

File No. 71

土壤化学性与施肥和肥效

植物生育所需的养分和水分基本上都要通过根从土壤中吸收。土壤化学性是整个植物生育环境中与植物的养分，水分吸收相关的最重要的因素。

土壤化学性由土壤 pH, EC (电导度), CEC (阳离子交换容量), 置换性碱基, 可给态磷, 全氮量, 有机态碳等因子所构成。土壤化学性主要受到土壤种类和环境条件所控制, 但肥料也会对土壤化学性产生一定的影响。以下对这些构成土壤化学性的因子进行简单的说明。

1. 土壤 pH (土壤酸碱度)

土壤 pH 是土壤溶液中以及土壤粒子吸附的氢离子的浓度指数, 表示了土壤的酸碱度。pH7 为中性土壤, pH 值若比 7 小, 则为酸性, 若大于 7 则为碱性。表 1 是按照 pH 值来判别区分土壤的酸碱度。

表 1. 根据 pH 来判别区分土壤的酸碱度 (日本标准)

土壤溶液的 pH	土壤酸碱度的区分
< 4.4	极强酸性土壤
4.4~4.9	强酸性土壤
5.0~5.4	明酸性土壤
5.5~5.9	弱酸性土壤
6.0~6.5.	微酸性土壤
6.6~7.2	中性土壤
7.3~7.5	微碱性土壤
7.6~7.9	弱碱性土壤
> 8.0	强碱性土壤

土壤 pH 受到形成土壤的母岩和有机物的种类和数量影响。母岩种类不同, 形成的原始土壤的 pH 也不同。通常, 花岗岩和玄武岩, 火山灰形成的土壤多呈酸性, 石灰岩形成的土壤则偏向碱性。有机物多的土壤因为吸附的碱基多, 多呈弱酸性~中性。

但是, 影响土壤 pH 最大的原因是降雨。雨水中含有的氢离子可以与吸附在土壤胶体上的碱基类 (钙离子, 镁离子, 钠离子, 钾离子) 进行离子交换, 将这些阳离子从土壤胶体上置换出来随水流失。这个过程又称为碱基溶脱作用。降雨量多的地区因为土壤中的碱基容易被氢离子置换溶脱而流失, 导致土壤中的氢离子不断增加, 使得土壤 pH 下降, 逐渐走向酸性, 成为酸性土壤。相反, 降雨量少的地区, 土壤中的碱基能够保留下来, 土壤不易偏向酸性。特别是降雨少蒸发量大的干旱地区, 地下水的上升带来了溶在地下水里的钠离子和钙离子, 镁离子等, 蒸发后残留在土壤表层, 容易形成碱性土壤。

肥料也是影响土壤 pH 变动的重要因子。例如, 长期施用过磷酸钙, 重过磷酸钙等自身就是酸性肥料和硫酸铵, 氯化铵, 氯化钾等养分被吸收后留下的成分会使土壤变成酸性的化肥的

结果就会使得土壤 pH 降低。而施用石灰氮和钙镁磷肥之类碱性化肥的话，土壤 pH 就会上升。另外，施用硫酸铵，氯化铵之类含有氨态氮的化肥后，氨态氮会因土壤微生物的硝化作用而被氧化成硝态氮，在硝化作用的过程中会释放出氢离子，使得土壤 pH 降低。

土壤的酸性化和碱性化都会严重阻碍植物生育。为了回避酸性土壤和碱性土壤对农作物生长带来的不良影响，施用可以调节土壤 pH 的土壤改良剂是非常有效的措施。

对于 pH 呈强酸性的土壤，施用消石灰有速效性，可以明显地看到改良效果。苦土石灰（白云石烧制的石灰）和石灰石粉（碳酸钙粉）虽然没有速效性，但可以长期有效地缓慢提升 pH。对于碱性土壤，则可以采用施用过磷酸钙和硫酸铵，硫酸钾等酸性或生理型酸性肥料来降低土壤 pH，但不宜使用氯化铵和氯化钾，以免造成氯离子积累，对农作物生长有害。强碱性土壤也可以施用硫磺粉和石膏粉等强酸性物质来快速降低土壤 pH。

2. EC（电导度）

EC（电导度，Electro Conductivity of Soil）是表示土壤溶液导电率的数据。纯水的电阻很高，基本上不能通电，但溶解了盐类之后溶液中形成的离子却能够导电。EC 与溶解在土壤溶液中的盐类含量有正的相关关系，可以推算出土壤中的无机盐浓度。通常在土壤化学上将 EC 作为表示土壤肥沃度的数值。

表 2. 部分蔬菜和果物的生育最适土壤 EC 值与出现生育障碍的土壤 EC 值

蔬菜种类	最适 EC 值 (mS/cm)			出现生育障碍 EC 值 (mS/cm)		
	砂质土	壤土	粘土	砂质土	壤土	粘土
包心菜, 萝卜	0.4~0.8	0.5~1.0	1.0~2.0	1.1~1.6	1.6~2.5	2.7~4.1
菠菜, 芜菁, 大白菜	0.3~0.7	0.5~1.0	0.8~1.5	1.0~1.5	1.5~2.2	2.4~3.6
芹菜	0.2~0.5	0.3~0.8	0.5~1.3	0.7~1.0	1.0~1.6	1.8~2.7
茄子, 葱, 生菜, 胡萝卜, 菜椒	0.2~0.5	0.3~0.7	0.5~1.0	0.7~1.0	1.0~1.5	1.7~2.5
西红柿	0.2~0.4	0.3~0.6	0.4~0.8	0.6~0.9	0.9~1.3	0.8~1.4
辣椒, 黄瓜, 甜瓜, 芦笋	0.2~0.3	0.2~0.5	0.3~0.8	0.4~0.6	0.6~0.9	1.0~1.5
蚕豆, 洋葱	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.5	0.3~0.5	0.5~0.7	0.8~1.2
菜豆, 草莓	0.1~0.2	0.1~0.3	0.2~0.5	0.3~0.4	0.4~0.6	0.7~1.0

通常，除了含有多量钠的盐质土壤外，土壤 EC 与土壤中的水溶性肥料养分含量，特别是硝态氮含量有很密切的相关关系，常作为推算土壤中可供态养分含量的手段。各种农作物都有其最适合生长的土壤养分含量，可用最适 EC 值来表示。若土壤 EC 比最适 EC 值低的话，说明土壤中的养分可能不足，会影响到作物的生长，导致收获量减少，需要及时施肥。而土壤 EC 超过了最适 EC 值的话，表示土壤中养分浓度过高，会给作物造成渗透压胁迫和离子胁迫，影响作物的水分吸收，可能会造成烧苗，必须停止施肥，及时灌水来减轻土壤 EC 的压力。另

外，EC 值高的土壤通常都会出现盐分积累现象。值得注意的是，肥料的枸溶性养分和可溶性养分，缓释性肥料等不溶于水的肥料养分不会影响到土壤 EC。表 2 是部分蔬菜和果菜的生育最适土壤 EC 值和发生肥害，出现生育障碍的土壤 EC 值，表 3 则是用土壤 EC 来判断追肥的与否和追肥量的一个基准。

表 3. 用土壤 EC 来判断追肥的与否和施用量的基准土壤 EC から追肥の施用を判断する基準

土壤 EC	追肥的施用与否和施用量
未达到最适 EC 的下限值	进行通常的追肥
在最适 EC 的范围内	追肥施用量减少 20~50%
超过了最适 EC 的上限值	不必施用追肥

3. CEC（阳离子交换容量）

土壤 CEC（阳离子交换容量，Cation Exchange Capacity）是表示土壤能够保持的阳离子数量的指标。

土壤能够吸附阳离子的原因在于土壤胶体。土壤胶体是粘土矿物，腐殖质以及土壤溶液析出的铁，铝，锰，硅等的不溶性氧化物和氢氧化物等构成的直径数 nm~数 μm 微细粒子状物质。主要是粘土矿物和腐殖质以及这 2 种物质结合成的复合体。土壤胶体是一种具有正负电荷的两性胶体，但正电荷通常位于胶体内部，表面则是负电荷占优势，能够用库仑力吸附保持带正电荷的钙，镁，钾，钠等阳离子。

施用于水田和旱地里的肥料养分溶解后生成的阳离子受到土壤胶体的吸附，被保持在土壤胶体的表面，不易随水流失，可以较长时间滞留在土壤里。通常，CEC 值越大保持肥料养分的能力就越大，土壤 pH 和土壤 EC 的变动也会被缓和。除了盐碱地外，CEC 值大的土壤一般都是保肥能力大，肥沃度高的土壤。图 4 是日本代表性土壤的 CEC 值。

表 4. 日本代表性土壤的 CEC

土壤种类	CEC (meq/100g)
砂壤土	3~10
淡色火山土	15~25
腐殖质火山土	20~30
富腐殖质火山土	30~40

CEC 与构成土壤胶体的粘土矿物种类和数量，腐殖质的量有很大的关系。特定的粘土矿物和腐殖质越多，CEC 值就越大。砂质土壤和腐殖质少的土壤 CEC 值也小。

增加土壤 CEC 最有效的手段是施用堆肥或腐殖酸类肥料。有实验确认，土壤中的腐殖质增加 1%，CEC 大约会增大 2meq/100g。长期施用腐殖酸，腐殖酸镁，腐殖酸钾，腐殖酸铵等含有大量腐殖酸的肥料和堆肥可以增加土壤的腐殖质的含量，将其改造成保肥力高的土壤。

4. 交换性碱基

能够被土壤胶体吸附保持，但又容易被其他阳离子置换，再次回到土壤溶液里的阳离子中除了氢离子外的其他阳离子统称为交换性碱基（Exchangeable Cation）。

被土壤吸附的阳离子中交换性碱基所占的比例称作碱基饱和度。土壤 CEC 值一定的场合，碱基饱和度越小，则氢离子的比例越高，土壤越倾向酸性，碱基饱和度越大则越接近中性，超过了一定值后则会成为碱性土壤。

交换性碱基是最容易被作物吸收利用的，所以碱基饱和度高的土壤一般都是肥沃度高的土壤。但是碱基类阳离子超出了 CEC 值，使得碱基饱和度达到 100%时，基本上是土壤中的钙，镁和钠过剩，会在土壤表层呈现出盐类积累现象。另外，碱基饱和度接近 100%时，通常都会使得部分肥料养分不溶化，诱发微量元素缺乏症，妨碍作物生长。在日本有很多关于作物生育最适土壤碱基饱和度的实验，虽然因作物种类和栽培时期不同而最适土壤碱基饱和度有所不同，但通常是认为土壤碱基饱和度在 70~80%之间为最适。

另外，交换性碱基中各种阳离子的平衡也很重要。一般情况下，只要土壤 pH 保持在适当的范围内，土壤基本上不会缺乏钾，钙，镁。但在大棚等设施栽培出现盐类积累或大量连续施用堆肥或石灰的情况下，各种阳离子之间会出现不平衡，造成某些养分出现缺乏症状。

表 5 是通过实验结果得出的有关西红柿，菠菜，生菜的最适碱基饱和度和碱基平衡的数据。

表 5. 土壤的最适碱基饱和度和各种碱基的比例。

作物种类	最适碱基饱和度 (%)	碱基平衡 (%)		
		钙	镁	钾
菠菜	85	75	20	5
生菜	80	65	25	10
西红柿	75	70	25	5

土壤中的各种养分能够保持平衡的状态则有利于农作物的生育。因此，在均衡施肥的基础上，适宜地施用石灰和苦土石灰（白云石烧制的石灰）来调节土壤 pH，使交换性碱基维持在最适的状态是非常重要的。

5. 可给态磷

肥料中的磷养分施用到土壤后会形成难溶性的磷化合物，这个现象称为土壤的磷固定。磷固定的机理是土壤溶液中的铝离子和铁离子与肥料溶解后生成的磷酸阴离子结合生成难溶性的磷酸铝和磷酸铁析出沉淀，不再变成磷酸离子被作物吸收。钙离子也会与磷酸离子结合生成难溶性的磷酸三钙。这些难溶性磷酸盐难以再被作物吸收利用。

土壤的磷固定能力用磷吸附系数来表示。磷吸附系数越大，土壤的磷固定能力越强，土壤中的可给态磷就越少。

土壤种类不同，磷吸附系数有很大的差异。冲积土和砂壤土因为粘土矿物少，磷吸附系数

就低，火山灰土壤，特别是黑色火山土含有多量的粘土矿物，在酸性环境下容易溶出大量的活性铝离子，磷吸附系数相当高。磷吸附系数是土壤本身所具有的基本特性之一，要改变磷吸附系数是很困难的。

大量施用堆肥和腐殖酸类肥料来改良土壤，在一定程度上可以降低磷吸附系数，增加可给态磷。这是因为堆肥等的有机物可以包裹磷，减少与土壤胶体的接触。堆肥分解时土壤微生物也会大量吸收磷来进行增殖，将无机磷变成有机态磷。在微生物死亡后残骸分解时则缓慢地释放出磷来供作物吸收利用。

腐殖酸可以吸附铁，铝，钙等离子生成安定的化合物，减少土壤溶液中的这些阳离子的数量，降低磷吸附系数，减轻土壤的磷固定。另外，腐殖酸还可以与难溶性磷酸盐化合物中的铁，铝，钙等金属原子生成络体，将被固定的磷转换成可给态磷。

改良施肥方式也可以减少或避免磷固定。磷吸附系数高的黑色火山土，可以根据土壤中可给态磷的含量和磷吸附系数来决定施肥量和施肥次数。过磷酸钙和重过磷酸钙可以与堆肥或腐殖酸混合后施用。也可以使用钙镁磷肥等枸溶性磷肥来避开磷固定。日本独自的双烧磷含有水溶性磷和枸溶性磷，可以减少土壤的磷固定，适合用于作物生长初期和寒冷地区。

构成土壤化学性的因子还有全氮量，有机态碳等。但这些因子的重要性远远不如上述的 pH，EC，CEC，交换性碱基，可给态磷，限于篇幅在此不予介绍。