

File No. 57

硝态氮与培养液栽培

读者有没有详细看过水耕栽培等使用的液体肥料配方？不利用土壤中的养分，只靠液体肥料所含的养分来供给作物生长的栽培方式统称为营养液栽培。营养液栽培所使用的液体肥料，除了微量元素之外，基本上就是硝酸钾，硝酸钙，磷酸二氢钾，磷酸二氢铵这 4 种化肥加上硫酸镁或硝酸镁按照一定比例调配而成的。当然，使用的肥料是 100%水溶性的原料。但是尿素和硫酸铵也可以 100%溶于水，为什么就不能用于配置营养液栽培用的液体肥料呢？

其理由是在于植物根对养分的吸收特性。通常，根只能吸收离子态的养分，未能形成离子的养分基本上是不能被根吸收的。另外，根对离子态的养分也并不是无条件无差别地吸收，而是有选择性地吸收利用。

根能够吸收养分的机理是在根细胞膜上存在有离子通道 (ion channel) 和离子转运蛋白 (ion transporter) 这 2 种运送装置，可以将外界的离子运送入根细胞内。这 2 种装置都是由蛋白质构成的，只存在于细胞膜上。

离子通道是一群特殊蛋白质的总称，它们贯穿了细胞膜形成通道，能够让外部的离子通过蛋白质通道进入到细胞内。每种离子都有其专用的蛋白质通道。离子通道的结构是在蛋白质分子里存在有被称作门 (gate) 的部位，当门被打开后外部的离子就可以通过蛋白质的细孔 (pore) 流入到细胞内。外部的离子通过离子通道进入到细胞内是通过被动扩散方式进行的，不需要消耗代谢能量。

离子转运蛋白也是存在于细胞膜上的一群特殊蛋白质的总称，每种离子都有其对应的离子转运蛋白。离子转运蛋白运送离子进入细胞内的方式是先将蛋白质的离子结合部转向细胞膜的外侧，将离子吸附在结合部后，蛋白质再度转动将离子结合部转入细胞膜的内侧，然后将离子释放到细胞内。因为离子转运蛋白需要在细胞膜的内外侧反复转动才能将离子运送入细胞内，所以离子的运送速度不快 (100~1 万个/秒)，远远比不上离子通道的输送速度 (100 万~1 亿个/秒)。另外，离子通道只能输送低分子的离子进入细胞，而离子转运蛋白不仅可以输送低分子的离子，还可以输送一些分子量较大的氨基酸和有机酸离子进入细胞。但是，离子转运蛋白输送离子是需要消耗代谢能量的，属于主动输送方式。关于离子通道和离子转运蛋白可参考本书中的「植物根的养分吸收机理」这篇文章。

氮肥中的氮养分溶解在水中后的化学状态可以区分为以硝酸离子状态存在的硝态氮 (NO_3^-)，以氨离子状态存在的氨态氮 (NH_4^+)，以尿素分子状态存在的脲态氮 ($(\text{H}_2\text{N})_2\text{C}=\text{O}$)，以氰胺状态存在的氰胺态氮 ($\text{H}_2\text{N}-\text{CN}$) 和有机肥料中以氨基酸和蛋白质的形态存在的有机态氮共 5 种。硝态氮和氨态氮是离子状态，脲态氮，氰胺态氮和有机态氮则是分子状态。根基本上只能吸收离子态的养分，分子状态的脲态氮，氰胺态氮和有机态氮很难得到根的吸收，一般都是被土壤微生物分解成硝态氮和氨态氮之后才能被吸收利用。

硝态氮是通过离子转运蛋白而被根吸收到细胞内的。被根吸收后的硝态氮一部分直接在根细胞里被合成为氨基酸和蛋白质，一部分则被保存在根细胞的液胞里，大部分是以离子状态随着水分一起被移送到地上部的茎叶里用于合成氨基酸和蛋白质。对于植物细胞来说，硝态

氮没有毒性，即使高浓度地积储在细胞里也不会影响到细胞的新陈代谢。因此，可以从叶片和嫩枝中检出一定浓度的硝态氮。想利用有机食品赚钱，拼命吹捧有机栽培的某些人士常常将蔬菜含有的硝态氮作为攻击施用化肥对农作物质量影响的证据。详细解说可参考本书的「蔬菜中的硝态氮」一文。

氨态氮主要是通过离子通道进入到细胞内的。对于植物来说，氨具有毒性，植物细胞内的氨离子浓度超过一定值后就会影响细胞的新陈代谢，引起细胞中毒。因此，吸收到根细胞内的氨离子立即就被合成氨基酸，不会以氨离子的状态储存在细胞内或移动到地上部的茎叶里。

因为硝态氮和氨态氮对植物细胞的毒性不同，植物长期进化的结果，除了水生植物和水稻等部分禾本科植物之外，其他的陆生植物都是喜好吸收硝态氮，对氨态氮的吸收能力并不强。

为了比较硝态氮和氨态氮对植物生长的效果，有很多使用水耕栽培的实验报告。其内容基本上都是，在其他养分完全相同，只是氮养分的化学状态不一样但浓度相同的栽培条件下，植物吸收的硝态氮数量要比氨态氮多，只使用硝态氮的植物生长状况和收获量都要比只使用氨态氮的好很多。特别是处于有利于植物生长的高温强光的环境条件下，硝态氮对植物生长的优势就更加明显。

通常，施用到土壤里的氨态氮会被土壤硝化细菌氧化成硝酸离子。尿素和铵系化肥的硫酸铵，氯化铵施用到土壤后也能与硝酸铵等硝系氮肥一样被植物吸收利用。其理由就是尿素和硫酸铵，氯化铵能够被土壤中的硝化细菌氧化成硝态氮后被植物吸收。但是，在不使用土壤的培养液栽培条件下，肥料中的氨态氮和脲态氮难以被氧化成硝态氮，所以吸收利用率会受到很大的抑制。因此，培养液栽培使用的液体肥料只能是以硝态氮作为主要的氮养分。表 1 是日本一些有代表性的培养液栽培用的液体肥料配方中各种养分的组成和浓度。

表 1. 日本代表性的培养液栽培用液体肥料中各种养分的组成和浓度

液体肥料处方		养分种类和浓度 (me/L)					
		NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg
园艺试验场标准配方		16	1.33	4	8	8	4
千叶县农业试验场草莓配方		11	1	3	6	5	4
爱知县园艺研究所玫瑰配方		13.3	0.5	5.3	6	8	2
大塚化学 A 配方		16.6	1.6	5.1	8.6	8.2	3
池田菠菜配方		16	4	4	10.3	3	4
山 崎 配 方	西红柿	7	0.67	2	4	3	2
	黄瓜	13	1	3	6	7	4
	茄子	10	1	3	7	3	2
	甜瓜	13	1.3	4	6	7	3
	草莓	5	0.5	1.5	3	2	1
	生菜	6	0.5	1.5	4	2	1
	三叶菜	8	0.67	2	4	4	2

注： me/L 是离子浓度，1 升培养液中 1 毫克当量浓度

有趣的是，培养液栽培时只用硝态氮就可以使得作物正常生长，但在培养液中加入少量的氨态氮后往往会有更加促进作物生长的效果。其机理尚未搞清楚，但推测有可能是因为氨态氮的存在可以使培养液的 pH 稳定，氨态氮还会刺激根细胞膜上的离子通道，促进其他阳离子养分的吸收等。但是，生菜等叶菜类在栽培开始时若培养液中含有氨态氮的话，会因过量吸收氨态氮而出现生长不良的现象。因此在栽培开始时培养液里最好不要添加氨态氮，等到作物生长到一定程度后才加入少量的氨态氮来刺激作物生长。

培养液中同时存在氨态氮和硝态氮这 2 种氮养分的情况下，因为根的选择性吸收，培养液中的硝态氮浓度下降较快，氨态氮的浓度就会相对变高。若不及时补充和更新培养液的话，根就会受害，钙的吸收受到抑制，容易引起西红柿的尻腐病和生菜卷曲病等缺钙症状。

另外值得注意的是，根在吸收氨离子时会同时放出氢离子 (H^+)，使得根周围的 pH 值降低，引起根际酸化 (rhizosphere acidification) 现象。在吸收硝态氮时则不会出现这种现象。因此，通过调整培养液中的氨态氮和硝态氮的比率可以间接地控制培养液的 pH 变动。即当培养液的 pH 呈现上升倾向时可以增加氨态氮，而 pH 呈现下降倾向时则可以减少氨态氮的浓度，通过微调整氨态氮的浓度来延长培养液的使用时间。

培养液栽培所使用的硝态氮是从硝酸钾和硝酸钙，硝酸镁等含硝态氮的肥料中来的，而氨态氮则是由磷酸二氢铵 (MAP) 供给的。因此价格要比普通的复合肥料要高出很多。但是，采用固体培养基栽培，特别是培养液土耕栽培方式的话，微生物容易生存和繁殖在固体培养基上，可以像土壤一样对尿素和铵系氮肥进行氨化作用和硝化作用，将尿素和氨态氮分解氧化成硝态氮。所以，在固体培养基栽培上可以按照通常的栽培方式那样使用廉价的尿素和硫酸铵作为氮源来降低肥料成本。