠玲,李生秀.氮素表态对玉米幼苗碳水化合物及养分累积的影响[J].华中农业大学学报,2003,22(5):457-461.
- 15 曹翠玲,李生秀.氮素表态对作物生理特性及生长的影响[J].华中农业大学学报,2004,23(5):581-586.

## EFFECTS OF NITROGEN FORMS ON THE ROOT MORPHOLOGY AND PROTON EXTRUSION IN SOYBEAN

Qiao Yunfa<sup>1</sup> Miao Shujie<sup>1,2</sup> Han Xiaozeng<sup>1</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agro ecology, Chinese Academy of Sciences Harbin, 150081;  
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 150039)

**Abstract** Solution culture experiment with soybean was made to study the effect of nitrogen forms on the

root morphology and proton extrusion from roots. The results showed that there were significant differences between the effects of nitrogen forms and soybean root morphology.  $NO_3^-$  N and  $NH_4NO_3$  N induced root surface area increased;  $NH_4^+$  N inhibited root growth, however, the root morphology of  $N_2$  fixation treatment nearly did not have changes, except tips of root increased with time. The  $H^+$  extrusion from root indicated that  $NH_4^+$  N increased  $H^+$  extrusion, but the poison symptom when  $NH_4^+$  N was an nitrogen source and amount of  $H^+$  extrusion from  $NH_4NO_3$  N treatment was in the middle of  $NO_3^-$  N,  $NH_4^+$  N and  $NH_4NO_3$  N. At early stage,  $N_2$  fixation treatment had low nitrogenase activity so that inhibited plant growth and low biomass.

**Key words** Nitrogen form; Soybean; root morphology;  $H^+$

## 第三届土壤-植物间磷动力学国际会议在巴西召开

苗淑杰 韩晓增

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150081)

热带稀树大草原大约占地 850 百万公顷, 是世界上最古老的土壤。在过去的几百万年内, 这些土壤每年都承受着不断退化的过程。这些土壤肥力低、pH 低、磷素可利用性低, 高吸附性能和铅毒程度较高。自然退化低肥力的酸性土壤是限制整个热带地区许多国家发展和食品生产的主要因素, 这样的土地面积占世界适于农业生产陆地面积的 58% 和世界人口的 73%。大面积热带地区的低肥力非酸性土壤由于自然引起的土壤肥力下降, 磷素含量较低。

上个世纪末, 一小部分科学家意识到有必要在土壤和植物科学家之间成立一个多学科的和公益性的相互作用的机制, 来解决缺磷地区作物的产量问题。2000 年, 这些科学家齐聚中国, 这就是第一届土壤-作物间磷动力学国际会议。2003 年 9 月, 西澳大利亚大学召集土壤和植物科学家, 在澳大利亚的珀斯召开了第二届土壤-作物间磷动力学国际会议。2006 年 5 月 14 到 19 日在巴西的乌贝兰迪亚召开了第三届土壤-作物间磷动力学国际会议。至今为止, 土壤-作物间磷动力学国际会议已具规模, 会议组委会成员来自十几个国家, 其中包括中国、巴西、美国、澳大利亚、新西兰、英国、日本、瑞典、德国等, 同时得到许多当地农业科研机构的支持和帮助。

本次会议的目的和目标是全世界和来自多种背景的科学家提供一个讨论会, 与会科学家包括土壤化学家、土壤物理学家、生产农艺经济学家和分子生物学家, 在此会议中, 在环境健康的前提下, 各方面的专家讨论土壤-作物间磷动力学相关的研究结果及研究方法。本次会议共分 6 个专题, 分别为: 土壤中的磷素形态和可利用性; 植物对磷素的吸收和利用; 磷素营养的基因和分子生物学; 农业、园艺和森林生产中的磷素; 磷素管理和环境影响; 根系生物学和根际过程与磷素吸收的关系。

本次会议由大会主席 Robert Schaffert 先生主持, 与会各领域的专家和科研工作者来自 36 个国家, 总人数达百余人, 参会代表分别以特约发言人、口头发言和板报的形式进行交流, 其中论文集中前三位的国家是巴西 32 篇; 中国 11 篇; 澳大利亚 8 篇。

会议期间来自不同国家的各方面科学家认真交流, 积极探讨, 分析研讨目前世界磷素利用状况, 未来发展趋势。尤其是巴西的 Ibanor Anghinoni 教授生动详细的论述了巴西热带和亚热带土壤中磷素形态和利用情况; 华南农业大学的严小龙教授将他对大豆根构型在磷素吸收效率方面的研究作了精彩的报告; 日本的 Ismail, A. M. 教授从分子生物学和基因的角度将植物对缺磷的耐性进行了分析探讨; 澳大利亚的 Chen, C. R. 教授提出草原种植松柏科树木可以改变土壤中磷素动力学特征和相应的微生物过程; 美国的 Kleinman, P. J. A. 教授分析了农业磷素管理和水质的关系; 澳大利亚的 Richardson, A. E. 教授研究了根际过程与土壤中磷素可利用性的关系。此次会议, 可以是磷素领域研究的大聚会, 为磷素研究在理论和实践技术研究方面实现新的突破, 进一步提升磷素研究领域的地位和国际影响力, 探索磷素研究在新形势下, 即有利于农业生产, 又有益于环境健康的新思路和新方法。