

File No. 53

培养液栽培及其所用肥料的调制管理

培养液栽培是一种将肥料溶解在水里，配置成培养液后用来栽培农作物的栽培方式。培养液栽培的特征是，不需要耕地起畦培垄，施肥，除草等土耕栽培所需的农作业，可以达到水肥一体化，使得灌溉和施肥完全自动化，肥料利用效率高，节省人工，还能够避免土壤病害和连作障害等。特别是能够按照农作物的生育阶段及时供给其最合适的养分和水分，作物生长快，产量高，品质好，是新时代农业的一个象征。现在最流行的植物工厂都是采用培养液栽培方式。

培养液栽培按照有无支撑稳定作物根的培养基来区分为水耕栽培和固体培养基栽培 2 种体系。不使用固体培养基，将作物的根暴露在培养液或空气中的体系称作「水耕栽培」。日本代表性的水耕栽培有 DFT 湛液水耕方式和 NFT 薄膜水耕方式，两者的区分在于栽培装置中作物根系浸渍到培养液中的深浅程度来区分，但也有位于这两种方式中间的栽培方式。还有直接用喷头将培养液喷成雾状到作物根系上的喷雾耕栽培方式。水耕栽培的特点是作物对养分和水分的吸收效率高，生长速度通常要比固体培养基栽培体系快，所以植物工厂基本上都是采用水耕栽培体系。但是，因为没有支撑根的固体培养基，不适宜用于栽培地上茎叶高和重的作物种类，主要用于生长速度快的鸭儿芹，叶用莴苣，青梗菜，小松菜，菠菜等叶菜类。



**DFT 湛液水耕方式**

不用固体培养基，根系全部浸渍在培养液里。养分，水分和氧气全部从培养液中吸取。



**NFT 薄膜水耕方式**

不用固体培养基，根系只有下端浸渍在培养液里。养分和水分从培养液，氧气从空气中取得。



**喷雾耕方式**

不用固体培养基，根系全部暴露在空气里，将培养液喷雾到根系上。养分和水分从培养液，氧气从空气中取得。



**岩棉固基栽培方式**

使用块状岩棉作为固体培养基，将作物栽培在岩棉上。每天数次灌流培养液。养分和水分从培养液，氧气从岩棉空隙的空气中获得。



**固体培养基栽培方式**

使用植物纤维等作为培养基，将作物栽培在培养基上。每天数次灌流培养液。养分和水分从培养液，氧气从培养基空隙的空气中获得。

图 1. 各种主要培养液栽培方式的模式图

使用固体培养基来固定支撑作物根的栽培体系被称为「固基培养液栽培」。最为广泛使用的固体培养基是以玄武岩和高炉矿渣为原料制成的岩棉，但近年来采用椰壳纤维之类的植物纤维和珍珠岩等无机颗粒状矿物为主体的固体培养基有所增多。使用固体培养基除了可以很好地支持固定作物体外，培养基具有很多空隙，透水性和通气性非常好，可以良好的保持培养液，不必恒常地保持冠水状态，能够较好地发挥作物根的水分和养分吸收机能。最大的特征是可以按照传统的土耕感觉来进行栽培。在设施栽培上，特别是西红柿，草莓，黄瓜等生长期长，地上部重的果菜类和玫瑰等花卉的栽培上多使用固基培养液栽培方式。

图 1 是各种培养液栽培方式的模式图。

将培养液栽培和传统的土耕栽培方式相结合的是「培养液土耕栽培」。这种栽培方式的特征是使用土壤作为培养基，不需要特殊的栽培装置，完全可以按照传统的土耕栽培方式来进行栽培。栽培后的培养基不必废弃，可以消毒后再利用。加上可以使用尿素，硫酸铵，氯化铵等通用型化肥，整个生产成本要比标准的培养液栽培低很多。因此，这 30 多年来得到了较大的普及。在中国，培养液土耕栽培方式更简化成了不需要栽培设施的水溶肥栽培方式。关于培养液土耕栽培方式，作者会另起章节来进行解说。

植物生育需要氮磷钾等 16 种必须元素，缺其一种都不可能生长。除了这 16 种必须元素之外，还有钠和硅等有助于植物生长的元素。没有养分，植物就不能生长的道理对于培养液栽培和传统的土耕栽培都是一样的。

但是，如同字面上的意义，培养液栽培就是作物生长所需的养分和水分完全是依靠培养液来供应的。在培养液栽培体系里，对肥料的要求要比传统的土耕栽培严格很多。

首先，使用的肥料必须是可以完全溶解于水的。为了防止堵塞管道，对肥料中的非水溶性物质的含量控制非常严格。

其次，植物根不能直接吸收脲态氮和有机态氮，除了水稻等水生植物外，旱地植物主要是需要吸收硝态氮来维持其生长。另外，氨离子对旱地植物有一定的毒性，氨离子的浓度超出了阈值后，会对植物生长带来危害。所以，培养液栽培主要是使用含有硝态氮的肥料。

第 3 点，培养液栽培，特别是水耕栽培，作物根直接与培养液接触。因为失去了土壤的缓冲作用，培养液的 pH 对根的吸收机能会有很大的影响。所以只能使用化学性中性和弱酸性的肥料。

第 4 点，植物生长所需的微量元素也都必须靠培养液来供给。为了防止添加的微量元素发生反应生成沉淀，最好是使用有机态的螯合微量元素。

因此，培养液栽培一般不能直接使用传统的土耕栽培所用的普通单肥和复合肥，能够使用的肥料种类有很大的限制，当然价格也要比普通肥料高出较多。

以下是用于培养液栽培的主要肥料种类。

1. **氮肥：** 硝酸铵，硝酸钙，硝酸钾，磷酸二氢铵
2. **磷肥：** 磷酸二氢铵，磷酸二氢钾
3. **钾肥：** 硝酸钾，磷酸二氢钾
4. **钙肥：** 硝酸钙，氯化钙（极少使用）

5. **镁肥：** 硝酸镁，硫酸镁

6. **微量元素：** EDTA-铁，EDTA-锌，EDTA-铜，EDTA-锰，硼酸，钼酸铵等。为了节省肥料成本，也有使用硫酸铁，硫酸铜，硫酸锌，硫酸锰之类的无机硫酸盐。

在这个名单中，硝酸钾和磷酸二氢钾，磷酸二氢铵等是含有 2 种养分的肥料。另外，这些肥料不仅是完全水溶性的，除了部分微量元素外，溶解后的水溶液 pH 也都呈弱酸性~中性，不会显示强酸性和碱性。

通常，制定培养液配方是需要预先通过培养液栽培实验，对养分和水分的吸收速度和吸收量进行追踪，还要改变各种养分离子的组成和浓度来获得作物的养分吸收量和收获物的成分分析等数据后，才能确定培养液的最适养分组成和浓度。除了养分组成和浓度之外，还需要注意配置后的培养液的各种成分之间不会发生化学反应而出现沉淀。因为确定培养液的配方需要大量的时间，经费和劳力，所以农户基本上是购入已经配好的培养液栽培专用肥料或根据农协和专业人员推荐的配方来调制培养液。

作物种类不同，其生育所需的养分数量亦有不同。即使是同一作物，也会因品种，栽培时期，生育阶段，温度，光照条件不同而对养分的吸收量有较大的变化。培养液的成分组成应该是配合这些外因来进行调整，但在实际操作中很难做到。通常是调制成同一组成的培养液，再按照生育阶段和栽培时期来对培养液的浓度进行调整来对应。

在调制培养液时，各种肥料混合溶解时有可能发生化学反应而生成沉淀，使得某些养分浓度达不到设计值。特别是含有硫酸根的肥料和含有磷酸的肥料，溶解时生成的硫酸离子( $\text{SO}_4^{2-}$ )和磷酸离子( $\text{HPO}_4^{2-}$ )会与钙离子( $\text{Ca}^{2+}$ )和镁离子( $\text{Mg}^{2+}$ )反应生成难溶性的硫酸钙( $\text{CaSO}_4$ )，硫酸镁( $\text{MgSO}_4$ )和磷酸钙( $\text{CaHPO}_4$ )，硫酸镁( $\text{MgHPO}_4$ )沉淀，不仅影响作物的吸收，还会沉淀附着在储槽和管道中，引起送液系统故障。为了减少沉淀，可以采用各种肥料先分别溶解成原液保管，使用时才进行稀释混合，混合后马上施用的手法。

调制培养液用水的水质也是非常重要的因素。石灰岩地区等常见的硬水含有多量的钙离子和镁离子，在调制培养液时容易产生沉淀。流经矿山地带的河流和井水常常含有高浓度的金属离子，调制成的培养液容易使作物出现微量元素过剩障碍或有害元素障碍。因此，在决定采用培养液栽培方式时，需要预先对所用水源的水质进行调查，不能使用含有过多金属离子和有害物质的水来调制培养液。

培养液的管理也是一个重要问题。使用岩棉和有机纤维质培养基的「固基培养液栽培」方式通常多采用灌流方式，培养液不循环回收使用。不使用固体培养基的「水耕栽培」方式则采用循环给液方式，需要将培养液进行回收后循环使用。因此，在培养液的循环使用管理上必须密切注意以下的事项。

### 1. 培养液的浓度和 pH 的变化

作物吸收的养分和水分量与培养液的养分组成和浓度一致时，培养液的组成和浓度不会发生变化，只需要及时补充被作物吸收了的液量即可。但是，作物的养分和水分吸收量会因生育状态，生长阶段，环境条件等出现变化。

气温和日照量会影响作物叶的水分蒸发速度，在一定程度上控制了根的水分吸收量，使得

培养液的浓度发生变化。作物对各种养分的吸收速度和吸收量有所不同，亦会导致培养液中某些特定元素被吸收过量。这些因素都会改变培养液中的阳离子和阴离子的平衡，加上根释放出的根酸和根腐败时发生的有机酸等，循环使用后回收的培养液通常会倾向酸性。

因此，必须经常对回收的培养液的养分浓度和 pH 进行监控，及时进行调整。主要的监控和调整项目是：

① 用 EC（电导率，Electro Conductivity）为指标对培养液的养分浓度进行监控和调整。因为培养液的导电能力与溶解在其中的离子数量成正比的相关关系，所以可以通过电导率来推测培养液中的养分浓度，及时补充被吸收了的养分。

② 培养液的 pH 需要恒常地维持在 5.5~7.0 之间。需要调低 pH 时可以使用稀硝酸或稀磷酸，需要调高 pH 时则使用碳酸氢钾。在调整 pH 时必须注意的是，调整幅度大于 1.0 的话，会给根带来较大的影响，尽量隔开时间分成数次微调，以免给作物造成不良影响。

若有条件的话，在培养液储槽上设置自动监测装置，以便及时进行调整（图 2A）。

## 2. 培养液的杀菌消毒

培养液栽培都是在栽培设施内进行的，与通常的土耕栽培方式相比不易发生病原菌感染。但是，操作人员的出入，栽培用资材和种苗的搬入，设施地面粉尘的飞散等也有可能带入病原菌。一旦发生了病害，病原菌可以通过培养液传播，很快就会蔓延到整个栽培设施内。因此，回收的培养液在循环使用之前必须进行杀菌消毒。

培养液杀菌消毒方法有加热，紫外线，过滤，臭氧等，性价比最高的是过滤+紫外线杀菌方法（图 2C）。

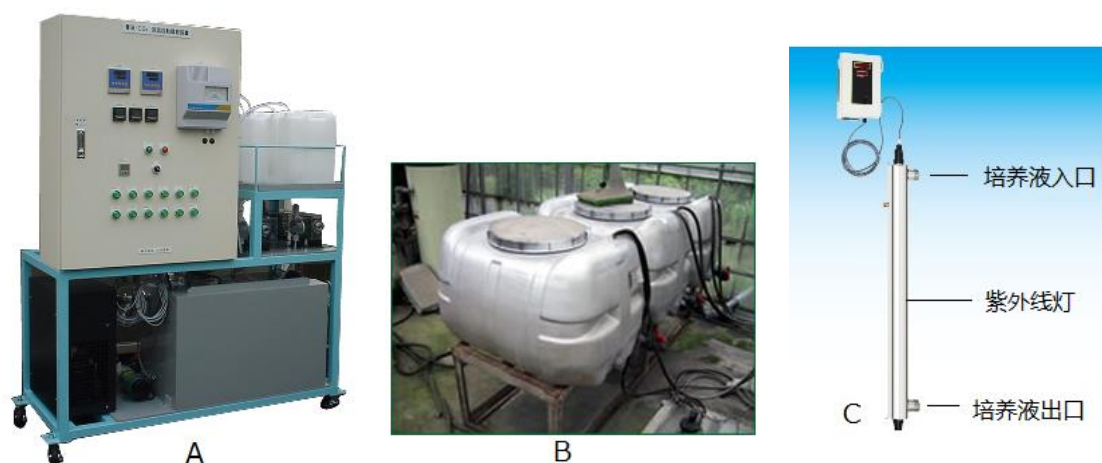


图 2. 培养液栽培使用的各种装置

A：培养液的 EC·pH 自动监测装置和过滤装置， B：培养液储槽， C：紫外线杀菌装置

## 3. 培养液的更换

培养液长期循环使用，只是进行补充，不更换的话，根分泌的有机酸等会不断积储在培养

液里，导致培养液的养分组成发生紊乱。发生病害时亦有可能被病原菌污染，所以必须定期更换培养液。

通常，叶菜类经过一茬后，培养液中会积累了较多的杂质，容易引起下一茬蔬菜的生长不良。所以，栽培期短的蔬菜类基本上是每茬收获后进行更换培养液。西红柿之类长期栽培和收获的作物最好是定期（2~3 个月）更换一次培养液。当然，发生病害后一定要全部更换培养液。

#### 4. 废弃培养液的处理

日本的培养液栽培设施并不属于「防止水质污浊法」法律的管制对象。但是，使用后的培养液仍含有较多的无机养分，若不经处理直接排放到池塘和河流等或强行渗透到地下的话，有可能造成水质污染。在废弃的培养液中，硝态氮和磷是最容易引起污染的成分。通常，将废弃培养液排放到水田里或设置专用的处理水池，让水稻等水生植物和微生物等进行自然脱氮和脱磷是处理成本低，维持管理负担小的较好方法。