一 、 概 述

（一）国内外无土栽培发展概况

1. 什么叫无土栽培？

根据国际无土栽培学会的规定，凡是不用天然土壤，而用基质（或仅育苗时用基质，定植以后不用基质）进行栽培作物的方法，统称为无土栽培。

无土栽培的主要优点是能避免土壤传染的病虫害及连作障碍，这是目前温室生产中存在的主要问题之一。与土壤栽培相比，无土栽培还具有减少农药用量、提高作物产量和品质、省肥省水省工，以及可以在一切不适于一般农业生产的地方进行作物栽培的特点，同时无土栽培可以减轻劳动强度，使妇女和老年人也能从事这种生产活动。

无土栽培的缺点是一次性设备投资大,营养液的配制、调整与管理都要求有一些专门知识，需要通过培训才能掌握。

2. 近年来国外发达国家无土栽培技术取得哪些进展？

无土栽培技术发明于 19 世纪中叶，但由于成本较高，一直未在商业性生产上得到大规模的应用，直至第二次世界

需要全本请访问 www.ertongbook.com

大战期间，出于军事需要，美军才开始应用无土栽培技术进行蔬菜生产。但无土栽培技术真正在商业性蔬菜、花卉生产上得到大面积的应用则始于 20 世纪 60 年代末。目前发达国家温室作物生产 90% 是采用无土栽培的方法。发达国家无土栽培技术新进展大致可归纳为以下几点：

（1）育苗基质的改变　西欧国家过去认为草炭育苗最好，但在岩棉生产技术大量推广后改用岩棉育苗，现在则认为椰子壳纤维育苗最好，因此向越南等地大量购买椰子，而我国海南的椰子壳纤维还没得到充分开发利用。

（2）营养液自动调整系统　无土栽培营养液的配制在发达国家已实现自动化和计算机控制，以及能根据太阳辐射来调整植物所需的元素，但营养液全部是用无机化肥配制的，要生产绿色食品还有相当的距离。

（3）机器人移苗与灌溉　现在蔬菜、花卉和苗木生产发展迅猛，育苗中移苗需要很多人工，由于计时工资不断增长，美国研制开发了移苗专用机器人。所谓机器人实际上是个机器手，前面有两个类似大头针的传感器，具有视觉和触角的综合功能，能将小苗孔盘上的幼苗移栽到大苗孔的苗盘上，平均 1.2 秒移 1 株苗。同时能把好苗和坏苗分开，将坏苗抛在一边，专门移栽好苗。

机器人还能指挥灌溉，新式的育苗盘底部没有排水孔，机器人能根据苗盘的需水量，定量灌溉，没有多余的水流出，节约用水，又保持环境清洁。

（4）无土栽培基质的多样性　无土栽培基质应用最广泛的首推草炭和岩棉，但由于草炭成本较高并且不能再生，岩棉使用后不能分解易导致环境污染，目前各国都在寻找草炭、岩棉的替代物以期降低生产成本和防止环境污染，如英

国采用椰子壳纤维、加拿大用锯末、以色列用火山岩等均取得良好的结果。

3. 我国无土栽培主要采用哪些方式？

在我国无土栽培的发展过程中，主要采用以下几种方式：营养液膜技术（NFT）、深液流技术（DFT）、浮板毛管水培法（FCH）、岩棉培、袋培、槽培、鲁 SC 无土栽培法和有机生态型无土栽培技术。目前在我国应用较广泛的是有机生态型无土栽培技术和浮板毛管水培法。

浮板毛管水培法是由浙江农业科学院和南京农业大学开发研制的，它是在深液流法的基础上，增加一块厚 2 厘米、宽 12 厘米的泡沫塑料板，根系可以在泡沫塑料浮板上下生长，便于吸收水中的养分和空气中的氧气。

有机生态型无土栽培技术是由中国农业科学院蔬菜花卉研究所开发研制的，它是采用槽培的方式，生产过程中主要使用有机肥，肥料均以固体形态施入，灌溉时只灌清水，不使用传统无土栽培的营养液，耗能低，灌溉排出液对环境无污染。因此，称为有机生态型无土栽培，这种方法生产成本低，产品质量符合绿色食品要求，受到广大生产者的欢迎。

4. 主要无土栽培系统的投资是多少？

我国主要无土栽培系统每亩（亩为非法定计量单位，1 公顷 = 15 亩，下同）一次性投资和运转成本（1997）见表 1。

世界农业发展的总趋势是向有机农业发展，无土栽培也应顺应这个发展趋势，把有机农业与无土栽培紧密地结合起

表 1 主要无土栽培系统的一次性投资和运转成本
（单位 元／亩）

无土栽培系统	一次性投资	每年运转成本（肥料）
有机生态型无土栽培	4 300	1 500
槽培	5 200	4 000
袋培	5 500	4 000
岩棉培	7 900	4 000
鲁 SC 无土栽培	5 400	3 500
营养液膜栽培	15 000	3 500
浮板毛管水培	18 000	3 500
深液流栽培	15 000	3 500

来，这样才能使我国的无土栽培在全世界发展中，立于不败之地。

（二）无土栽培的分类

5. 无土栽培可以分成哪些类型？

无土栽培的类型和方法很多，目前还没有一个统一的分类方法。按照是否使用基质，可分为基质栽培和无基质栽培；按其消耗能源多少和对环境生态条件的影响，可分为有机生态型和无机耗能型无土栽培。现简要介绍如下：

（1）无基质栽培　这种栽培法，一般是除了育苗时采用基质外，定植后不用基质，它又可分为水培和喷雾栽培两大类。

水培：定植后营养液直接和根系接触，它的种类很多，我国常用的有营养液膜法、深液流法和浮板毛管水培法等。

喷雾栽培：简称雾培或气培，它是将营养液用喷雾的方

法直接喷到植株根系上。植株根系是悬挂在容器中的内部空间，通常是用聚丙烯泡沫塑料板，在其上按一定的距离钻孔，将植株根插入孔内，根系下方安装自动定时喷雾装置，营养液循环利用，这种方法可同时解决根系吸氧和吸收营养元素的问题，但因设备投资大，生产上很少应用，大多作为展览厅展览用。

（2）基质栽培　基质栽培是植物通过基质固定根系，并通过基质吸收营养液和氧气，它又可分为有机基质和无机基质两大类。

有机基质：应用草炭、锯末、树皮、刨花、稻壳、菇渣、蔗渣和椰子壳纤维等，均可作为无土栽培基质。

无机基质：无机基质的种类很多，应用最广泛的首推岩棉，在西欧北美基质栽培中占绝大多数。煤渣在我国北方无土栽培中的应用与日俱增，珍珠岩和蛭石在我国也是常用基质，陶粒则大多数在种花时使用，沙是应用最早的无土栽培基质之一，现在仍有不少地区还在应用。

基质可以单独使用，也可以混合使用。把有机、无机基质混合，可以增进使用效果。

（3）有机生态型和无机耗能型无土栽培

有机生态型无土栽培：是指主要施用有机肥，用固态肥代替营养液，灌溉时只浇清水，排出液对环境无污染，能生产出合格的绿色食品。

无机耗能型无土栽培：是指全部用化肥配制营养液，营养液循环中耗能多，灌溉排出液污染环境和地下水，生产出的食品，硝酸盐含量超标，不符合绿色食品的生产要求。

毫无疑问，有机生态型无土栽培技术将会在我国无土栽培的发展中日益显示出它的作用和优越性。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

6. 我国无土栽培的发展前景如何？

我国无土栽培起步较晚，但近年来发展速度较快。农业部在“七五”和“八五”两个五年计划期间，都把无土栽培列为重点攻关课题，组织北京、南京和杭州等地的重点高等院校和研究机构，进行适合我国国情的无土栽培技术研究和推广，取得了较好的成绩。1985 年全国无土栽培面积不到 15 亩，1989 年发展到 3 000 亩，起到了良好的示范作用，获得了良好的经济效益、社会效益和生态效益。从以上的发展数字来看，最近几年无土栽培面积是成倍上升的。今后几年到 20 世纪末，这个面积还会翻一番，甚至更快地发展。但和发达国家相比，这个面积仍然是很小的。日本 1993 年无土栽培面积为 9 135 亩，荷兰则达 12 万亩以上。

农业是水资源最大的利用者，也是水资源最大的浪费者。我国是水资源极其缺乏的国家，近几年来我国华北地区地下水平均每年下降 1.6 米，目前北京地区的缺水程度甚至比以色列还严重，而无土栽培则可比土壤栽培节水达 70% 以上。

随着我国工业化进程的推进，1986—1995 年的几年间，全国农业结构调整和灾害损毁耕地 7 000 多万亩，非农业建设占用耕地 2 960 万亩，耕地面积不断大幅度减少，导致人地矛盾越来越尖锐，但我国存在大量非耕地（如黄河旧河道滩涂），可采用无土栽培技术来发展蔬菜生产，这样既扩大了土地面积，又避免了粮菜争地的矛盾。

近年来，随着经济的发展，我国温室、大棚等设施栽培获得了异常迅猛的发展。目前我国温室、大棚等设施栽培面

积达 1 000 多万亩，但通常温室连续种植 3 年以上，都会不同程度地出现蔬菜产量、品质和效益下降的连作障碍。为了维持温室蔬菜一定的产量水平，目前国内普遍采用的措施是不断增加化肥用量和不加节制地大量使用农药，从而造成生产成本不断上升，环境污染不断加重，而蔬菜品质则不断下降的恶性循环。而在国外发达国家则普遍采用现代无土栽培技术来克服温室土壤连作障碍。通常无土栽培可比土壤栽培节省肥料用量 50％～60％，减少农药用量 50％以上。

1985—1995 年 10 年间我国菜田播种面积增加 105％，蔬菜产量增加了 106％，但平均单产仅增加 3％。目前我国温室番茄、黄瓜产量平均仅为 10～15 千克／米^2，而国外发达国家温室无土栽培番茄、黄瓜产量均可达 50～60 千克／米^2，因而通过温室蔬菜无土栽培综合技术的研究，将可大大提高我国温室蔬菜生产的产量和效益水平。

综上所述，推广温室蔬菜无土栽培技术，将大大减少我国蔬菜的用水量，扩大土地面积，避免粮菜争地，缓解人地矛盾，降低农药、化肥的使用量，减轻环境污染，克服温室连作障碍，改善蔬菜品质，并大大提高经济效益。

“九五”期间，我国已将“工厂化高效农业示范工程”作为国家重大科技示范工程项目，由国家科委立项，组织全国攻关。随着这一项目的顺利实施，将把我国无土栽培的整体水平推上一个新台阶。无土栽培在我国具有广阔的发展前景。

二、营养液

营养液是无土栽培的重要条件，营养液的配制与施用是无土栽培的关键技术，它不仅直接影响到作物的生长发育及产量，而且关系到能否节约用肥，降低生产成本和提高经济效益的问题。

（一）营养液的配制原理

7. 营养液浓度的表示方法有哪些？

营养液浓度的表示方法很多，通常是：用百万分之若干份的营养元素表示，用每升中的毫摩尔数表示，用每升或每千升水中的盐分克数表示，还有用电导率和大气渗透压表示等。

（1）用10^{-6}表示浓度　可用质量表示，例如1×10^{-6}等于1微克／克(每克中的1微克）；可以用质量体积表示，例如1×10^{-6}等于1毫克／升(每升中1毫克）；也可用体积表示，例如1×10^{-6}等于1微升／升(每升中1微升)。

（2）用毫摩尔浓度表示　1升溶液中所含溶质的摩尔数，称为该溶液的摩尔浓度。因为营养液的浓度比较低，所以一般采用毫摩尔浓度（毫摩尔／升）表示。如每升溶液中164克的硝酸钙〔$Ca(NO_3)_2$〕为1摩尔／升浓度，164毫克

为 1 毫摩尔／升浓度，或者每升溶液中 40 克的钙为 1 摩尔／升浓度， 40 毫克钙为 1 毫摩尔／升。

（3）用电导率表示浓度　　电导率代表营养液的总浓度。电导率的符号为 EC，其单位为西／厘米。由于营养液的浓度很低，一般用毫西／厘米表示。

（4）用渗透压表示浓度　渗透压表示在溶液中溶解的物质分子运动而产生的压力。溶解的物质越多，分子运动产生的压力越大。营养液适宜的渗透压因植物而异。根据斯泰纳的试验，当营养液的渗透压为 50.66～161.12 千帕时，对生菜的水培生产无影响；为 20.27～111.46 千帕压力时，对番茄的水培生产无影响。渗透压与电导率一样，只用以表示营养液的总浓度

8. 决定营养液组成的依据是什么？

营养液配方的由来是根据作物能在其中正常生长发育，且有较高的产量，从而对植株进行营养分析，了解各种大量元素和微量元素的吸收量，据此，利用不同元素的总离子浓度及离子间的不同比率而配制成，并通过作物栽培，又以作物栽培的结果，再对营养液组成进行修正和完善。

由于科学家使用的方法不同，因而提出的营养液的组成理论也不同。目前，世界上主要有三派配方理论，即日本园艺试验场提出的园试标准配方、山畸配方和斯泰纳配方。

园试标准配方是日本园艺试验场经过多年的研究而提出的，是通过分析植株对不同元素的吸收量，来决定营养液配方的组成。

山畸配方是日本植物生理学家山畸以园试标准配方为基

础，以果菜类为材料而提供的。其根据作物吸收的元素量与吸水量之比，即吸收浓度（n/w 值）来决定营养液配方的组成。

斯泰纳配方是荷兰科学家斯泰纳依据作物对离子的吸收具有选择性而提出的。斯泰纳营养液是以阳离子（Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}）之物质的量和与相近的阴离子（NO_3^-、PO_4^{3-}、SO_4^{2-}）之物质的量和相等为前提，而各阳、阴离子之间的比值，则是根据植株分析得出的结果而制订的。根据斯泰纳试验结果，阳离子之比值为：$n(K^+):n(1/2Ca^{2+}):n(1/2Mg^{2+})=45:35:20$，阴离子比值为：$n(NO_3^-):n(1/3PO_4^{3-}):(1/2SO_4^{2-})=60:5:35$ 为最适。

9. 怎样调整营养液的电导度？

电导度（简称 EC）是溶液总含盐量的导电能力。

由于无土栽培所用的营养液含盐量的浓度很低，导电能力也低，因此电导度常用其千分之一来表示，单位为毫西／厘米。

在开放式无土栽培系统中，营养液的电导度一般控制在 2～3 毫西／厘米。在封闭式无土栽培系统中，绝大多数作物其营养液的电导度不应低于 2 毫西／厘米，如果在系统中不能对营养液的电导度进行测定。当电导度低于 2 毫西／厘米时，营养液中就应补充足够的营养成分使其电导度上升到 3 毫西／厘米左右。这些补入的营养成分可以是固体肥料，也可以是预先配制好的浓溶液（即母液）。

番茄的弱光条件下适宜较高的电导度，而当光照充足、蒸腾增加时则降低到 3 毫西／厘米。叶菜类栽培最好采用较

低的 EC 值，如 2 毫西／厘米，甚至在光照充足时 EC 值可以更低。英国温室园艺研究所曾进行番茄的长季节栽培，他们指出 EC 值在 2～10 毫西／厘米的范围内番茄均能生长，然而较高的 EC 值高于 4 毫西／厘米时番茄的总产量显著降低，但较高的 EC 值（小于 6 毫西／厘米）能非常有效地抑制植株过旺的营养生长。据报道：岩棉培黄瓜适宜的 EC 值是 2～2.5 毫西／厘米，岩棉培番茄适宜的 EC 值为 2.5～3 毫西／厘米(该 EC 是指岩棉基质中营养液的电导度）。

10. 怎样调整营养液的酸碱度？

营养液的酸碱度通常采用 pH 来表示。当溶液呈中性时，则溶液中 H^+和 OH^- 相等，此时的 pH 为 7.0；当 OH^- 占优势时，pH＞7.0，溶液呈碱性；反之，H^+ 占优势时，pH＜7.0，溶液呈酸性。

pH 的测定，最简单的方法可以用 pH 试纸进行比色，但这只能测出大概的范围，现在国内市场上已有多种进口或国产手持式的 pH 仪，测试方法简单、快速、准确，是无土栽培必备的仪器。

大多数植物的根系在 pH5.5～6.6 的弱酸性范围内生长最好，因此无土栽培的营养液 pH 也应该在这个范围内。在营养液膜栽培系统中，营养液的 pH 通常应保持在 5.8～6.2 的范围内，绝不能超出 pH5.5～6.5 的范围。pH 过高（大于 7.0）会导致铁（Fe）、锰（Mn）、铜（Cu）和锌（Zn）等微量元素沉淀，使作物不能吸收；pH 过低（小于 5.0），不仅腐蚀循环泵及系统中的金属元件，而且使植株过量吸收某些元素而导致植株中毒；pH 不适宜，植株的反应是根端

需要全本请访问 www.ertongbook.com

发黄和坏死，然后叶子失绿。

通常在营养液循环系统中每天都要测定和调整 pH，在非循环系统中，每次配制营养液时应调整 pH。常用来调整 pH 的酸为磷酸或硝酸，为了降低成本也可使用硫酸；常用的碱为氢氧化钾。表 2 列出了每吨营养液从 pH7.0 降到 pH6.0 所需酸的用量。在硬水地区如果用磷酸来调整 pH，则不应该加得太多，因为营养液中磷酸超过 50 微升／升会使钙开始沉淀，因此常将硝酸和磷酸混合使用。通常，只要向营养液加酸时小心谨慎，就不会发生营养液 pH 低于 5.5 的现象。

表 2 每吨营养液从 pH7.0 降到 pH6.0 所需酸的用量（毫升）

酸	98%硫酸（H_2SO_4）	63%硝酸（HNO_3）	85%磷酸（H_3PO_4）	63%硝酸（HNO_3）：85%磷酸（H_3PO_4）（体积比 1:1）
营养液	100	250	300	245

11. 营养液中各营养元素的浓度范围是多少？

合适的无土栽培营养液配方应当提供满意的总离子浓度，维持营养液的平衡，表现出适当的渗透压和提供可接受范围内的 pH 反应。营养液中可接受的营养元素浓度见表 3，营养液及成分的浓度范围见表 4。

表 3 营养液中可接受的营养元素的浓度

元素	浓度（毫克/升）		元素	浓度（毫克/升）	
	范　围	平　均		范　围	平　均
氮（N）	150～1 000	300	铁（Fe）	2～10	5
钙（Ca）	300～500	400	锰（Mn）	0.5～5	2

（续）

元素	浓度（毫克/升）		元素	浓度（毫克/升）	
	范　围	平　均		范　围	平　均
钾（K）	100～400	250	硼（Be）	0.5～5	1
硫（S）	200～1 000	400	锌（Zn）	0.5～1	0.5
镁（Mg）	50～100	75	铜（Cu）	0.1～0.5	0.5
磷（P）	50～100	80	钼（Mo）	0.001～0.002	0.001

表 4　营养液及成分的浓度范围

成　分	最　低	适　中	最　高	单　位
营养液	1 000	2 000	3 000	毫克/升
	0.1	0.2	0.3	%
	20	35	60	毫摩尔/升
	50.66	81.06	152.00	千帕
硝态氮（NO_3^--N）	56	224	350	毫克/升
铵态氮（NH_4^+-N）	—	—	56	毫克/升
磷（P）	20	40	120	毫克/升
钾（K）	78	312	585	毫克/升
钙（Ca）	60	160	720	毫克/升
镁（Mg）	12	48	96	毫克/升
硫（S）	16	64	1，440	毫克/升
钠（Na）	—	—	230	毫克/升
氯（Cl）	—	—	350	毫克/升

（二）营养液的制备与调整

12. 怎样制备营养液？

营养液的制备，没有绝对的原则，一般是容易与其他化合

物起化合作用而产生沉淀的盐类，在浓溶液时不能混合在一起，但经过稀释后就不会产生沉淀，此时可以混合在一起。

在制备营养液的许多盐类中，以硝酸钙最易和其他化合物起化合作用，如硝酸钙和硫酸盐混在一起容易产生硫酸钙沉淀，硝酸钙的浓溶液与磷酸盐混在一起，也容易产生磷酸在一个容器里。

在大面积生产时，为了配制方便，以及在营养液膜系统中自动调整营养液，一般都是先配制浓液（母液），然后再进行稀释，因此这里就需要两个溶液罐，一个盛硝酸钙溶液，另一个盛其他盐类的溶液。此外，为了调整营养液的 pH 范围，还要有一个专门盛酸的溶液罐，酸液罐一般是稀释到 10% 的浓度，在自动循环营养液栽培中，这 3 个罐均用 pH 仪和 EC 仪自动控制。当栽培槽中的营养液浓度下降到标准浓度以下时，浓液罐会自动将营养液注入营养液槽；此外，当营养液中的 pH 超过标准时，酸液罐也会自动向营养液槽中注入酸。在非循环系统中，也需要这 3 个罐，从中拿出一定数量的母液，按比例进行稀释后灌溉植物。

浓液罐里的母液浓度，一般比植物能直接吸收的稀营养液浓度高出 100 倍，即浓液与稀液比为 1∶100。

13. 怎样调整营养液？

不同的植物种和品种，具有不同的营养需要，特别是对氮、磷和钾，同一植物在其生长的不同阶段，常用不同营养液浓度。番茄生长的幼苗期、结果盛期和生长后期，应该用三种不同的营养液浓度，其他作物也与此类似。以氮、钾比为例，在番茄生长初期，氮和钾的吸收比例为钾：氮 = 2∶1

（按重量计算）随着果实的增大，氮的吸收量减少，而钾的吸收量大大增加，因此其吸收比例为钾：氮＝2.5∶1；当第一穗果采收后，植株又开始迅速生长，氮和钾的吸收量增加，钾 氮的吸收比例下降到 2∶1。

在封闭式无土栽培系统中，营养液能进行循环利用。由于作物在生长发育过程中，根系吸收营养元素，同时也会释放一些有机酸和糖类物质，使营养液的酸碱度和成分发生变化，必须及时加以调整，才能满足作物正常生长的需要。营养液的电导度太低时，应加入已配制好的母液；反之 EC 值太高，则应加清水进行调整。电导度（EC）的测量比较简单，但电导度表示的是溶液的总盐浓度，而不表示当时溶液中大量元素和微量元素的浓度。因此要定期进行化学分析，一般大量元素（氮、磷、钾、钙、镁、硫）是每 2～3 周分析一次，微量元素（氯、硼、铜、铁、锰、钼、锌）是每 4～6 周分析一次，然后根据分析结果进行调整。

一些缺乏化学分析手段的无土栽培生产单位，也可采用以下方法来管理营养液：第一周使用新配制的营养液，在第一周末添加原始配方营养液的一半，在第二周末把营养液罐中所剩余的营养液全部倒掉，从第三周开始再重新配制新的营养液，并重复以上过程。这种管理方法非常简单。

尽管开放式无土栽培系统中营养液不需进行监测，但栽培基质则需进行监测。当灌溉水盐度较高，或无土栽培系统设置在高温、强日照地区时，生长基质的监测就尤其重要。为了防止基质中盐的累积，每次灌溉时都应有一小部分（20％）的营养液从栽培床中排出。如果从栽培床中排出水分的盐度达到 3 000 毫克／升或更高时，则必须利用清水来冲洗栽培床。

三、水培

14. 哪些因素影响水培营养液中的氧气含量？

现在发展的各种水培方法，都是为了解决植物吸收养分、水分和吸收氧气的矛盾而设计的。各种方法都有各自的特点。

水培的设施系统不同，则其营养液的供氧方式也不同，深液流法植物的根系浮在营养液中，吸收营养元素的同时也吸收氧。如根系供氧不足，植物就不能正常吸收营养元素，生长缓慢甚至死亡。营养液膜法(NFT)，植物根系的上半部处在潮湿的空气中，下半部浸在营养液中吸收养分和水分，也能吸收部分氧。雾培法则能同时兼顾吸收营养元素、水分和氧，但对设备运转能力要求较高。因此在考虑循环利用营养液以满足根系对养分和水分吸收的同时，应该注意到营养液中氧的溶解度是否可以满足植物的需要，才能使作物生长良好。

但温度与营养液中饱和的氧溶解量有密切的关系。营养液的温度愈高，饱和的溶氧量愈低。如 20℃时营养液中氧的饱和溶量为 6.42 毫升／升(9.2 微克／毫升),到达 30℃时则降到 5.34 毫升／升(7.6 微克／毫升）。因此在亚热带地区的夏季，即使有很好的营养液加氧的方法，也会由于液温的升高，把氧大量从营养液中驱赶出去，使植物根系得不到所需要的氧，因而生长不良或死亡。

作物根系对氧的消耗量（吸收量）除了因作物的种类不同

而异外，与温度的升高也有关。以黄瓜为例， 1 克根每小时在 100 毫升溶液中，温度 20℃耗氧量为 0.18 毫升；温度上升到 30℃时，则需 0.41 毫升，增加约 2.5 倍。此外，耗氧量与作物的生育期也有关。网纹甜瓜于液温 23℃时，每株每天吸液量为 600 毫升。耗氧量在开花期每天为 170.2 毫升，果实出现网纹时为 516 毫升（吸液量 990 毫升／天),收获期耗氧量减到 422 毫升（吸液量为 810 毫升／天),耗氧量约为吸收营养液量的一半。

15. 怎样增加营养液中的氧气含量？

作物根系发育需要有足够的氧气供给，虽然无土栽培显著地改善了作物根系的环境条件，但在无土栽培时尤其是营养液栽培时，如处理不当，也易产生缺氧，影响根系和地上部分的正常生长发育。

在营养液循环栽培系统中，根系呼吸作用所需的氧气主要来自营养液溶解的氧。增氧措施主要是利用机械和物理的方法来增加营养液与空气的接触机会，增加氧在营养液中的扩散能力，从而提高营养液中氧气的含量。常用的加氧方法有落差、喷雾、搅拌、压缩空气四种（图 1)。

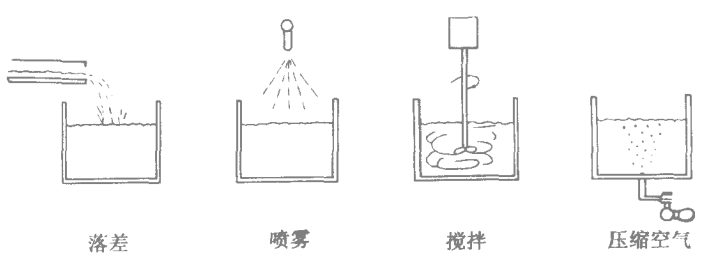


图 1 营养液中加氧的方法

需要全本请访问 www.ertongbook.com