根际土壤化学研究进展

马义兵 鄢来斌 张福锁

(北京农业大学)

摘 要

本文就根际土壤中元素含量,形态分布和土—根系统中的化学反应机制研究的进展作了扼要论述。土—根系统中的化学过程是复杂的动态过程,其显著特点是根—土界面化学。并对今后根际土壤化学研究提出了看法。

根际土壤化学主要是研究根际土壤的化学特性和土—根系统中元素含量,形态,分布及化学反应机制。由于植物根系的生理代谢活动,分泌或泄漏一些物质以及微生物的活动和根系脱落物的降解,根际土壤中化学环境和元素的化学行为产生明显变化,从而直接影响养分的生物有效性和土—根系统中的物质循环。

一、根际土壤中的酸碱反应——质子转移过程

土—根界面的酸碱反应是以土—根界面维持电中性为基础的。通常认为,植物吸收阴、阳离子的不平衡是引起根际 pH 值变化的主要原因^[1]。不同形态氮肥(NH₄⁺或 NO₃⁻)对根际 pH 值的影响是一个有力的证据。许多试验表明,不同植物种类对供应的氮源的反应也不一样。在同样条件下,供应 NO₃⁻时,禾谷类植物根际 pH 值上升,而豆科植物的根际 pH 值却下降;荞麦类植物根际 pH 值变化不大,其根具有自我调节的能力。根际土壤 pH 值变化必然还受到原土体 pH 值和缓冲性的影响^[2]。

根际土壤 pH 值的变化是土—根界面质子转移反应的结果。但是,根际 pH 值不产生变化,并不说明土—根界面无质子转移反应。根系释放的 H⁺可迅速地参加溶解—沉淀反应和氧化—还原反应等,也可与其它离子结合再进入植物体。所以,土—根界面的酸碱反应机制是比较复杂的。近年来,植物品种间的根际 pH 差异以及元素胁迫诱导根际 pH 向有利于抗逆方向变化正引起人们的注意。

二、根际土壤中氧化—还原反应

根际土壤中的氧化—还原反应影响着土壤中的养分状况。

在渍水条件下,水稻根系分泌氧形成氧化圈。因此,根际土壤 Eh 值高于非根际土壤。而旱作根际土壤,一般 Eh 值低于原土体,主要由于根际土壤微生物活动和根系呼吸消耗 O₂,根际土壤中 N₂ 的固定和反硝化速率加快等原因。不同植物根际 Eh 变化不同,如豆科植物根际土壤 Eh 值变化不明显^[3],而荞麦还有升高趋势。根部位不同,其 Eh 效应也不同。在近根尖处电子活度高, Eh 下降幅度大,速度快^[4]。根际分泌物可直接影响氧化—还原反应,如琥珀酸,草酸,苹果酸,乳酸等有机酸类,醇类,酚类等在中性条件下 E⁰ 为 -0.03—-0.19V,具有较强的还原能力^[5]。

土壤中 pH—Eh 关系因氧化—还原体系的种类较多而复杂化。Fischer 等用微铂电极测定了蚕豆 (*Vicia Faba L.*) 根际土壤的 pH 和 Eh 值^[4], 并指出豆科根际土壤 Eh 下降可能是根系分泌物引起的; 而玉米根际 Eh 下降可能是由于 pH 值的变化; 死根周围 Eh 下降则是微生物活动耗 O₂ 的结果。

土—根界面的氧化还原反应早就引起注意。Leeper 将其称为“接触还原”(contact reduction)^[6]。在土—根界面, 铁、锰氧化物可通过“接触还原”形成 Fe²⁺ 和 Mn²⁺ 离子^[7]。植物根系在适当的环境下可做为电子和质子的供体。试验还证明, 在根细胞质膜上存在着氧化—还原泵(redox pumps), 并在铁、锰还原和离子运输方面起重要作用^[8]。这些试验有助于加深对土—根界面的氧化还原反应式“接触还原”的理解。

三、根际土壤中磷酸盐的溶解—沉淀反应

土壤中某些难溶性养分在根系分泌物和质子的作用下, 其可溶性增强, 供植物根系吸收。

根际土壤中磷的亏缺率大小与根系释放有机酸和质子有关。当根际土壤 pH 在适当范围内, 磷亏缺率降低。但植物吸磷量随根系分泌 HCO₃⁻/OH⁻ 比值增加在一定 pH 值范围内也增加^[9]。从化学平衡的角度来看, 可能是增加了钙磷酸盐的溶解度。根际土壤中 HCO₃⁻ 浓度增加和 H⁺ 浓度降低时, 能够增加石灰性土壤溶液中 [HPO₄]²⁻ 的浓度。在石灰性土壤中类似的结果也有报道^[10]。然而在酸性土壤中, [H₂PO₄]⁻ 的浓度则对植物的磷营养影响至关重要。

实际上, 根际土壤中磷及其它难溶性养分的溶解不单纯地受溶解—沉淀平衡的影响, 亦受氧化—还原, 络合过程, 微生物活动等过程的影响。VA 菌根的作用也越来越引起人们的重视。

四、根际土壤中的络合作用

植物光合作用所固定的碳有 20%, 甚至更多将释放到根际土壤中^[11]。这些有机化合物, 特别是低分子量的根分泌物, 大多含有两个以上的羟基或羧基, 能与多价的金属离子形成络合物促进难溶性养分的溶解和移动, 有助于根对养分的吸收。

很早就注意到根系分泌物可以提高铁锰氧化物的溶解度^[12]。特别是酚类和有机酸能有效地溶解土壤中的铁。白羽扇豆向根外分泌大量的柠檬酸而促进根际土壤中铁、锰、锌的活化是最有代表性的例子^[13]。也有报道, 根际土壤内草酸浓度也很高, 并生成草酸钙沉淀。根际分泌物使可溶态铁、铜的浓度在 pH 4—8 范围内提高几个数量级, 即使 pH > 6, 可溶态锌浓度亦有所提高^[14]。

植物品种和土壤养分状况也影响到根系分泌物的种类和数量, 从而影响着根际土壤的络合平衡。如钾胁迫下的玉米^[15], 磷胁迫下的苜蓿^[16], 都能被诱导释放一些有机酸。根系分泌物的组分与植物种类、品种、生长时间等因素有关, 不同的组分具有不同的转化速率和对金属元素的亲合力^[17]。

特别引人注目的是缺铁的禾本科作物分泌一种非蛋白氨基酸, 麦根酸类物质, 称为植物高铁载体 (phytosiderophores)^[18] 可以有效地活化铁^[19]。在这方面科学家进行了大量的工作。主要研究了麦根酸的结构和性质, 分泌规律及影响因素, 以及与金属离子的络合特征等等。然而大多数试验是在水培和缺铁胁迫条件下进行的。但是在正常的田间情况下, 禾本科

植物吸收铁的机制，麦根酸类物质的分泌量，被微生物降解的速率以及在植物铁营养上的重要性仍要深入研究。

五、根际土壤中的养分形态和动态

由于植物根系的养分吸收以及根际土壤中的化学过程，使其中元素的含量和形态产生明显的变化。磷和钾通常在根系周围存在着亏缺梯度，以及缓效态钾或磷向速效态转化^[20]。“缓效态”养分在根际土壤养分供给中起着非常重要的作用。在根际土壤中，根系释放 H^+ 能够进入伊利石的层间，将层间钾替换出来。根系土壤中钾的含量、形态及浓度梯度受钾水平、土壤类型、作物种类及生长时期、土壤含水量的因素影响^[21,22]。

对金属微量元素的动态而言，种植玉米可使根际土壤 DTPA—Zn 下降，随着施锌量的增加，下降的幅度越大；植物所吸收的主要是碳酸盐结合态锌和氧化物结合态锌^[23]。而小麦和油菜的根际土壤中 DTPA—Zn 和 DTPA—Cu 无明显变化；小麦根际土壤中 DTPA—Fe 呈富集趋势，而油菜则表现出亏缺；两种作物根际的 DTPA—Mn 均表现出富集现象（马义兵等，未刊稿）。植物根际土壤溶液中微量元素的含量随季节而变化^[24]，这可能与植物和微生物的生理活动产生的络合物活化难溶性元素，或者是水热的季节性变化有关。据报道，随根际 pH 增加，可溶性 Cu 和 Zn^{2+} 的含量呈下降趋势，而可溶性 Fe 和 Mn 呈上升趋势^[25]。也有人应用 Geochem 化学平衡计算了根际土壤溶液中的元素浓度，形态，讨论了 pH、Eh 以及根系分泌物对金属微量元素的影响^[14]。总之，根际土壤中微量元素的研究，目前积累的材料仍然不多。

根际土壤中的化学过程是复杂的动态过程，其显著特点是土—根界面化学。在这一界面上易产生“接触反应”，加强这方面的研究无疑可加深对根际土壤化学过程和植物根系对土壤养分的吸收机理的了解。

微生物和菌根的作用对根际土壤养分动态的影响是非常重要的。因为根系利用根际土壤中无机磷和有机磷的量大约各占一半。植物吸收有机磷时靠微生物（酶）的作用，而无机磷的速效化过程也与微生物或菌根的作用分不开。

此外，根际土壤实验方法的研究和根际土壤化学的田间实验研究应有所加强。预期在不久的将来，能够利用根际土壤化学的研究结果达到经济地，科学地指导施肥。

参 考 文 献

- [1] Nye, P. H., *Advances in Plant Nutrition* 2, 129—153, Ed. B. Tinker and A. Lauchli, Praeger Scientific, New York, 1986.
- [2] Youssef, R. A. and M. Chino, *Soil Sci. Plant Nutr*, 35, 461—468, 1989.
- [3] Blanche, R. W. and S. D. Lipton, *Agron. J.* 78, 216—218, 1986.
- [4] Fischer, W. R., Fless, H. and G. Schaller, *Z. pflanzenernachr. Bodenk.* 152, 191—195, 1989.
- [5] Clark, W. M., *Oxidation-reduction potentials of organic systems*. Williams and Wilkins, Baltimore, 1960.
- [6] Leeper, G. W., *Nature*, 134, 972—973, 1934.
- [7] Uren, N. G., *J. Plant Nutr.*, 5, 515—520, 1982.
- [8] Qiu, Z. S., B. Rubinstein, and A. I. Stern, *Planta*, 165, 383—391, 1985.
- [9] Gahoonia, T. S., *The influence of plant induced pH change in the rhizospheres on the availability of soil phosphate*, ph. D. thesis, 1987.
- [10] Foehse, D., *Die Bedeutung von Wurzelgensehaften fuer das phosphatanignungsvermoegen verschiedener*

(下转第 238 页)

“国际科学基金会—土壤培肥研讨会” 暨“国际科学基金会日”在宁举行

南京土壤研究所与国际科学基金会(IFS)于1993年4月19—24日在南京联合举办了“国际科学基金会—土壤培肥研讨会”暨“国际科学基金会日”。来自9个国家的40多位国际科学基金资助者以及有关学者出席了研讨会和参与了国际科学基金会日的活动。

会议主要就土壤管理、土壤化学与肥料、菌根与土壤肥力以及根际微生物与土壤肥力等问题进行了学术交流和讨论。与会代表一致认为,土壤培肥研究工作已取得了新的进展,主要表现在:

1. 土壤学已发展到圈层的概念。对土壤学的研究不再局限于研究土壤自身,而必须把它看成是地球系位中的一个圈层,研究其与其它圈层(水、生、岩、气)之间的关系;

2. 氮素损失研究逐步进入定量化阶段。在研究氮素损失途径及机理的基础上,已能定量地测定挥发损失量及其挥发途径。有关抑制剂也在研制中;

3. 低产土壤的生物改良有了明显进展。业已发现,低产土壤上作物的产量在很大程度上取决于内生菌根的形成。与会者认为,研究根际营养对解决作物适应贫瘠土壤具有重要意义。

举行“国际科学基金会日”是扩大“国际科学基金会”影响的重要形式。该会成立于1972年,是一个非政府性的国际学术资助机构,主要是向发展中国家的青年科学工作者提供科研资助。80年代以来,我国先后有75个科研项目,97位科技人员得到该会的资助经费。

(翁解萍、朱红霞)

(上接第 233 页)

pflanzenarten, ph. D. thesis, 1985.

[11] Warembourg, F. R. and E. A. Paul, *plant and Soil*, 38, 331—345, 1973.

[12] Bromfield, S. M., *Plant and Soil*, 10, 147—160, 1958.

[13] Dinkelaker, B., V. Romheld and H. Marschner, *plant, Cell and Environment*, 12, 285—292, 1989.

[14] Inskip, W. P. and S. D. Comfort, *J. Plant Nutr.*, 9, 567—585, 1986.

[15] Kratfcyzk, I., G. Trolldenier and H. Beringer, *Soil Boil. and Biochem*, 10, 315—322, 1984.

[16] Lipton, D. S., R. W. Blanchar and D. G. Blevins, *plant physiology*, 85, 315—317, 1987.

[17] Merckx, R., J. H. VanGinkel, J. Sinnaeva and A. Cremers, *Plant and Soil*, 96, 95—107, 1986.

[18] Takagi, S., Nomoto, K. and T. Takemoto, *J. Plant Nutr.*, 7, 469—477, 1984.

[19] 张福锁, *北京农业大学学报*, 17(1)29~33, 1991.

[20] Jungk, A. and N. Claassen, *Z. pflanzenernahr. Bodenk.*, 152, 151—157, 1989.

[21] 许曼丽, 刘芷宇, *土壤学报*, 20(3), 265~302, 1983.

[22] Kuchenbuch, R., N. Claassen and A. Jungk, *plant and Soil*, 95, 221—231, 1986.

[23] 马义兵, 黄友宝, 夏荣基, 张国印, 孙祖琰, *北京农业大学学报*, 15(1)57—60, 1989.

[24] Linchan, D. J., A. H. Sinclair and M. C. Mitechl, *J. Soil Sci.*, 40, 103—115, 1989.

[25] Youssef, R. A. and M. Chino, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 35, 609—621, 1989.