

纺织材料的土壤化研究

沈瑞庆 余燕平 李向前 李朝贵

(武汉纺织工学院)

【摘要】 本文就植物生长必需的水分、养分、空气和温度四大肥力因素，详细地阐述了纺织纤维代替土壤作为植物栽培基的可行性和优越性。提出了衡量纤维栽培基肥力的指标、测试和计算方法。并用非织造布做栽培基进行了蔬菜和花卉的实物栽培，取得了良好的效果。

纺织材料土壤化研究是探索用纺织纤维及其制品作为无土栽培的基质种植蔬菜、水果、花卉和其他植物的可行性。土壤学中把能满足植物生长的土壤因素称为土壤肥力。这些因素中最重要的是水分、养分、空气和温度四个因素，土壤肥力就是这四种因素相互制约和协调的结果。用纺织纤维代替土壤作为植物栽培基也必须满足植物生长的四大肥力因素。

一、土壤与纤维栽培基的肥力比较

(一) 水分

土壤水是土壤的重要组成部分，它是作物吸水的最主要来源，同时也是土壤中许多化学、物理和生物学过程的必要条件。土壤水的保持靠两种力的作用：一是土粒和水界面上的吸附力，包括氢键与土壤胶粒表面的静电场力；二是由于土壤中孔隙的存在而形成的水和空气之间的表面张力，它们联合产生基质吸力。土粒的比表面积直接影响基质吸力，而土粒的比表面积的大小与其直径有关。一般说来，土粒的直径越小，比表面积越大，基质吸力也越大，其吸湿能力明显增加。较适合植物生长的壤土类与粘壤土类的粒级百分比如表1所示。

纺织纤维的吸湿机理与土壤的吸湿机理相似。纤维吸水的方式有两种：一是直接吸水，即纤维中的极性基团与水分子形成水合物，主要依靠氢键与水分子缔合；二是间接吸水，极

表1 国际制壤土类与粘壤土类粒级分布

类别	名称	粘粒 (<0.002 mm)	粉粒 ($0.002\sim$ 0.02 mm)	砂粒 ($0.02\sim$ 2 mm)
壤土类	砂质壤土	0~15	0~45	55~85
	壤土	0~15	30~45	40~55
	粉质壤土	0~15	45~100	0~55
粘壤土类	砂质粘壤土	15~25	0~30	55~85
	粘壤土	15~25	20~45	30~55
	粉砂质粘壤土	15~25	45~85	0~40

化的水分子吸附其他水分子以及纤维间形成的毛细管产生的表面张力对水分子吸附。纤维的吸水除了与其内部结构有关外，还与它的比表面积成正相关，而比表面积又随纤维直径的减小而增大。正常成熟的细绒棉理论直径为17~19 μ m，粗绒棉为20~22 μ m，苧麻纤维宽度为20~45 μ m，细羊毛的直径在30 μ m左右。粘胶及合成纤维的细度是可以人为控制的。

土壤学中，土壤中水的含量以重量百分比表示。排水良好的深厚土层的土壤水重量百分比见表2，表示在充分供水或降雨后，土壤能

表2 不同质地土壤水重量百分比

土壤名称	砂土	砂或轻壤土	中壤土	重壤土	粘土
土壤水重量 (%)	12~14	18~20	25~28.8	20.7~24.8	26.4~31.2
容重 (g/cm ³)	1.5	1.5	1.2	1.45	1.25

较长时期保持的水量。

纺织纤维的回潮率见表3。纤维的回潮率与纤维栽培基的吸保水性是不同条件下的概念,但根据回潮率的大小可以间接判别吸保水性的好坏。必要时可进行实测试验,在一定质量的纤维栽培基上喷水,在自然条件下定期测定其含水量,然后再与土壤比较。

表3 几种常见纤维的平衡回潮率(空气温度 20℃,相对湿度为 ϕ)

纤维种类	$\phi = 65\%$	$\phi = 95\%$	$\phi = 100\%$
原棉	7~8	12~14	23~27
粘胶	13~15	29~35	35~45
细羊毛	15~17	26~27	33~36
丙纶	0	0~0.1	0.1~0.2
涤纶	0.4~0.5	0.6~0.7	1.0~1.1
维纶	4.5~5	8~12	26~30

纤维与土粒相比,其直径比土粒小,有些纤维中还存在缝隙孔洞,比表面积大,表面吸附力较强,而且人们可以根据不同要求生产出细度不同的纤维,调节纤维栽培基的吸水性。天然植物纤维(含再生纤维)和动物纤维的分子结构中有许多亲水性基团,因此在相对湿度较大时,其回潮率与土壤较稳定的持水量差不多。化纤的吸湿性较差,在用化纤作植物栽培基时应考虑其吸水性,尤其在干燥环境下使用时。可以用不同的纤维混合后作为植物栽培基,还可以在纤维中加入吸水剂,如聚氨酯、变性淀粉等,能有效地提高其吸水性和保水能力。纤维栽培基的吸保水性能易于人工控制和调节,这是其优于土壤的一个特点。

(二) 养分

为了使植物能正常生长,土壤必须向植物提供足够的养分。这些养分一部分来自土壤矿物本身风化的产物,一部分来自外来有机质的分解以及人工施肥。在自然状态的土壤中养分的损失一般达40~50%,主要是随着水分的流失而引起的养分流失。当土粒较小时,土壤的可塑性和胀缩性增加,其吸湿能力和保肥能力增强,纤维的直径小于土粒的直径,不仅有

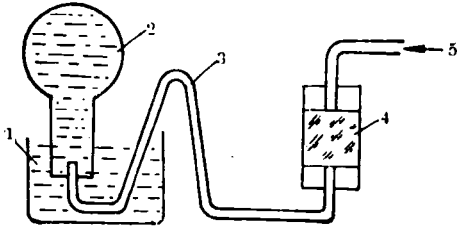
利于吸湿保水,而且对以离子形式存在于水溶液中的有效营养元素的吸附作用强,有良好的保肥效果。为了减少肥分随水流失,可考虑在纤维栽培基下铺设防透水层。例如,当纤维栽培基用于高层建筑环境美化时,建筑物中的防水层有利于保肥;在用作植生带时,可在栽培基下的土层中铺一层沥青以减少水分渗透。

生长在纤维栽培基中植物的养分,一般采用营养液的形式补充。营养液可根据植物的种类及植物生长发育的不同阶段配置,以便满足植物对氮、磷、钾、钙、镁、硫和铁等基本元素及锰、硼、锌、铜和钼等微量元素的需要,做到平衡施肥,避免偏肥或缺肥。在纤维栽培基中所施肥料一般为化学肥料,选用时必须考虑它们的水溶液是否会使纤维分解,尤其是用含硫、氯较多的纤维如废羊毛、氯纶等作为植物栽培基时,因为这些纤维在分解过程中会产生 SO_2 、 H_2S 、 HCl 等有害气体,对植物根的毒害作用较大,从而影响对肥分的吸收。在选择纤维材料时,尽量选用棉、麻、粘胶等纤维素类纤维或不易被酸碱腐蚀的丙纶、涤纶等。

(三) 空气

空气是土壤的重要组成部分之一,它对作物生长发育有着多方面的影响。土壤空气中氧气含量直接影响根的生长及吸收功能。通气不良时,根吸收作用减弱,获取养分和水分的能力降低,同时使致病霉菌滋生,影响作物的抗病性,此外还影响种子的发芽。

土壤中空气与大气的交换主要靠气体的扩散,其次是存在气压差时的气体流动。土壤或纤维栽培基的通气性可用通气量表示,即在单位压力下,单位时间内进入单位体积某物质中的气体总量,常用单位是毫升/立方厘米·秒,数值大表明通气性好。可用下述方法测定通气量:将被测物(土壤或纤维)放在两端带塞的玻璃管中,把盛满水的定容瓶倒置于水槽中,连接见下图。当风机压力一定时,测出排完定容瓶中水的时间,根据被测物的容积及定容瓶的容积,即可计算通气量。



测量通气量原理图

1—水槽，2—定容瓶，3—导气管，
4—两端带塞的玻璃管，5—接风机。

反映物质通气性的另一项重要指标是孔隙率，它是指物质中孔隙对总体积的比值，以百分数表示。孔隙率大，物质的通气性好。一般说来适宜作物生长的土壤耕层的孔隙率为50~56%。几种常见土壤的孔隙率如表4所示。

表4 几种常见土壤的孔隙率

土壤种类	粘土	砂土	壤土	泥炭土
孔隙率(%)	40~60	33~45	45~52	75~80
特点	以毛管孔和非活性孔为主	通气孔居多	通气孔与毛管孔兼有	通气孔为主

注：毛管孔直径范围：0.002~0.02mm，非活性孔直径范围：<0.002mm，通气孔直径范围：>0.02mm。

纤维材料的孔隙率可用下式表示：

$$n = (1 - m/\rho \cdot \delta) \times 100\% \quad (1)$$

式中：n为孔隙率；ρ为纤维材料密度；m为单位面积质量；δ为纤维体厚度。ρ可从有关纤维材料手册中查得，m和δ可实测。

纤维栽培基的孔隙率过小，基质过重，通气性差，影响作物根系生长；孔隙率过大，保水性差，也不利于根的固定。根据所栽培的植物不同，基质容重可以在0.1~0.89g/cm³，孔隙率在54~96%范围内选择。纤维栽培基的孔隙率大于土壤，能够为植物根系生长提供比土壤更为优越的通气条件，使生长在其中的植物根系发达，代谢旺盛，吸收功能较强。

(四) 温度

温度对植物种子萌发、幼苗生长、开花结实都有影响。水分在植物体内的运转，植物对

养分的吸收、输送和积累都要求有适宜的土壤温度条件。不同植物对土壤温度的要求不一样，太阳辐射能是土壤热量的最基本来源，反映土壤吸收贮存热量大小的指标是热容量，指单位质量的物质每升高1℃所需热量的卡数，单位为卡/克·度。

设C₁、C₂和C₃分别为土壤矿物质、土壤有机质和水的热容量；P₁、P₂和P₃分别为各成分在土壤中所占的质量百分比。则土壤热容量为：

$$C_{土壤} = P_1C_1 + P_2C_2 + P_3C_3 \quad (2)$$

同样，纤维栽培基的热容量也可用下式表示：

$$C_{纤维} = P_4C_4 + P_5C_5 \quad (3)$$

式中：C₄和C₅分别为纤维与水的热容量；P₄和P₅为纤维与水在栽培基中所占的质量百分比。

由于一定的纤维栽培基中纤维质量的变动幅度不大，水的热容量较大，因此栽培基热容量的变化主要取决于含水量的多少，调节含水量是调节纤维栽培基温度的重要措施。

影响纤维栽培基温度条件的另一项指标是导热率。干燥物质的导热率主要取决于孔隙率的大小，孔隙率越大，其中的空气量越多，导热率越低，不利于热量的传递。湿态物质中水取代了间隙中的空气，使导热率显著增大。纤维材料与土壤相比，其含水量的调节范围要大得多，可根据不同的含水量调节其热容量与导热率，比较容易人为地控制植物生长的根部温度条件。

通过以上分析，可以看出纤维栽培基在水、肥、气、热四大肥力因素方面，不仅能够达到与土壤类似的条件，满足植物生长的要求，而且有便于人工控制和调节的优越性。

二、实物栽培试验

(一) 土壤与非织造布栽培蔬菜对比

采用混纺的非织造布作为植物栽培基，非织造布通过机械成网后用热熔法制成。选择的土壤为粘壤土类，比较适合蔬菜生长，栽培前

按常规标准施加一定的磷酸二氢铵作底肥。非织造布中植物所需水肥以营养液形式添加。

栽培时在平整的水泥地板上铺一层塑料薄膜，将非织造布置于塑料薄膜之上，非织造布经特殊处理，以增加其保水，保肥能力，上罩半封闭的塑料棚，以形成较适宜的小气候条件。蔬菜品种为竹叶菜、红苋菜和中箕白。栽培前蔬菜种子均经过处理，播种一天后非织造布中种子发芽率为75%，土壤中为60%。表5为生长在非织造布与土壤中的竹叶菜在不同时期生长情况比较。

栽培在非织造布中的蔬菜，根的生长发育

表5 不同基质中竹叶菜生长情况对比

对比项目	10天后		20天后		30天后	
	非织造布	土壤	非织造布	土壤	非织造布	土壤
株高(cm)	9.0	8.5	24.2	14.3	28.0	21.5
最长根(cm)	5.7	3.0	16.0	12.0	31.0	12.0
根覆盖面积(cm ²)	28	12	254	65	400	150
根数(条)	18	18	22	12	已成网状	19
平均茎粗(mm)	6.3	4.7	16.0	12.0	20.5	15.0
叶片数(片)	5	5	14	11	27	23
最大叶长(cm)	3.5	3.0	8.2	6.7	9.5	9.8

良好，无论是根的条数还是长度均优于土壤中的蔬菜，最长的根达到81cm，是土壤中最长根的2.6倍，每株根的覆盖面积超过400cm²，须根较多，在纤维中交织成网状，须根密度远远大于土壤中根的密度。土壤中根的发育以侧根为主，须根较少，大多分布于土壤3~4cm以下较深土层中，根的覆盖面积为150cm²。非织造布中蔬菜发达的根系有利于根对水分与无机盐的吸收，主要原因是纤维栽培基比土壤提供了更为优越的水、肥、气、热环境，特别是良好的通气性有利于根的发育。在植物其他器官的发育上，叶片数、叶片长度以及茎粗等项目，非织造布中植物的生长情况都优于土壤中的植物。

(二) 花卉移栽试验

选用几种纺织纤维配成五组植物栽培基，在经过不同方法预处理后，移栽麦石竹、走马菊和白丽等几种已成苗的花卉，观察花卉在纤维栽培基中的生长情况，并比较不同纤维基质，不同处理方法对花卉生长的影响。

1. 栽培方法

模拟格里克无土栽培方式对植物供水供

表6 移栽花卉生长情况

花名	麦石竹-I	麦石竹-II	走马菊-I	走马菊-II	白丽	
基质	纤维基质-I	纤维基质-II	纤维基质-III	纤维基质-IV	纤维基质-V	
原来状态	正值花期，有许多花蕾未绽	花蕾较多，均未绽	已有部分花，尚有许多花蕾未绽	无花	花蕾较多，均未绽	
移栽后生长情况	1天	叶片稍有萎蔫	叶片稍有萎蔫	无明显变化	叶片稍有萎蔫	
	2天	萎蔫消失，花开依旧	萎蔫消失	萎蔫消失，花瓣重展	生长旺盛	萎蔫消失
	3天	各种花卉均正常生长，花蕾始绽(开始施加营养液，每两天1次)				
	5天	各种花卉已有根生出，茎叶开始正常生长，大量花蕾绽开				
	9天	有较多花蕾绽开，根已透过栅栏	根已伸出栅栏，花鲜艳，经雨后依然	花色鲜艳，花期较长，茎伸长5cm，根部分透过栅栏	茎已伸长10cm，根部呈网状，将纤维基质连成一体，根已伸进水槽	有较多花蕾长出，有大量花朵绽开，部分根已伸进水槽
	14天	大部分花蕾绽开，土壤中花已开始凋谢	纤维基质中花多，颜色鲜艳，土壤中花大部分已凋谢	花色鲜艳，较土壤中花期长	与土培相比长势好，叶子老化较少	花色鲜艳，茎叶生长较土壤中快

肥。花卉植于花盆中，花盆底部有孔，以便调节水位高低，植物的根一部分通过栅栏伸进营养液，一部分在纤维基质中，栅栏与营养液界面有2~3cm的空气层，使透过纤维栽培基的空气到达根部，以利于根的透气与呼吸。营养液由纤维栽培基上部加入。

2. 观察结果与分析

移栽后的花卉生长情况见表6。

花卉移栽后由于根部失水，不能马上适应新的环境，出现短暂萎蔫，一天后恢复正常，以后生长情况良好。根的发育情况尤佳，密集的须根已与纤维交织成一整体。移栽后花的数量较多，颜色比土壤中对照组的花卉更鲜艳，花期明显延长。其中加入特殊添加剂的基质Ⅳ和Ⅴ效果更好。

纤维栽培基中花卉的生长情况优于土壤中的，同样得益于肥力条件的改善，根对营养素的吸收效能增强。

三、小 结

用纺织纤维或纤维制品代替土壤作为植物栽培基不仅是可行的，而且在以下几个方面比土壤更具优越性：

1. 纤维栽培基比土壤能更好地满足作物生长的水、肥、气、热四大肥力条件，而且便

于人工调节和控制，特别是它能够提供更优越的植物根部通气条件。

2. 在施肥方式上采用营养液的形式，可以根据植物的不同生长期，控制营养液中各元素的含量，既避免了土壤中易出现的缺肥和偏肥现象，又提高了肥分的利用率。

3. 由于纤维材料具有重量轻，清洁卫生的特点，可以应用于一般农业或园艺不宜进行生产的地方。如阳台、走廊、沙漠和矿区等地方。

4. 生长在纤维或纤维制品中的植物离开了土壤，由土壤引起的病虫害基本上可以避免。

尽管与大田生产相比，用纤维栽培基种植蔬菜的成本较高以及一些技术问题尚待进一步深入研究，目前还不可能大规模地用纤维栽培基替代土壤，但是若能根据种植蔬菜的品种选用最适当的栽培基，提高产量，缩短蔬菜生长期，解决好多次种植后的肥力保持问题，用纤维栽培基实现工厂化生产蔬菜将有很好的前景。

参 考 资 料

- [1] 朱祖祥，〈土壤学〉，农业出版社，1982年。
- [2] 姚穆主编，〈纺织材料学〉，纺织工业出版社，1980。
- [3] 刑禹贤编著，〈无土栽培原理与技术〉，农业出版社，1990。

欢迎购阅《钢领钢丝圈使用手册》《电子清纱器的原理与应用》

1. 《钢领钢丝圈使用手册》一书，较系统地介绍了国内的棉纺和毛纺钢领钢丝圈在纺纱中的作用和性能特点，提供了如何正确选用钢领钢丝圈，上车步骤，衰退钢领如何修复使用等方法。本手册适用于各棉纺、毛纺、纺机厂职工及科研情报人员等人手一册。每册工本费0.90元，邮购每册另加邮费0.40元。

2. 《电子清纱器的原理与应用》，全书共分十章，第一章、二章叙述对纱疵的基本认识和电子清纱器的

基本工作原理；第三、四、五章着重论述电子清纱器硬件部分的三大关键技术；第六、七章重点论述电子清纱器应用软件及如何用好电子清纱器；第八、九章概述国内外电子清纱器的现状及发展动向，第十章介绍我国纺织部颁发的有关电子清纱器的三个文件。内容丰富，每册售价5元，邮购另加邮费0.50元，请邮汇《纺织学报》编辑部，地址：上海市乌鲁木齐北路197号，邮编：200040。