## 讨 论

一、无土栽培的设置栽培形式是进行栽培的主要部分，它与栽培投入和产出有直接关系。如果栽培设置的产出虽然高，但投入也高，那么在当前生产使用上会受到很大限制。条件不同，投入和产出的实际意义，也存在很大出入。有许多先进的无土栽培设置形式，当前在我国还不能推广应用，关键在于我们的条件与别的国家不同，因此，开展这方面的研究工作，是发展我国无土栽培的前提条件，也是我们立题进行多年研制“鲁SC—Ⅱ型”无土栽培设置及其配套技术的主要目的。

二、人工为作物根系提供良好的水、肥、气条件，是无土栽培取得高产的优势所在。从“鲁SC—Ⅱ型”无土栽培设置的性能来看，达到了对作物根系水、肥、气改善和协调供应的要求。营养液在使用过程中，pH、电导率和大量元素成分浓度呈上升趋势。其变化动态规律，虽然多数在适宜值范围之内，但每池营养液使用后期，数值均偏高，是在营养液管理中值得注意的。个别元素，如钙增值偏大，须对配方作进一步调整。

三、3种材料制作的栽培槽体，其结构性能、栽培效益等，均以土制栽培槽居首位，并且土制槽设置形式农民可就地取材，自己动手施工，更容易在当前生产条件下推广。根据近几年在胜利油田、山东省潍坊市、泰安等地推广应用情况来看，土制栽培槽更易为生产接受。水泥制栽培槽体和铁皮槽，虽然成本较高，效益略差，但仍不失其使用意义，可根据条件和要求，因地制宜地选用。

**参考文献**


1 邢禹贤．无土栽培管理与技术．北京：农业出版社，1990

2 郑光华等．蔬菜花卉无土栽培技术．上海：上海科技出版社，1990，5～9

3 晁光伟．农业技术经济学．北京：中国人民大学出版社，1986，75～85

4 Mexwell Benfley. Gorwing Plants without Soil. Hydro—chemical Industries.（PTY），LTD. 1955，60～77


营养液研究

# 营养液EC和pH的调节及增氧措施

蒋卫杰

（中国农科院蔬菜花卉研究所 北京100081）

## 营养液的电导度

### 一、营养液的浓度

营养液的浓度表示法，有用重量法（mg／L）、摩尔法（mol）和毫克当量法（me），这些方法都是在配制营养液时，对每种元素进行准确计算时所必须的方法。但营养液还必须有一个总的浓度，它可以用溶液中盐类总溶解量（TDS）来表示，也可以用渗透压和电导度来表示。由于电导度只需少量溶液，很快就可测定出来，因此在营养液浓度测定中电导度被广为应用。

电导度（Electrical Conductivity，简称EC）是根据溶液中含盐量的多少，其导电的能力不同而测定的。由于无土栽培所用的营养液浓度很低，因此常用其千分之一的浓度来表示，如毫西门子（ms／cm）或毫姆欧（mmho／cm）。目前市场上有售便宜的



© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

便于携带用的电导仪，测定电导度时用的时间短而简单、准确，在营养液栽培的管理中正被广泛地采用着。

现在常用的便携式电导仪（刻度式或数字显示式）均是在标准温度20℃下标定的，即在温度为20℃时的EC等于1，其他温度下测定的EC，均应以此为依据进行校正（表1）。

表1 不同温度下电导度的纠正系数

| 温度（℃） | 纠正系数 | 温度（℃） | 纠正系数 |
|---|---|---|---|
| 5 | 1.490 | 16 | 1.096 |
| 6 | 1.445 | 17 | 1.070 |
| 7 | 1.400 | 18 | 1.046 |
| 8 | 1.385 | 19 | 1.023 |
| 9 | 1.319 | 20 | 1.000 |
| 10 | 1.282 | — | — |
| 11 | 1.246 | 21 | 0.979 |
| 12 | 1.213 | 22 | 0.958 |
| 13 | 1.182 | 23 | 0.938 |
| 14 | 1.152 | 24 | 0.919 |
| 15 | 1.123 | 25 | 0.902 |

从表1的纠正系数也可以看出：在温度低时，营养液的电导度应高些，温度高时则相反。例如在15℃测得EC＝1.8ms／cm，则1.8×1.123＝2.02ms／cm20℃，即15℃时EC1.8ms／cm就相当于20℃时的EC2.02ms／cm。

## 二、营养液中EC的调节

番茄在基质栽培中，营养液的电导度一般控制在2～3ms／cm。在NFT系统中，绝大多数作物其营养液中的EC不应低于2.0ms／cm，如果系统不能对EC进行自动调整，则营养液中的EC每天都应进行测定。当EC值低于2.0时，营养液中就应补充足够的营养成分使其EC上升到3.0左右。这些补入的营养液成分可以是呈固体状态的，也可以是预先配制好的浓溶液（母液）。

如果营养液循环系统能对EC进行自动调整，则绝大多数NFT作物的EC均应设定在2,5ms／cm。

Cooper曾做过NFT番茄的试验，在该试验中营养液中营养元素的供给量是由营养液的EC值及作物的长相来决定的。每次补充肥料的用量、补充肥料的日期以及补充肥料以前的EC值均列于表2。

由表2可知，大约在开始的前4个月，当EC下降到大约2.0时，则每次补充肥料的用量都是相同的。番茄植株在3月中旬进入盛果期并且营养生长旺盛，大约在采收之前3周（采收始于4月8日），植株的长势开始减弱，因此在3月25日增加了N、K、Fe、Mn、B和Cu的用量（尽管当时的EC值仍高达2.5ms／cm），4月1日发现新叶叶色稍淡于老叶的叶色，故进一步追加了Fe的用量，并且在4月11日继续额外增加N、K、Fe、Mn、B和Cu的施用量。通过这几次施肥量的增加，植株生长恢复了正常。此后，每次补充肥料的用量又恢复到以前的水平，并且每次追加的肥料量相等。然而在5月中旬以后，由于新叶叶色变淡，故每次Fe的补充量又增加为常规用量的3倍。

磷酸的施用量取决于溶液的pH值，当pH上升到7.3时，则开始追加磷酸以保持pH在6.0～7.3的范围内。表3展示了酸的用量、加酸的日期及加酸以前的pH值。

循环使用的营养液每周分析一次（见表4），不过Cooper称直至番茄试验结束，他未曾得知营养液的分析测试结果。由表4可知，在3月中旬植株长势的减弱与营养液中钾浓度的降低有着密切的关系，而营养液中钾浓度的降低是由于番茄植株对钾吸收量的增加，另外在3月中旬植株长势的减弱也与营养液中过低的Fe浓度有关，通过3月25日、4月1日和11日3次增加了Fe的用量以后，营养液中Fe的浓度才回升到充足的水平。然而从4月18日Fe的用量恢复到常规用量以后，营养液中Fe的水平又迅速下降，因此从5月16日起，Fe的用量又加大到常用量的3倍，



© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2 每次补充营养成分的用量（g／5000L）

| 日　期 | $KNO_3$ | $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | $KH_2PO_4$ | $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ | FeNaEDTA | $H_3BO_3$ | $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ | $(NH_4)_6Mo_2O_{24} \cdot H_2O$ | $MnSO_4 \cdot H_2O$ | EC(ms) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12月3日 | 3296 | 2468 | 1365 | 4919 | 184.5 | 9.23 | 1.28 | 0.45 | 34.10 | — |
| 12月23日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 1月10日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.1 |
| 2月 3日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 2月17日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 2月26日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 3月 7日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 3月20日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 3月25日 | 3296 | — | — | — | 184.5 | 9.23 | 1.28 | — | 34.10 | 2.5 |
| 4月 1日 | — | — | — | — | 184.5 | — | — | — | — | 2.4 |
| 4月 7日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 4月11日 | 3296 | — | — | — | 184.5 | 9.23 | 1.28 | 0.45 | 34.10 | 2.4 |
| 4月18日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.1 |
| 5月 2日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 5月 7日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 49.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 5月16日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 147.0 | — | — | — | 8.43 | 2.1 |
| 5月23日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 147.0 | — | — | — | 8.43 | 2.0 |
| 5月29日 | 1800 | 1645 | — | 1968 | 147.0 | — | — | — | 8.43 | 1.9 |
| 平均（每天每株） | 0.321217 | 0.233386 | 0.012487 | 0.297249 | 0.015725 | 0.000253 | 0.000035 | 0.000008 | 0.002017 | |



© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表3 每次补充磷酸的用量 (mL)

| 日期 | 磷酸用量 | pH |
|---|---|---|
| 12月3日 | 220 | — |
| 1月10日 | 445 | 7.3 |
| 2月12日 | 445 | 7.3 |
| 2月27日 | 445 | 7.2 |
| 3月3日 | 445 | 7.2 |
| 3月25日 | 445 | 7.3 |
| 4月7日 | 445 | 7.3 |
| 4月18日 | 445 | 7.3 |
| 5月1日 | 445 | 7.4 |
| 5月6日 | 445 | 7.3 |
| 5月16日 | 445 | 7.2 |
| 5月29日 | 445 | 7.3 |
| 5月30日 | 445 | 7.3 |
| 平均（每天每株） | 0.050894 | |

到6月初，营养液中Fe的水平恢复到正常。因此这些分析数据也表明在番茄生长的大部分时间内，营养液中Fe的浓度偏低，钾的常用量不能满足植株大量结果时对钾的要求。

这个试验表明：不对营养液中化学成分进行定期分析，而仅仅通过测定营养液的pH和EC并依此为依据来确定所需追加肥料的用量也能成功地栽培NFT番茄。图1展示了番茄生育期间营养液中N、P浓度（mg／L）的变化，N、P浓度仅仅是通过测定营养液中的EC和pH而得到控制的。由图1可知，N、P各浓度点与其平均值之间的差异是相

表4 循环使用的营养液中营养成分的分析（μg／mL）

| 日期 | $NO^-_3$—N | $NH^+_4$—N | P | K | Mg | Ca | Fe | Mn | B | Cu | Mo | Zn | Na | Cl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12月9日 | 216 | 12 | 40 | 315 | 63 | 210 | 3.5 | 0.2 | 0.28 | 0.07 | — | 0.6 | 19 | — |
| 12月16日 | 215 | 4 | 40 | 285 | 51 | 191 | 1.9 | 0.9 | 0.28 | 0.06 | — | 1.1 | 16 | — |
| 12月23日 | 182 | 0 | 38 | 240 | 43 | 180 | 1.5 | 0.6 | 0.23 | 0.06 | — | 1.2 | 16 | — |
| 12月30日 | 252 | 0 | 31 | 330 | 68 | 231 | 1.6 | 0.9 | 0.23 | 0.06 | — | 1.7 | 20 | — |
| 1月6日 | 223 | 0 | 25 | 275 | 59 | 211 | 1.2 | 0.5 | 0.18 | 0.06 | — | 1.9 | 20 | — |
| 1月13日 | 292 | 3 | 72 | 358 | 83 | 270 | 1.6 | 1.1 | 0.22 | 0.06 | — | 2.2 | 20 | — |
| 1月20日 | 267 | 4 | 67 | 372 | 80 | 295 | 2.0 | 1.1 | 0.12 | 0.07 | 0.01 | 2.4 | 22 | 35 |
| 1月27日 | 225 | 0 | 56 | 312 | 70 | 258 | 1.2 | 0.8 | 0.10 | 0.06 | 0.01 | 2.4 | 22 | 28 |
| 2月3日 | 184 | 1 | 42 | 239 | 56 | 225 | 0.8 | 0.5 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 2.5 | 20 | 35 |
| 2月10日 | 231 | 0 | 28 | 285 | 75 | 312 | 0.9 | 0.6 | 0.11 | 0.04 | 0.01 | 2.7 | 22 | 35 |
| 2月17日 | 174 | 0 | 52 | 200 | 60 | 212 | 0.8 | 0.4 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 2.9 | 21 | 35 |
| 2月24日 | 192 | 1 | 33 | 250 | 74 | 245 | 0.8 | 0.4 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 3.2 | 25 | 35 |
| 3月3日 | 192 | 1 | 46 | 240 | 86 | 250 | 0.6 | 0.3 | 0.05 | 0.07 | — | 3.7 | — | — |
| 3月10日 | 192 | 8 | 28 | 159 | 66 | 265 | 0.7 | 0.3 | 0.03 | 0.01 | — | 3.9 | — | — |
| 3月17日 | 159 | 4 | 35 | 176 | 90 | 265 | 0.3 | 0.4 | 0.07 | 0.01 | — | 4.2 | — | — |
| 3月24日 | 230 | 1 | 20 | 188 | 100 | 280 | 1.0 | 0.3 | 0.05 | 0.01 | — | 4.7 | — | — |
| 4月1日 | 183 | 9 | 42 | 280 | 95 | 255 | 3.0 | 1.3 | 0.20 | 0.06 | — | 5.8 | — | — |
| 4月7日 | 171 | 1 | 19 | 180 | 78 | 215 | 5.5 | 0.9 | 0.17 | 0.03 | — | 6.0 | — | — |
| 4月14日 | 180 | 4 | 20 | 238 | 71 | 205 | 8.6 | 2.1 | 0.34 | 0.11 | — | 6.2 | — | — |
| 4月21日 | 236 | 4 | 34 | 285 | 86 | 245 | 9.1 | 1.9 | 0.31 | 0.07 | — | 6.8 | — | — |
| 4月28日 | — | — | 42 | 305 | 118 | 285 | — | 1.6 | — | 0.13 | 0.06 | 8.9 | 65 | — |
| 5月5日 | — | — | 28 | 173 | 88 | 220 | — | 0.8 | — | 0.11 | 0.04 | 6.2 | 45 | — |
| 5月12日 | — | — | 36 | 214 | 89 | 220 | — | 0.8 | — | 0.12 | 0.04 | — | 46 | — |
| 5月19日 | 187 | 7 | 50 | 177 | 86 | 205 | 3.0 | 0.5 | 0.11 | 0.05 | 0.03 | 6.8 | 46 | — |
| 5月26日 | 258 | 5 | 36 | 315 | 113 | 240 | 3.6 | 0.8 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 7.2 | 60 | 36 |
| 6月2日 | 176 | 4 | 50 | 213 | 93 | 220 | 7.6 | 0.7 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 6.0 | 58 | 64 |
| 6月6日 | 117 | 3 | 30 | 153 | 85 | 200 | 6.0 | 0.4 | 0.05 | 0.07 | 0.01 | 7.0 | 58 | 85 |
| 平均值 | 206 | 3 | 39 | 250 | 78 | 237 | 2.8 | 0.8 | 0.14 | 0.06 | 0.02 | 4.0 | 33 | 43 |



© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

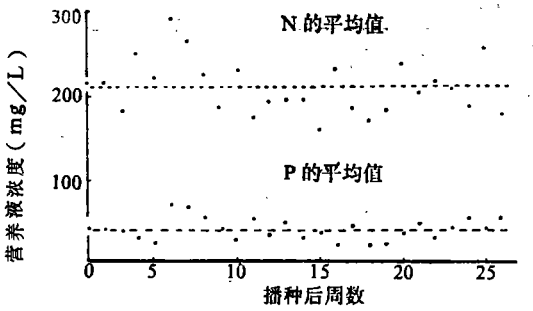



**图1 作物生长期间营养液中N、P浓度的变化**

当小的。

Winsor等（1979）指出在NFT系统中营养液的EC通常都应保持在2～4ms／cm的范围内，番茄在弱光条件下适用于较高的EC值，而当光照充足、蒸腾增加时则应降低EC至3ms／cm。叶菜类栽培最好采用较低的EC，如2.0ms／cm，甚至在光照充足时其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，他们指出在EC 2～10ms／cm的范围内番茄均能生长，但当EC值高于4.0ms／cm时番茄的总产量显著地降低，然而较高的EC值（小于6.0ms／cm）能非常有效地抑制番茄植株过旺的营养生长。Sonneveld（1980）指出岩棉培黄瓜适宜的EC是2.0～2.5ms／cm，岩棉培番茄适宜的EC为2.5～3.0ms／cm（此处的EC是指岩棉中的电导度）。

## 营养液的酸碱度

### 一、营养液的pH

营养液的酸碱度通常用pH值来表示，当营养液呈中性时，则溶液中$H^+$和$OH^-$相等，此时的pH值为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值的测定，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的手持式pH仪，测试方法简单、快速、准确，是无土栽培必备的仪器。

### 二、pH值的调整

大多数植物根系在pH5.5～6.5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NFT系统中，营养液的pH通常应保持在5.8～6.2的范围内，绝对应避免超出pH5.5～6.5的范围。pH值过高会导致Fe、Mn、Cu和Zn等微量元素产生沉淀，使作物不能吸收。过低的pH则会腐蚀循环泵及系统中的其他金属元件。Sonneveld（1980）推荐：岩棉中营养液的pH应保持在5.0～6.0，在育苗期岩棉中的pH应维持在5.0～6.5的范围内。pH值不适宜，植物的反应是根端发黄和坏死，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值，在非循环系统中，每次配制营养液时应调整pH值。常用来调整pH值的的酸为磷酸和硝酸，常用的碱为氢氧化钾。在硬水地区如果用磷酸来调整pH值，则不应该加得太多，因为营养液中磷超过50 mg／L会使钙开始沉淀，因此常将硝酸和磷酸配合使用。

## 营养液的加氧措施

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的根际环境条件，但在无土栽培时尤其是营养液栽培，如处理不当，也很容易产生缺氧而影响根系本身和地上部分的正常生长发育。

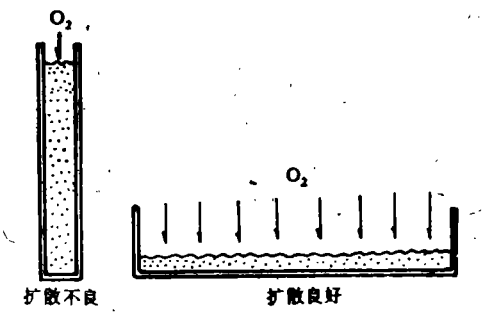



**图2 氧对溶液的表面扩散**



© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在营养液循环栽培系统中，根系呼吸作用所需的氧气主要是来自营养液中溶解的氧。加氧措施主要是利用机械和物理的办法来增加营养液与空气接触的机会，增加氧在营养液中的扩散能力（图2），从而提高营养液中氧气的含量，常用的办法有4种（图3）。

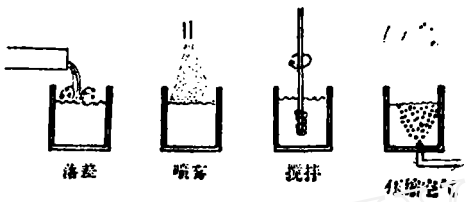



图3 营养液中加氧的方法

在固体基质的无土栽培中，为了保持基质中有充足的空气，除了应选用合适的基质种类以外，还应避免基质积水。通常应保持基质湿度在6～40kPa范围内，以利根系的正常生长。

**参考文献**

1 郑光华，汪浩，李文田。蔬菜花卉无土栽培技术。上海：上海科技出版社，1990
2 A.Cooper,Nutrient film Technique,London, 1982
3 FAO Plant Production and Protection Paper. Soilless Culture for Horticultural Crop Production,Rome, 1990

# 营养液配方的计算方法

蒋卫杰

（中国农科院蔬菜花卉研究所 北京100081）

无土栽培作物所需养分的供应，不是靠施肥，而是使用营养液，即根据不同作物对养分的要求特点，利用无机盐类肥料，人工配制成含所有必需元素的营养液进行栽培。因此，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，而且关系到能否经济用肥、降低成本、提高经济效益。

## 一、营养液浓度的表示方法

营养液浓度是指一定量（一定重量或一定体积）的营养液中所含元素（或肥料）的量。其表示方法通常有如下几种：

（一）$10^{-6}$（百万分之一）浓度表示法

过去常用ppm表示，在营养液中每种必需元素的百万分之几，称为若干ppm。它可以用重量表示，也可以用重量体积表示：

$$10^{-6}=1ppm=1\mu g/g=1\mu L/L$$
$$=1mg/L=1g/1000L=1g/t$$

（二）毫摩尔（mmol）浓度表示法

1L营养液中含有元素的摩尔数，称作摩尔浓度，以摩尔（M）或毫摩尔（mM）表示。

1摩尔（M）=1000毫摩尔（mM）



© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net