

## File No. 15

## 根酸与植物的养分吸收

植物根的功用是在土壤里伸长拓展，支撑地上部分和从土壤中吸收所需的养分和水分来维持自身的生存。根从土壤中吸收养分和水分的同时也会将体内合成的碳水化合物，氨基酸，有机酸，酶等各种各样的有机物质通过根释放到土壤里。根酸就是根分泌释放出的有机酸的统称。根酸可以将土壤中的难溶性磷，铁，镁等养分溶解改变成可被植物根吸收的形态，还有减轻土壤中有害金属元素的毒性等作用。

根据已发表的研究结果，从植物根圈土壤中检出了多种有机酸。这些都是根分泌释放出来的根酸。主要的根酸有柠檬酸(citric acid)，番石榴酸(Piscidic acid)，麦根酸(mugineic acid)，苹果酸(malic acid)，草酸(oxalic acid)，丙二酸(Malonic Acid)等(图1)。必须注意的是，并不是所有的植物都能够无分别地分泌释放这些有机酸，而是植物种类根据土壤环境选择分泌释放出所需的有机酸。

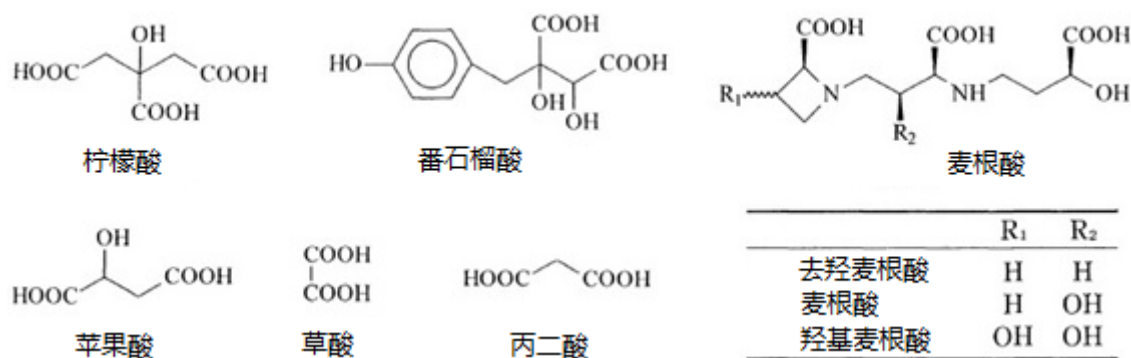


图1. 植物根分泌释放的部分根酸种类

根酸最大的功能就是与土壤中不溶性或难溶性养分起反应，将其转换成能够被植物吸收的形态后供植物吸收利用。根酸是通过离子交换反应，酸溶解作用，配体交换反应将土壤中的难溶形态的养分转换成可溶性形态的。以下简单地说明根酸所引起的反应。

### 1. 根酸的离子交换反应

根酸的离子交换反应是根分泌释放出的有机酸的羧基(-COOH)会放出氢离子(H<sup>+</sup>)与吸附在土壤颗粒表面的阳离子之间进行离子交换，将阳离子从土壤颗粒上离解出来，溶于土壤溶液里供根吸收(图2)。

土壤颗粒从整体上来说是一种具有正负电荷的两性胶体，但颗粒表面则是负电荷占优势。土壤颗粒表面的负电荷与土壤溶液里的带正电荷的钙离子，镁离子，钾离子，钠离子，氢离子等阳离子以库伦力相吸引，将这些阳离子吸附到土壤颗粒的表面加以保持。从根酸的羧基上放出的氢离子带正电荷，可以与吸附在土壤颗粒表面的阳离子进行离子交换反应，将阳离子置换出来。这种离子交换反应是可逆性的，阳离子在土壤溶液和土壤颗粒之间不断地反复着吸附和离解的过程。这种状态的阳离子很容易被植物根吸收。但是，土壤颗粒和土壤溶液

之间经常发生离子交换反应，并不需要根酸的存在。根酸只不过是促进和加速了离子交换反应，有助于根对阳离子养分的吸收。



图 2. 根酸的离子交换反应示意图

## 2. 酸的溶解作用

根酸是有机酸，在土壤溶液中离解放出氢离子。氢离子浓度的增加意味着溶液酸性化，不溶或难溶的化合物有可能在酸性溶液中增加其溶解度。这种现象又称为酸溶解。

枸溶性肥料和可溶性肥料多数是具有碱基的弱电解质，不溶于中性的水。但是，土壤溶液中的氢离子增多，溶液呈酸性时，这些具有碱基的弱电解质会与氢离子反应，放出电子后形成阳离子状态溶解在土壤溶液里被植物吸收(图 3)。要让碱基性化合物放出电子成为阳离子，所需的氢离子浓度因化合物的种类而异。根释放出的有机酸的平均 pH 在 2~3 之间，足够可以让枸溶性成分和可溶性成分溶解。通常，枸溶性肥料都需要在根酸存在的情况下才能被溶解吸收，所以能够在较长期间不会流失和分解，保持肥效。某些钙，镁，硅化合物需要更强的酸性才能溶解，一些植物在某些场合可以分泌出具有更强酸性的有机酸，亦可以缓慢地将这些化合物溶解后吸收。

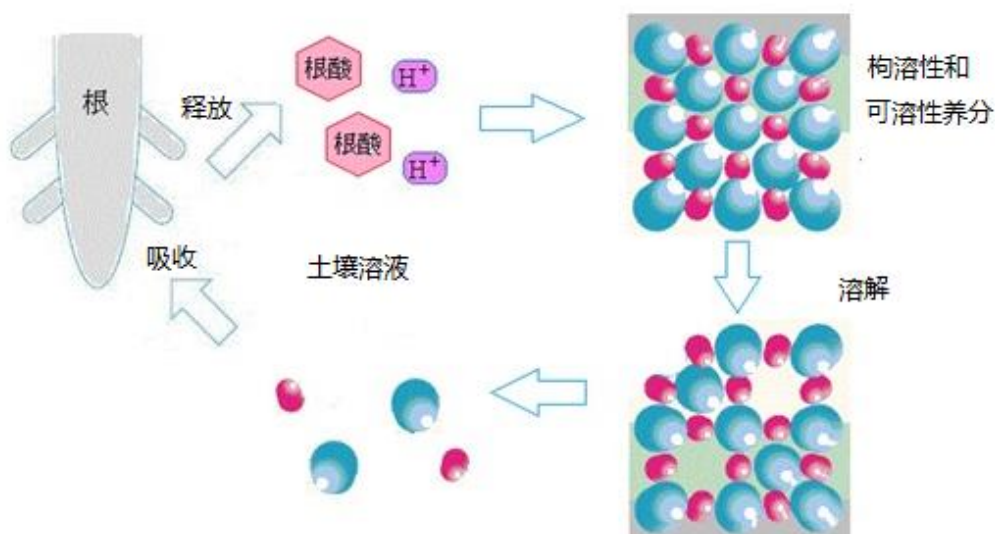


图 3. 根酸的溶解作用示意图

### 3. 配体交换反应

配体是指可和金属或类金属原子产生键结的分子或原子基团。一般来说，配体具有孤立的电子对的基团，该基团在与金属原子进行键结时会提供一个以上的电子，与金属形成错体。2个或多个配体与金属原子的键结又被称为螯合。通常，配体担任电子给予体的角色，但在少数情况中配体也可以接受电子，充当电子接受体的角色。

根酸是有机酸，可以将配体与金属原子的键合部位切开后与金属原子进行置换，将金属原子解放出来形成阳离子（图 4，A）。根酸的羧基等也可以作为置换基团，与配体进行配位座的交换反应，与金属原子形成新的键结，使其变成可以被植物吸收的形态（图 4，B）

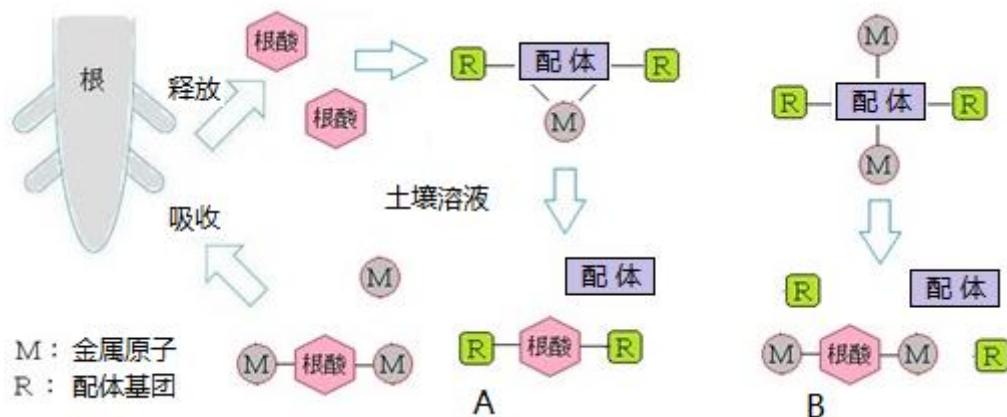


图 4. 根酸的配体交换反应示意图

土壤中的粘土矿物大多数是铁和铝等金属原子为中心，硅酸盐为配体键合形成的物质。粘土矿物表面存在的羟基可以强力地吸附土壤溶液里的离子和分子。粘土矿物的吸附力很强，有时这种吸附反应还是不可逆的，被吸附了的离子和分子难以再次溶解到土壤溶液里。因此，因形成了配体而被土壤粘土矿物吸附固定了的养分变成了难以被植物吸收利用的形态，不能再度溶解到土壤溶液里被植物吸收。例如施用到火山灰质土壤里的磷肥的吸收利用率低的原因就是，肥料中的磷酸离子被土壤粘土矿物以配体吸附反应固定在土壤里成为无效磷。

根酸可以将硅酸盐与金属原子的键合部位切开后与硅酸盐进行置换，将金属原子键合在有机酸上。有机酸的金属原子配体还会继续与其他金属原子反应生成溶解度高的有机酸-金属螯合体。这类有机酸-金属螯合体是金属原子的配体座与有机酸的羟基等基团相互键结在一起，不易再与土壤粘土矿物表面发生配体交换反应而重新被吸附固定到土壤粘土矿物上。因此，通过根酸的配体交换反应，可以将吸附固定在土壤粘土矿物上的养分变成溶解度高的有机酸螯合体，脱离粘土矿物的束缚，溶解到土壤溶液里被植物吸收。土壤中难溶性磷的溶解，铁的溶解，减轻土壤铝离子的毒害等反应基本上是以根酸的螯合作用或配体交换反应为基干的反应。根酸对促进植物养分吸收所起的最重要的作用就是根酸的配体交换反应。

由于根酸的分泌释放，使得原本不溶于水的养分也能够溶解在土壤溶液里变成能够被植物吸收的形态。但是，根酸的有效作用范围只限定于根圈之内，而且植物种类不同分泌释放出的有机酸种类和数量也会有差异。在施用枸溶性和可溶性肥料时必须注意要施到根圈范围内，

否则会影响到植物的养分吸收，导致生长不良。

举数例说明根酸与养分吸收的关系。

**1. 难溶性磷酸的溶解吸收：** 豆科羽扇豆属植物的根会分泌释放出柠檬酸，将难溶性的磷酸铁通过配体交换反应形成磷酸-铁-柠檬酸复合体，溶解到土壤溶液里吸收利用。多年生豆科植物的树豆可以分泌释放出番石榴酸，通过酸的溶解作用将磷酸铁分解成铁离子和磷酸离子供根吸收。另外，除了番石榴酸之外，树豆也可以分泌释放草酸和丙二酸来溶解磷酸铁。

植物种类不同，分泌释放出的有机酸种类和数量也不同，对难溶性磷酸的溶解能力和可溶化效率亦有一定的差异。据研究结果表明，拥有 3 个羟基的柠檬酸具有最高的溶解能力。

**2. 难溶性铁的吸收：** 禾本科植物在体内缺乏铁时会分泌出麦根酸及其衍生物释放到土壤里，土壤中的难溶性铁可以与麦根酸及其衍生物进行配体交换反应，生成铁-麦根酸的螯合物，溶解到土壤溶液里。禾本科植物可以直接吸收铁-麦根酸的螯合物，在体内分解成铁离子后加以利用。

双子叶植物不分泌麦根酸，但可以分泌释放柠檬酸等其他有机酸，在根圈范围内发生局部性的酸性化和铁的还原反应，使得难溶性铁分解，溶于土壤溶液中成离子态供植物吸收。

**3. 减轻土壤铝毒的危害：** 在强酸性的环境下，土壤矿物会溶解出铝离子。铝离子会抑制根系生长和养分水分吸收机能，对植物生长造成妨碍，称之为铝毒。部分植物的根可以分泌释放出有机酸来抑制铝离子的活性，减轻铝毒的危害。例如具有耐铝性的菜豆和草决明可以分泌释放出柠檬酸，具有耐铝性的黑麦可以分泌释放出苹果酸，荞麦可以分泌释放出草酸到根圈里与铝离子结合成配体化合物，减轻铝粒子的毒害，所以这些植物可以较正常地生育在 pH4.9 以下的强酸性土壤里。