

# 镧与酸雨对大豆幼苗叶绿素含量和光合速率的复合影响

周倩倩<sup>1,2</sup>, 杨 维<sup>2</sup>, 梁婵娟<sup>2</sup>, 周 青<sup>1,2</sup>

(1. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 环境与土木工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:**为探索稀土元素镧和酸雨对大豆幼苗光合作用的复合影响, 采用水培实验方法研究了 La(Ⅲ) 与酸雨 (AR) 复合处理对大豆幼苗叶片叶绿素含量 (Chl) 及光合速率 ( $P_n$ ) 的影响。结果表明: 在酸雨 ( $AR_1/pH3.0$ 、 $AR_2/pH3.5$ 、 $AR_3/pH4.0$ 、 $AR_4/pH4.5$  和  $AR_5/pH5.0$ ) 单独作用下, Chl 含量与  $P_n$  均低于对照组稀土 La ( $RE_1/20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $RE_2/60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $RE_3/100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $RE_4/300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $RE_5/500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 单独作用时, 2 个指标均呈现“低促高抑”规律。RE + AR 复合作用影响下, Chl 含量与  $P_n$  低于 CK 值, 且 AR 的 pH 越低, RE 的浓度越高, 抑制作用越明显。RE<sub>1</sub> 和 AR 复合对大豆幼苗的抑制程度低于 AR 单独作用, 呈拮抗效应, RE<sub>2</sub> ~ RE<sub>5</sub> 与 AR 对大豆幼苗的复合影响表现为协同作用。

**关键词:** La(Ⅲ); 酸雨; 光合作用; 大豆幼苗

**中图分类号:** X517; Q945

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-9841(2009)05-0941-04

## Effects of La and Acid Rain on Chlorophyll Content and Photosynthetic Rate of Soybean Seedling

ZHOU Qian-qian<sup>1,2</sup>, YANG Wei<sup>2</sup>, LIANG Chan-juan<sup>2</sup>, ZHOU Qing<sup>1,2</sup>

(1. The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122; 2. College of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

**Abstract:** To explore the combined effects of acid rain and rare earth on photosynthesis, with soybeans cultivated under laboratory conditions as test materials, the effects of simulated acid rain and lanthanum on chlorophyll content (Chl) and photosynthetic rate ( $P_n$ ) in soybean seedlings were studied. The results showed that under acid rain ( $AR_1/pH3.0$ ,  $AR_2/pH3.5$ ,  $AR_3/pH4.0$ ,  $AR_4/pH4.5$  and  $AR_5/pH5.0$ ) stress alone, Chl content and  $P_n$  were both inhibited. Under single La ( $RE_1/20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $RE_2/60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $RE_3/100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $RE_4/300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $RE_5/500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) treatment, the two indexes were both promoted under low concentration and inhibited under high concentration. With RE and AR combined treatments, Chl content and  $P_n$  had declined compared with the CK group. The inhibition degree was larger under lower pH value of AR and higher concentration of RE solution. Moreover, inhibition degree of the two indexes under RE<sub>1</sub> and AR combined treatment was lighter than that under AR or RE<sub>1</sub> treatment alone, so they showed antagonistic action, while RE<sub>2</sub>-RE<sub>5</sub> and AR combined treatment showed synergetic effect.

**Key words:** Lanthanum (La); Acid rain; Photosynthesis; Soybean seedling

范金凤等在前期中工作中已获得了 La(Ⅲ) 和酸雨 (AR) 对大豆幼苗生长复合影响的基础数据。初步发现 La(Ⅲ) 和 AR 对大豆幼苗生长的影响规律受 AR 的 pH 和 La(Ⅲ) 浓度的制约<sup>[1]</sup>。鉴于影响植物生长的因素很多, 如光合效率、营养元素吸收、生长激素调控等<sup>[2-4]</sup>。其中光合效率是植物生产和作物产量高低的根本决定因素<sup>[5]</sup>, 也是阐明环境因素

影响植物生物量, 乃至生态系统稳定的重要线索之一。因此, 进一步研究稀土与酸雨对植物光合作用的影响尤显必要。选取 2 个重要光合参数—光合速率 ( $P_n$ ) 和叶绿素含量 (Chl) 为考察目标, 分析 2 者对不同浓度的 La(Ⅲ) 和不同 pH 酸雨的响应规律, 以及 2 个环境因子复合影响  $P_n$  和 Chl 的作用类型。

收稿日期: 2009-03-13

基金项目: 江苏省大学生实践创新训练资助项目, 院长基金资助项目 (HT2008-6-1)。

作者简介: 周倩倩 (1989-), 女, 学士, 研究方向为环境生态学。

通讯作者: 周青, 教授。E-mail: zhouqeco@yahoo.com.cn。

1 材料与方法

1.1 试材培养

大豆 (*Glycine max*) “垦农 18” 种子用 0.1% HgCl<sub>2</sub> 消毒 5 min, 去离子水冲洗后, 置 3 层纱布培养皿中, 于恒温培养箱 (25 ± 1.0) °C 中萌发。培养方法参见文献[1]。

1.2 试材处理

将幼苗分为 5 组, 每天分别用 20、60、100、300、500 mg · L<sup>-1</sup> LaCl<sub>3</sub> 溶液浸泡 6 h, 连续浸泡 7 d, 对照植株 (CK) 用等量营养液浸泡。分别在第 3 天和第 6 天, 用喷雾器向叶片喷施不同 pH 值酸雨溶液, 以滴液为限, CK 喷等量蒸馏水。第 8 天取样测定。

设置为: CK、RE<sub>1</sub> (20 mg · L<sup>-1</sup>)、RE<sub>2</sub> (60 mg · L<sup>-1</sup>)、RE<sub>3</sub> (100 mg · L<sup>-1</sup>)、RE<sub>4</sub> (300 mg · L<sup>-1</sup>)、RE<sub>5</sub> (500 mg · L<sup>-1</sup>)、AR<sub>1</sub> (pH3.0)、AR<sub>2</sub> (pH3.5)、AR<sub>3</sub> (pH4.0)、AR<sub>4</sub> (pH4.5)、AR<sub>5</sub> (pH5.0)、RE<sub>1</sub> + AR<sub>1</sub>、RE<sub>1</sub> + AR<sub>2</sub>、RE<sub>1</sub> + AR<sub>3</sub>、RE<sub>1</sub> + AR<sub>4</sub>、RE<sub>1</sub> + AR<sub>5</sub>、RE<sub>2</sub> + AR<sub>1</sub>、RE<sub>2</sub> + AR<sub>2</sub>、RE<sub>2</sub> + AR<sub>3</sub>、RE<sub>2</sub> + AR<sub>4</sub>、RE<sub>2</sub> + AR<sub>5</sub>、RE<sub>3</sub> + AR<sub>1</sub>、RE<sub>3</sub> + AR<sub>2</sub>、RE<sub>3</sub> + AR<sub>3</sub>、RE<sub>3</sub> + AR<sub>4</sub>、RE<sub>3</sub> + AR<sub>5</sub>、RE<sub>4</sub> + AR<sub>1</sub>、RE<sub>4</sub> + AR<sub>2</sub>、RE<sub>4</sub> + AR<sub>3</sub>、RE<sub>4</sub> + AR<sub>4</sub>、RE<sub>4</sub> + AR<sub>5</sub>、RE<sub>5</sub> + AR<sub>1</sub>、RE<sub>5</sub> + AR<sub>2</sub>、RE<sub>5</sub> + AR<sub>3</sub>、RE<sub>5</sub> + AR<sub>4</sub>、RE<sub>5</sub> + AR<sub>5</sub>。各处理均 3 杯, 3 次重复。

1.3 指标测定

用 CIRAS-1 系统 (PPSsystem International Ltd, UK) 测定净光合速率 (*P<sub>n</sub>*), 设定光强 400 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 闭合气路 (CO<sub>2</sub> 340 μl · L<sup>-1</sup>); 采用二甲亚砷法测定叶绿素 (Chl) 含量<sup>[6]</sup>。所得数据均经过统计学分析, 每个处理重复测定 3 次, 取平均值并求标准误 (平均值 ± 标准误)。通过 LSD 检验 (*P* < 0.05) 分析处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 AR、La(Ⅲ)对 Chl 含量与 *P<sub>n</sub>* 的影响

如图 1 所示, 与 CK 相比, AR<sub>1</sub> ~ AR<sub>5</sub> 作用下大豆幼苗 Chl 含量降低, 且降幅随 pH 值的降低而增大。pH 值为 3.0 时, 降幅最大, 为 17.51%。*P<sub>n</sub>* 的变化规律与 Chl 相似, 呈现明显的剂量-效应关系, 不同之处在于同一处理组 *P<sub>n</sub>* 的降幅大于 Chl 含量的降幅, 表明 *P<sub>n</sub>* 对酸雨的敏感性高于 Chl, 此时 *P<sub>n</sub>* 的降低不能简单理解为叶绿素下降所致, 与前期报道结果一致<sup>[7-8]</sup>。

不同浓度 La(Ⅲ) (20 ~ 500 mg · L<sup>-1</sup>) 对 *P<sub>n</sub>* 和 Chl 影响规律不尽一致 (图 2)。与 CK 相比, RE<sub>1</sub> 作用下大豆幼苗 Chl 含量及 *P<sub>n</sub>* 均上升, 增幅分别 1.66%、1.39%, RE<sub>2</sub> ~ RE<sub>5</sub> 作用下 2 项指标均下降, 且 La 剂量越高, 降幅越大。其中, RE<sub>5</sub> 处理组降幅分别为 17.72% (Chl 含量) 与 35.03% (*P<sub>n</sub>*)。La (Ⅲ) 对 2 项指标均具有“低促高抑”的效应, 不同之处在于同一浓度下, *P<sub>n</sub>* 降幅大于 Chl。

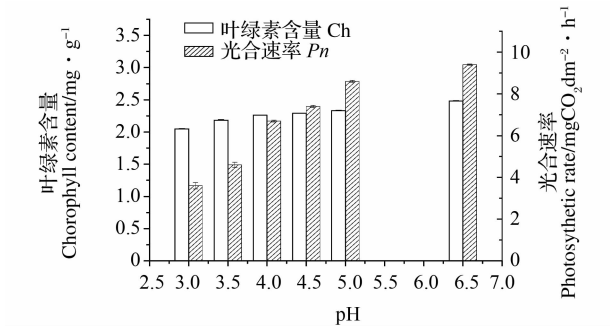


图 1 酸雨对大豆幼苗叶绿素含量及光合速率的影响  
Fig. 1 Effects of acid rain on chlorophyll content and photosynthetic rate of soybean seedlings

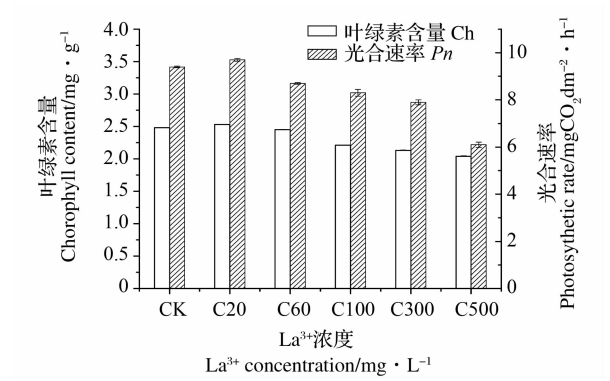


图 2 镧对大豆幼苗叶绿素含量及光合速率的影响  
Fig. 2 Effects of La on chlorophyll content and photosynthetic rate of soybean seedlings

2.2 La(Ⅲ)与酸雨对 Chl 含量及 *P<sub>n</sub>* 的复合影响

如图 3 所示, 同一剂量 La(Ⅲ) 处理下, 随 AR 酸度的降低, Chl 含量呈现上升趋势。同一 AR 处理下, 随 La(Ⅲ) 剂量升高, Chl 含量逐步递减。AR + La 作用下, Chl 含量均低于 CK 值, 且 AR 的 pH 越低, RE 的浓度越高, 降幅越明显, 最大降幅为 38.64% (RE<sub>5</sub> + AR<sub>1</sub>)。RE<sub>1</sub> (20 mg · L<sup>-1</sup>) 与 AR 作用下, Chl 含量高于 AR 单独作用, 复合效应表现为拮抗作用; RE<sub>2</sub> ~ RE<sub>5</sub> (60 ~ 500 mg · L<sup>-1</sup>) 与 AR 作用下, Chl 含量均低于 AR 与 RE 单独作用, 复合效应表现为协同作用。

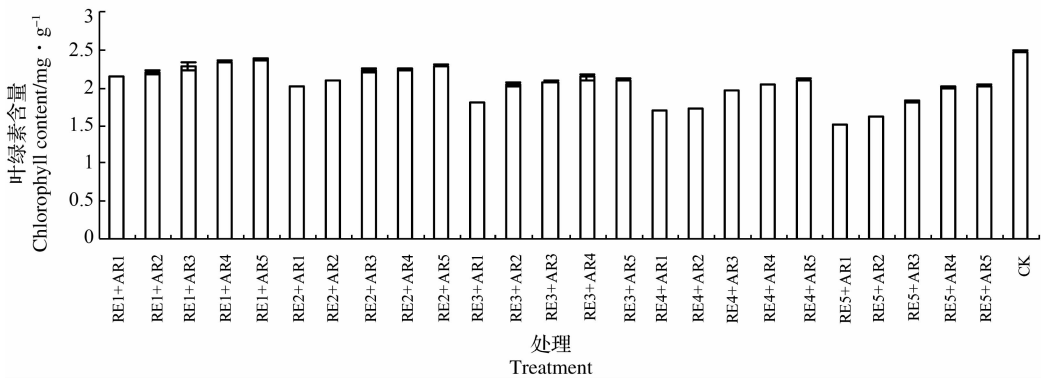


图3 酸雨和镧对大豆幼苗叶绿素含量的复合影响

Fig.3 Effects of acid rain and La on chlorophyll content of soybean seedlings

如图4所示:与CK相比,复合处理组大豆幼苗 $P_n$ 值均下降,降幅为4.26%~86.52%,AR的pH越低,RE的浓度越高,降幅越明显。同一剂量La处理水平下,随AR强度减弱, $P_n$ 值呈现上升趋势,同一AR强度下,随La(Ⅲ)剂量升高, $P_n$ 值呈递减趋势。RE<sub>1</sub>(20 mg·L<sup>-1</sup>)与AR复合作用下, $P_n$ 高于AR单独作用而低于单一RE<sub>1</sub>作用,两者呈现拮抗效

应;RE<sub>2</sub>~RE<sub>5</sub>(60~500 mg·L<sup>-1</sup>)与AR对 $P_n$ 影响表现为协同作用,因复合处理下 $P_n$ 的降幅大于单一AR和单一高剂量La(Ⅲ)处理下降幅之和。对比La(Ⅲ)和AR对Chl含量复合影响结果发现,同一处理下, $P_n$ 降幅大于Chl降幅。此时 $P_n$ 的降低也不能简单理解为Chl下降所致,内在原因需进一步研究。

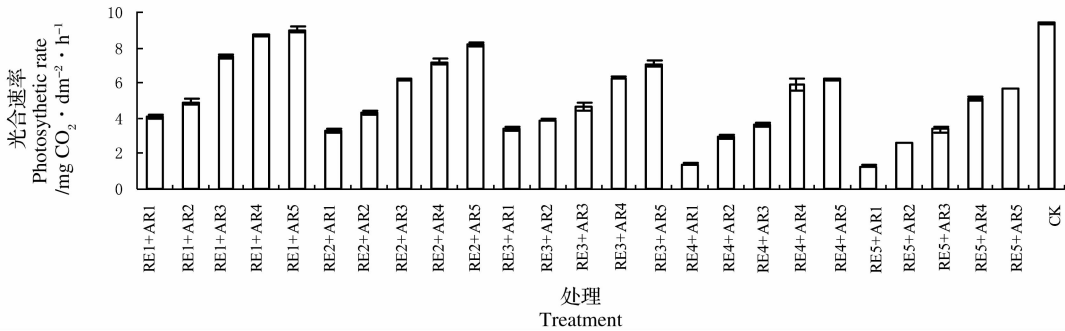


图4 酸雨和镧对大豆幼苗光合速率的复合影响

Fig.4 Effects of acid rain and La on photosynthetic rate of soybean seedlings

3 讨论

以Chl含量与 $P_n$ 为目标,考察了La(Ⅲ)和AR复合作用对大豆幼苗光合反应的影响。试验表明,AR对大豆幼苗Chl含量与 $P_n$ 有抑制作用,这与AR可破坏叶绿体片层结构,损伤类囊体膜,降低光反应过程中的光电转换效能有关<sup>[9]</sup>。La(Ⅲ)对2项指标均呈现明显的低促高抑现象。且低剂量La(Ⅲ)(20 mg·L<sup>-1</sup>)与AR复合作用下,对Chl含量与 $P_n$ 影响呈拮抗效应。高剂量La(Ⅲ)(60~500 mg·L<sup>-1</sup>)与AR对Chl含量与 $P_n$ 影响呈协同效应。不同复合处理下Chl含量与 $P_n$ 变化规律相似,但 $P_n$ 降幅大于Chl含量,敏感性高于Chl含量,因

此 $P_n$ 的降低不能简单理解为叶绿素下降所致。综上所述,AR对大豆幼苗Chl含量与 $P_n$ 的影响存在明显的“剂量-效应”关系;La(Ⅲ)对2项指标均具有“低促高抑”的效应;RE<sub>1</sub>(20 mg·L<sup>-1</sup>)与AR复合作用下, $P_n$ 高于AR单独作用而低于单一RE<sub>1</sub>作用,两者呈现拮抗效应,RE<sub>2</sub>~RE<sub>5</sub>(60~500 mg·L<sup>-1</sup>)与AR复合作用下,Chl含量与 $P_n$ 的抑制作用均大于两者单独作用,表现为协同作用。

参考文献

[1] 范金凤,曾淑萍,梁婵娟,等. La(Ⅲ)与酸雨对大豆幼苗生长的复合影响[J]. 大豆科学,2009,28(4):744-746,750. ( Fan J F, Zeng S P, Liang C J, et al. Effects of La(Ⅲ) and acid rain on growth of soybean seedling[J]. Soybeen Science,2009,28(4):744-

746,750.

[2] 李万超,江洪,曾波,等. 模拟酸雨对青冈和木荷幼苗光合响应特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2008,30(7):98-103. ( Li W C,Jiang H,Zeng B,et al. Effects of simulated acid rain on photosynthesis in schima superb and quercus glauca[J]. Journal of Southwest University ( Natural Science Edition ), 2008, 30 ( 7 ) : 98-103. )

[3] 陶忠玲,周青. 酸雨胁迫对水稻和高粱种子萌发的影响[J]. 安全与环境学报,2008,8(4):58-61. ( Tao Z L,Zhou Q. Effects of acid rain on seedlings of germination of broomcorn and rice plants [J]. Journal of Safety and Environment,2008,8(4):58-61. )

[4] 付晓萍,田大伦. 酸雨对植物的影响研究进展[J]. 西北林学院学报,2006,(4):23-27. ( Fu X P,Tian D L. Research progress of the effect of acid rain on plant [J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,(4):23-27. )

[5] 张秋英,李发东,刘孟雨. 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):95-98. ( Zhang Q Y,Li F D,Liu M D. Changing laws of chlorophyll content and photosynthetic rate in winter wheat leave[J]. Chinese Journal of Eco- Agriculture,2005,(3):95-98. )

[6] 陈振德,傅以彬,邹琦,等. 二甲亚砷和丙酮混合法定测定叶绿素含量[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),1989,20(2):31-35. ( Chen Z D,Fu Y B,Zou Q,et al. Determination of chlorophyll content by the mixed method of dimethyl sulphoxide with acetone [J]. Journal of Shandong Agricultural University ( Natural Science ) 1989,20(2):31-35. )

[7] 周青,黄晓华,王冬燕,等. 稀土元素 La 对酸雨损伤蜡梅的影响[J]. 生态学杂志,1997,16(6):59-61. ( Zhou Q;Huang X H;Wang D Y,et al. Effect of rare earth la on the wintersweet harmed by simulated acid rain [J]. Chinese Journal of Ecology, 1997, 16 ( 6 ) : 59-61. )

[8] 梁婵娟,陶文沂,李操,等. UV-B 与 AR 胁迫下油菜光合及 CAT 活性的恢复过程( II ) [J]. 农业环境科学学报,2004,23(5):890-894. ( Liang C J,Tao W Y,Li C, et al. Restoration of defense enzyme and photosynthesis in rape seedling under combined stress of elevated ultraviolet- B radiation and acid rain ( II ) [J]. Journal of Agro- environmental Science,2004,23(5):890-894. )

[9] 黄晓华,陆天虹,周青,等. 酸雨伤害植物机理与稀土调控研究[J]. 中国生态农业学报,2004,12(3):116-118. ( Huang X H,Lu T H,Zhou Q, et al. Injury mechanism of acid rain on plant and its rare earths control [J]. Chinese Journal of Eco- Agriculture,2004,12 ( 3 ) : 116-118. )

## 第十六届国际植物营养大会在美国召开

2009 年 8 月 26 日至 30 日,第十六届国际植物营养大会(IPNC XVI 2009)在美国加州首府 Sacramento 顺利召开。本届大会由美国加州大学戴维斯分校(UC-Davis)承办,国际著名植物营养学家 Patrick Brown 博士担任大会主席。共有来自德国、荷兰、法国、巴西、日本、中国等 38 个国家和地区的 400 余名专家和学者参加了本次会议。

国际植物营养大会是世界范围内植物营养学界最重要的学术活动之一,已有 60 多年的历史,由植物营养学界的权威学术机构——国际植物营养委员会主办,每 4 年举行一次。

本届国际营养大会(IPNC XVI 2009)的主题为“Plant Nutrition for Sustainable Development and Global Health”。大会分 8 个专题:植物养分需求平衡及库源关系转化;可持续发展的养分资源综合管理、植物养分的功能、交互作用及诊断;环境胁迫对植物养分的影响;植物营养与人体健康;自然与农业生态系统中养分的动态;矿质元素的毒害与修复;植物养分管理与发展中国家的农业可持续发展。会议报告分为口头报告和墙报两种形式。会议围绕植物营养在可持续发展、人类营养与健康以及资源与环境保护等方面进行交流与研讨,展示当前最新研究技术和成果,展望和应对全球可持续发展所面临的机遇和挑战。

大会邀请了 Michael Grusak,Jean- Francois Brait,Jian- Feng Ma,Patrick Brown,Bert Jabssen,Paul Fixen,Philippe Hinsinger 等国际著名植物营养学家做特邀报告。我国共有 30 多名正式代表参加,分别来自中国农业大学、华中农业大学、南京农业大学、浙江大学、西北农林科技大学、华南农业大学、东北农业大学、扬州大学及兰州大学等国家重点院校,以及中国科学院、中国农业科学院等科研单位。国内有 5 位代表在大会上做口头报告,其中,中国农业大学的范明生博士做了题为《中国农业可持续发展的养分综合管理》的特邀报告,介绍了中国农业生产和发展的近况并且介绍了我国农业产量施肥及土壤质量状况,并提出养分综合管理是促进作物产量提高、资源有效利用和环境保护的方法。华中农业大学的徐芳森教授在《低磷胁迫下油菜种子矿物含量和根系形态的数量性状响应位点》报告中揭示了基因控制种子矿物质含量的浓度及多种养分胁迫下调节植物体中的矿质平衡需要有关离子运输的多基因。通过这些代表的报告,充分显示了我国植物营养学近年来的发展成就,并引起国际植物营养学界广泛认可。

本届大会出版电子版论文集《The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI》,共收集 344 篇论文,其中还将择优推荐的 12 篇研究论文和 5 篇特邀综述于 2010 年初在 SCI 刊源 Annals of Botany 上作为本届大会的 Special Issue 发表。

中国科学院东北地理与农业生态研究所  
李晓慧 韩晓增