

File No. 31

养分吸收的拮抗作用和相乘作用

植物必须不断地从外部吸收养分才能保证其正常的生长。因为植物根只能吸收离子态的养分，所以在植物生长所需的主要养分中，钾和钙，镁等金属元素是以阳离子，磷是以磷酸态的阴离子，氮则分为阳离子的氨态氮和阴离子的硝态氮的形态被根吸收的。根在吸收养分时共存的其他养分时常会表现出阻害该养分吸收或促进该养分吸收的现象。这类现象就被称为养分吸收的拮抗作用或相乘作用。

本编的内容是介绍在植物的养分吸收上出现的拮抗作用和相乘作用。

一， 养分吸收的拮抗作用 (Antagonism of nutrients)

养分吸收的拮抗作用是指某种养分过剩地存在于土壤时会抑制或阻碍植物根对共存的其他某些养分吸收的现象。必须提醒的是，拮抗作用只是在某种养分极端过剩的情况下才会出现，该养分的存在只是适量或不足时是不会出现拮抗作用的。另外，该养分需要以可溶态（离子态或容易成为离子的状态）的过剩存在才会出现拮抗作用，非可溶态的养分过剩存在一般来说是不会引起拮抗作用的。表 1 是主要养分之间有可能出现的拮抗关系一览表。

表 1. 养分之间的拮抗关系

养分种类	可能成为拮抗对象的养分种类
氮	钾, 硼
磷	钾, 铁, 锌, 铜
钾	氨态氮, 硝态氮, 磷, 钙, 镁, 硼
钙	氨态氮, 钾, 镁, 铁, 铜, 锌, 硼
镁	钾, 钙
硼	氮, 钾, 钙
锰	钙, 铜, 铁, 锌, 磷
锌	氨态氮, 钾, 铁, 锰
铁	钙, 磷, 锰, 锌, 铜
铜	磷, 铁, 锌
氯	硝态氮

铝不是养分，但土壤中的铝离子（活性铝）含量过高的话，会强烈地抑制根对磷，铁，钙，镁，锰等养分的吸收，也可归纳入拮抗关系内，对植物生长带来很大的阻害。

如表 1 所示，拮抗作用一般出现在带有同样电荷的离子之间。但不同电荷的离子种类之间也有可能出现拮抗作用。即拮抗作用不仅会出现在阳离子之间或阴离子之间，也有可能出现在阳离子和阴离子之间，不能一概而论。另外，常见的阳离子之间的拮抗作用，特别是一价阳离子（钾）和二价阳离子（镁，钙等）之间的拮抗作用相当明显。但是这种拮抗作用通常是一价阳离子对二价阳离子的影响较大，而二价阳离子对一价阳离子的影响要小很多。例如，

钾过剩会严重抑制植物对钙的吸收，而钙过剩对钾的吸收抑制的影响并不算太大。

养分之间出现的拮抗作用的机理尚未完全搞清楚，以下是有关拮抗作用的一些有力的假说。

1. 性质相近的阳离子之间对根细胞膜上的受体的竞争

根基本上只能吸收离子态的养分。土壤溶液中的离子需要先结合到根细胞膜上的特定受体上，才能通过细胞膜上的离子通道或离子转运蛋白被吸收到细胞里。相似种类的离子对根细胞膜上的特定受体的位置竞争会引起拮抗现象。例如，钙和镁都是碱土金属，其离子都是带有二价正电荷，性质非常相似，为了结合在根细胞膜受体上就容易出现竞争。若某种离子过剩的话，就会减少另一种离子结合在根细胞膜上特定受体的机会，抑制另一种离子的吸收。同样，锰，锌，铜和铁都是二价金属元素，它们的离子之间对根细胞膜上特定受体有较强的竞争关系，互相之间容易出现拮抗作用。

2. 根细胞膜上的离子通道的争夺竞争

根细胞膜上存在着由蛋白质构成的离子通道，可以让离子通过该通道进入细胞内。不同种类的离子对离子通道的争夺竞争也会造成养分间的拮抗。特别是阳离子的离子通道具有优先让钾离子通过的特性。因此，若土壤溶液中钾离子过剩的话，根细胞膜上的大部分离子通道会被钾离子所占据，钙离子和镁离子等其他阳离子进入细胞的机会就会减少，在外观上呈现出拮抗现象。

不仅是阳离子，阴离子之间也会发生对离子通道的竞争。例如，土壤中氯离子过剩的话，会强烈抑制根对硝态氮的吸收。这也是沿海的盐害土壤上作物生长不良的原因之一。

3. 根细胞内的阳离子过多抑制了质子（H⁺）的释放

当根吸收了大量的一价阳离子，特别是大量的钾离子后，根细胞内的阳离子接近或达到饱和状态，就会抑制根细胞内质子（H⁺）的生成和对外释放，使得根细胞膜和细胞壁上的质子数量大大减少。由于根细胞膜和细胞壁上的质子数量不足，削弱了与土壤溶液中的阴离子结合能力，导致阴离子吸收效率下降。钾过剩造成的硝态氮和磷的吸收障碍被推测是由于该机制的原因。

4. 过剩的养分离子与其他离子结合生成难溶性化合物，导致土壤中某些离子不足

典型的事例是土壤中过剩的磷酸离子会与铁，锌，铜离子结合形成难溶性的磷酸铁，磷酸锌和磷酸铜等化合物，使得土壤溶液中缺乏这些养分，外观上表现出拮抗现象。土壤溶液中存在多量的铁离子和铝离子的话，容易与磷肥溶解后生成的磷酸离子结合形成难溶性硫酸盐，造成了磷的土壤固定现象，减少土壤中可吸收性磷的数量。

5. 土壤胶体上的交换性碱基寡占现象

石灰或苦土石灰过量施用会造成土壤胶体上吸附保持的交换性碱基给钙离子和镁离子独占了，其他养分的阳离子无法被土壤胶体吸附，容易被灌溉水或降雨带走流失，减少了减少土

壤中这些养分离子的数量，在外观上表现出拮抗现象。

6. 土壤 pH 的影响

石灰或苦土石灰，钙镁磷肥等碱性肥料的过剩施用会使土壤 pH 偏向碱性。在碱性环境下，某些养分的溶解度会受到抑制，能够供植物吸收的离子数量减少，表观上呈现出钙和镁对其他养分的拮抗作用。例如，铁在碱性土壤里，会从易溶性的二价铁转变成三价铁沉淀，减少了可吸收的铁离子数量。

二，养分的相乘作用（协同效应，synergism of nutrients）

养分的相乘作用是指植物对某种养分的吸收会受到共存的其他种养分的促进，即某一养分的存在会使得植物增加对其他养分的吸收量。已经确认在磷和氮，镁与磷等养分之间存在着相乘作用。例如，磷的存在会促进植物对氮的吸收，反过来氮的存在也会促进植物对磷的吸收。植物对磷的吸收量会因镁的存在而有所增加。若有土壤中有适量的铁和锰，植物对钾的吸收亦会受到促进。但是，必须注意的是，相乘作用是土壤中养分适量存在时才出现的现象，若养分过剩的话，反而有可能会转化成拮抗作用。表 2 是主要养分之间的相乘关系一览表。

表 2. 主要养分之间的相乘关系

养分种类	有可能出现相乘作用，促进吸收的养分种类
氮	磷，镁，锰
磷	氮，镁
钾	铁，锰，硝态氮
钙	磷，硝态氮
镁	磷
硼	钙（可以促进植物体内的流转）
氯	钾，钙，镁，硅

通常，多数养分种类在土壤中的含量在一个适当的范围内，一般都可以看到有促进其他养分吸收的作用。而且这种相乘作用多数是双向的，相互表现出吸收量增加的效果。另外，在相乘作用中，多价离子对一价离子的吸收促进影响比较强。

养分吸收的相乘作用的机理尚未完全搞清楚。现在下面的几种假说比较有力。

1. 不同种类电荷的离子之间的形成的电界平衡

适量的阳离子和阴离子可以在根细胞膜上形成和维持电界平衡，使得细胞膜上的离子通道能够发挥出更大的作用，可以将养分更有效地吸收到细胞里。钾对硝态氮，钙对磷和硝态氮的吸收促进作用被推论是该机理在起作用。

2. Viets 影响 (Viets effect)

这是美国的农学家 F. G. Viets 在 1944 年提出的理论。溶液中的钙离子和镁离子等二价离子，特别是钙离子在一定的浓度范围内会促进植物对其他阳离子的吸收。但是，若钙离子浓度超出了某一范围后，高浓度的钙离子反而会抑制植物对其他阳离子的吸收，出现拮抗现象。

3. 植物生长平衡的要求

土壤中某种养分的存在量正好是在适当的范围内，植物能够大量地吸收该养分的情况下，为了保持体内的生长平衡，也会同时积极地吸收其他养分。磷的存在会促进氮的吸收，适量的镁会使得磷吸收量增多，铁和锰会刺激钾的吸收等被推测是植物为了保持生长平衡而出现的现象。

植物的氮吸收量不足时，叶色呈淡绿色，茎枝也细弱。磷含量不足的土壤在施用氮肥时若同时施加适量的磷肥，磷与氮的相乘作用会提高氮的吸收效率，使得肥效更为显著。反过来，磷过多，氮不足的土壤，施用氮肥后也可以发现植物对磷的吸收量也有所增加。

通常，除了废矿山和工业废弃物堆积场所等特殊场合，一般耕地不容易出现微量元素过剩而导致的拮抗现象，养分的拮抗作用绝大部分是由于钾肥，石灰和镁肥的过剩施用造成的。但是，养分间的拮抗作用并不都是坏事。若能有效地利用拮抗作用，可以控制和减轻植物对有害金属的吸收量，在防治重金属污染上有一定的效果。例如，施用石灰可以减轻酸性土壤的活性铝，铜，锰，镉等有害金属的危害，钾肥的过剩施用可以抑制植物对放射性铯的吸收，减少农作物中的放射性物质的浓度。

植物具有能够吸收超出自身生长所需养分的能力。通常，随着土壤中的养分增多，植物吸收的养分量也随之增加，甚至超出了自身生长所需的数量。这种现象称之为养分的过剩吸收。尤其是植物对钾的过剩吸收现象特别显著。植物对钾的需求量一般来说要比氮低很多，但是常用的复合肥多是 15-15-15 之类氮磷钾三大养分含量相同的肥料。若长期使用这类复合肥，钾的施用量就会大大超出了植物的需求量，最容易引起过剩吸收。磷与氮的关系也是一样，但是磷施入土壤后容易与铝和铁等离子反应生成难溶性磷酸盐，可供植物吸收利用的磷数量会减少很多，所以磷的过剩吸收现象不易出现。

对于植物来说，氮磷钾的过剩吸收具有一定的好处。在旺盛生长阶段需要大量养分时，若土壤中的养分供给不足，可以将储存在体内的养分流转到新梢新叶等急需养分的组织器官来补充需求。但是，过剩吸收，特别是钾的过剩吸收会因为拮抗作用减少钙，镁，磷和硼的吸收量，严重时会引起这些元素的缺乏症状，需要加以注意。另外，家畜粪尿堆常常含有多量的钾，若化肥与家畜粪尿堆肥一起施用的话，容易出现钾的过剩，影响其他养分的吸收。因此，在施用家畜粪尿堆肥时要注意钾的过剩引起的拮抗作用。