

File No. 18

土壤 CEC 与保肥能力

土壤具有能够吸附各种物质的功能，是自然界中拥有最大吸附能力的集合体。土壤 CEC（阳离子交换容量 Cation Exchange Capacity）是指土壤能够吸附保持的各种阳离子的总量。土壤 CEC 的测定方法是，先用醋酸铵溶液浸提土壤，使吸附在土壤上的各种阳离子全部都被铵离子置换后，再用乙醇将未交换的剩余铵离子冲洗除去，再用氯化钾溶液浸提土壤，将吸附在土壤上的铵离子置换出来，测定铵离子的数量，就可以得出土壤的阳离子交换容量。土壤 CEC 单位是 meq/100g 干土。

土壤能够吸附阳离子的原因在于土壤胶体的存在。土壤胶体(soil colloid)是土壤粘土矿物，腐殖质以及土壤溶液析出的铁，铝，锰，硅等不溶性氧化物和氢氧化物等组成的直径数纳米（nm）到数微米（ μm ）的微细粒子状物质。按照胶体的构成成分，可分成由土壤矿物构成的土壤无机胶体，由腐殖质构成的土壤有机胶体和粘土矿物和腐殖质相结合而成的土壤无机-有机复合胶体，其中最多的是土壤无机-有机复合胶体。土壤胶体是一种同时具有正负电荷的两性胶体，通常胶体表面是负电荷占优势，能够用库仑力（Coulomb force）来吸附保持钙，钾，镁，钠，铵等带正电荷的离子（图 1）。

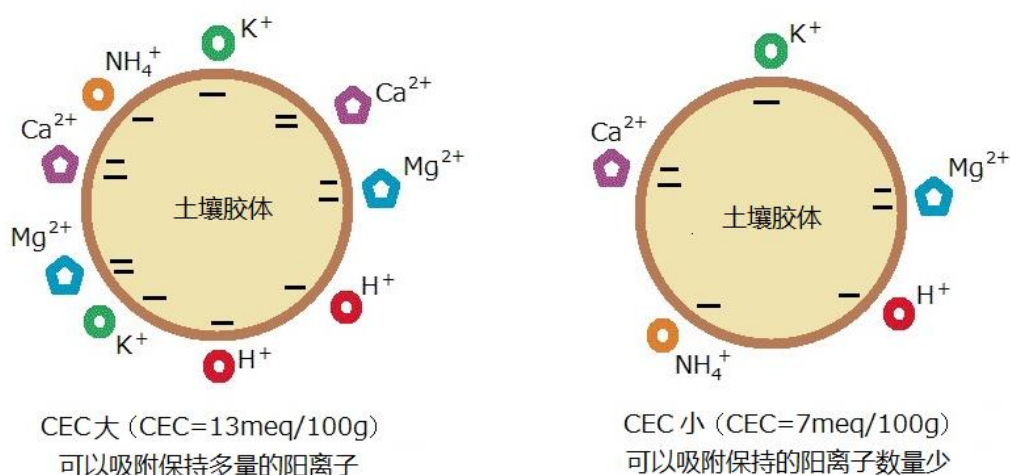


图 1. 土壤胶体的阳离子吸附保持概念图

表 1. 日本有代表性土壤的 CEC

土壤种类	CEC (meq/100g)
砂质未熟土	3~10
淡色黑火山土	15~25
腐殖质黑色火山土	20~30
富腐殖质黑色火山土	30~40

施用到耕地上的肥料养分能够较长时间滞留在土壤中供作物吸收利用就是因为土壤胶体的

阳离子吸附机能。即使是水田，因为土壤胶体才能够使得肥料中的养分留在土壤中，不会随水流失。土壤的保肥能力与土壤 CEC 有直接的正相关关系。一般来说，土壤 CEC 值高的话，保肥能力就大，而且土壤 pH 和 EC（土壤电导率）的变动也平缓，是肥沃度高的土壤。表 1 是日本有代表性的耕地土壤的 CEC 值。

土壤 CEC 值与构成土壤胶体的粘土矿物种类和量，腐殖质的量有很大的关系。构成土壤胶体的特定的粘土矿物和腐殖质越多，CEC 值就越大，砂质土壤和腐殖质含量少的土壤缺少粘土矿物和腐殖质，所以 CEC 值不会高。表 2 是构成土壤成分的数种粘土矿物以及腐殖质的 CEC。

表 2. 粘土矿物和腐殖质的 CEC

粘土矿物种类	CEC (meq/100g)
高岭土 (kaolinite)	3~15
埃洛石 (halloysite)	10~40
变埃洛石 (metahalloysite)	5~10
伊利石 (illite)	10~40
蛭石 (vermiculite)	100~150
蒙脱石 (montmorillonite)	80~150
绿泥石 (chlorite)	10~40
水铝英石 (allophane)	30~200
腐殖质	30~280

(引自 Grim, 1968 年; 青峰, 1961 年等资料)

不同的粘土矿物其 CEC 值不同的理由是与该粘土矿物结晶的比表面积和能否具有同形置换能力有关。蛭石，蒙脱石，水铝英石因为其结晶的比表面积要比其他粘土矿物大，所以 CEC 值也较其他粘土矿物要大。值得注意的是，测试时的 pH 的变动会影响到 CEC 值的测定。

土壤的 CEC 值越大，表示能够吸附的阳离子数量就越多，保肥能力也越强。比方说砂质土壤保肥能力低，需要少量多次施肥就是因为砂质土缺少粘土矿物和腐殖质，土壤胶体数量少 CEC 不高，施用的肥料养分难以被吸附保持在土壤里，容易随水流失，所以需要少量多次施肥或施用缓释性肥料才能保证能够供给作物充分的养分。而腐殖质壤土含有多量的腐殖质，具有大量的有机胶体和无机-有机胶体，CEC 值高，能够大量地吸附肥料养分，保肥能力强，可以减少施肥次数。因此，根据土壤 CEC 来设计施肥方式是减少肥料流失，减轻肥料造成的环境污染的重要手段。

值得注意的是，构成土壤的粘土矿物种类和比率基本上受土壤的母岩所决定，想要增大 CEC 不是一件容易的事情。

为了增大土壤 CEC，可以使用大量掺入 CEC 值大的粘土矿物和沸石，施用堆肥等有机物质等方法。例如，在砂质土的易漏水水田中掺入多量的膨润土（蒙脱石为主成分的粘土），不

仅可以改良水田漏水，还可以提高保肥能力。但是，要在短期间内看到效果的话，需要相当大的掺入量。施入的堆肥等有机物质亦需要时间来转变成腐殖质。因此，改良土壤的工作需要长期的积累，不是 1，2 次就能够完成的。

另外，尽管施用了大量的农作物茎秆等有机物质，但在短期内土壤 CEC 的测定值并没有出现明显的上升。这是因为掺入土壤的这些有机物还没有得到分解，仍是茎秆等的状态的话，对土壤 CEC 是没有影响的。但是，即使土壤 CEC 值没有上升，但耕地土壤里的农作物茎秆等纤维性有机物质能够提高土壤的保水力，可以减少肥料养分的流失，同样能够提高土壤的保肥力。

提高土壤 CEC 值的简便方法是施用腐殖酸。实验证明，土壤中的腐殖质增加 1% 的话，CEC 大概会提高 2meq/100g。长期施用天然腐殖酸，腐殖酸镁，腐殖酸钾，腐殖酸铵等腐殖酸肥料或腐殖酸土壤改良剂来增加土壤腐殖质的话，就能够逐渐地将土壤改良成保肥力高的土壤。

土壤中阳离子除了氢离子 (H⁺) 和钠离子 (Na⁺) 之外，其他的阳离子统称为交换性碱基。在 CEC 中交换性碱基所占的比率称作碱基饱和度。CEC 值一定的情况下，碱基饱和度越小就说明土壤中的氢离子比率越大，土壤的酸性就越强。反过来碱基饱和度增大的话，土壤则偏向中性，若碱基饱和度达到 100%，而且基本上是钙离子和镁离子的话，则土壤成为碱性土。图 2 是土壤 CEC 与碱基饱和度，土壤酸碱性的关系概念图。

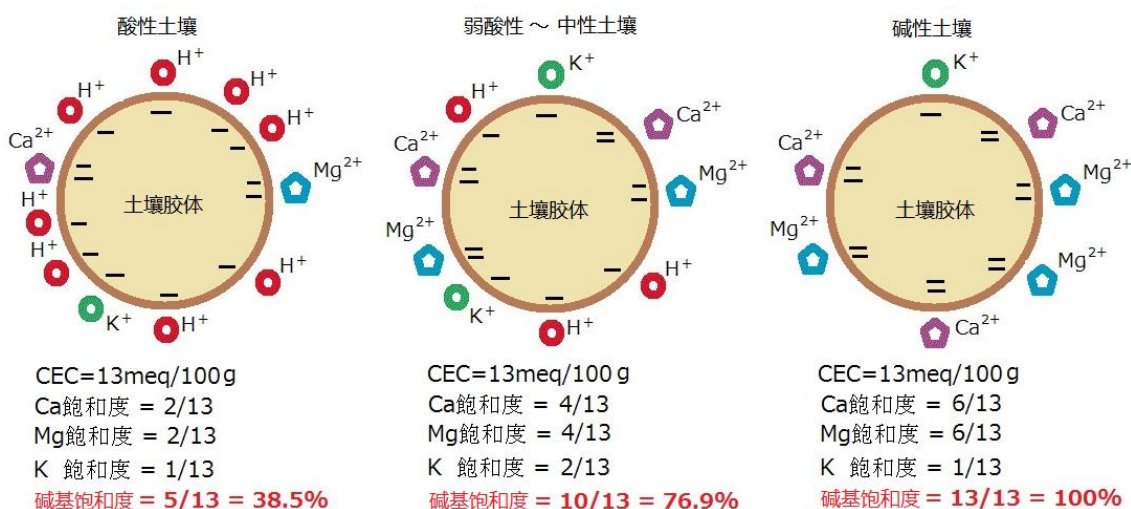


图 2. 土壤 CEC 和碱基饱和度，土壤酸碱性的关系概念图

因为交换性碱基最容易被植物吸收利用，一般来说碱基饱和度大的土壤是肥沃度高的土壤。但是，土壤碱基的积储量超出了 CEC 容量，使得碱基饱和度达到 100% 的情况下，基本上吸附在土壤胶体上的就都是钙离子和镁离子，会导致部分养分的溶脱或不溶和难溶化，诱发微量元素缺乏症状，反而会妨碍作物的生长发育。有很多关于合适作物生长的土壤碱基饱和度的调查和实验，发现因作物种类和栽培时期不同，最适的土壤碱基饱和度也有不同，但保持在 70~85% 的范围内比较好。

另外，交换性碱基之间的各种阳离子的平衡也很重要。一般来说，只要土壤 pH 保持在中性到弱酸性（pH5.5 7.0）范围的话，基本上是不会出现缺钙和缺镁现象。但是，大棚和温室之类栽培设施内积累了大量盐分的土壤和连续大量地投放堆肥，一次性大量施用石灰等情况下，容易破坏土壤中的碱基阳离子之间的平衡，导致某种阳离子急速增加，反而会给土壤保肥能力造成危害，需要注意。

表 3 是栽培西红柿，菠菜，生菜的土壤最佳碱基饱和度和碱基间的离子平衡。

表 3. 土壤的最佳碱基组成

作物种类	最佳碱基饱和度(%)	碱基间的离子平衡 (%)		
		钙离子	镁离子	钾离子
菠菜	85	75	20	5
生菜	80	65	25	10
西红柿	75	70	25	5

（引自日本地力保全协议会关东地区 1982 年资料）

最后介绍一点与土壤 CEC 有关的小知识。植物根会释放出根酸，根酸具有溶解难溶性养分，置换土壤胶体上吸附的阳离子，促进根吸收阳离子等机能。释放根酸的结果是土壤中的氢离子浓度逐渐增加，土壤倾向酸性化。因此，日本农民有着定期施用石灰或苦土石灰（白云石烧制的石灰）来调整土壤 pH 的习惯，使得土壤碱基的阳离子保持在一个良好的平衡状态上。