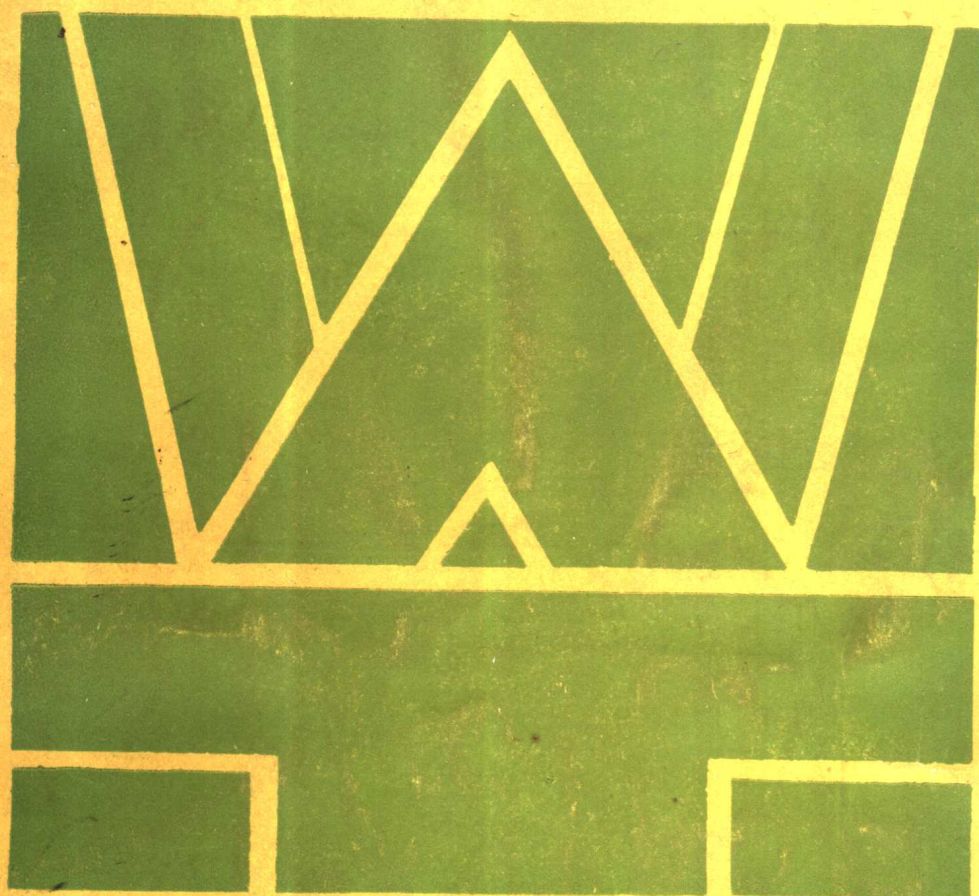




现代无土栽培技术

17
43
XIANDAI

WUTU ZAIPEI

JISHU

现代无土栽培技术

李式军 高祖明等编译

北京农业大学出版社

责任编辑：张文卉 孟 梅
封面设计：曹志林

现代无土栽培技术

李式军 高祖明等编译

*

北京农业大学出版社出版
(北京海淀区圆明园西路2号)

北京市东升印刷厂印刷
新华书店首都发行所发行

*

787×1092毫米1/16 11.75印张 290千字
1988年7月第1版 1988年7月第1次印刷
印数：3300册

ISBN 7-81002-045-5/S·45

定 价：3.40元

编者的话

无土栽培与生物技术一样，是当今世界上发展很快的一门学科。近年来，由于无土栽培本身的技术革命取得了突破性的进展，开发成功了营养液膜技术（NFT, Nutrient Film Technique）和岩棉培技术（Rockwool Culture），使一次性投资大幅度降低，并实现了简易化栽培，经济效益大为增加，栽培面积在近几年来重新得到了十分迅速的发展。在无土栽培技术日益简易化的同时，出现了另一种装备现代化的植物工厂化生产设施，并从1985年开始，在若干经济发达国家的农户或企业中开始了营利经营而达到了实际应用阶段。无疑，无土栽培正在作为一种省力、省工、能克服连作障碍的农业新技术，以其清洁卫生的生产环境，生产高产、优质、无污染或少污染的新鲜蔬菜和花木，成为一种高度集约型的农业经营新方式，以其惊人的生产效率，吸引着各国农业科技工作者，将它作为21世纪未来农业而全力以赴地进行着研究，世界农业将因此而向企业化方向发展的步伐正在加快。

近年来，我国由于实行改革、开放、搞活的经济政策，社会主义经济建设发展迅速，人民生活水平不断提高，加上开放城市港口对“特需”高档蔬菜、花木的需要量激增，使得蔬菜、花木的无土栽培的科研与生产已提到重要议事日程。无疑，无土栽培将首先作为一种创汇农业而得到优先应用。目前全国已有20多个省市开始了蔬菜、花木的无土栽培试验和生产，因此，了解国外无土栽培的最新技术及其发展动态已成为农业科技工作者的当务之急。

本书系日本20多位知名学者和实践家所撰写的关于日本和世界各国无土栽培的历史、现状和展望，并详细介绍了蔬菜、花木的最新无土栽培设施及其配套技术和经营管理等方面的最新技术，特别是详细介绍的象征无土栽培“第三次浪潮”的NFT和岩棉培以及植物工厂化生产的技术资料，在我国还鲜为人知。此书原文刊登在日本《农业及园艺》1986年新年特大号上。由于该刊物刊登了这些文章，曾供不应求，不得不重版印刷一次才满足各方面读者的需要，可见无土栽培已备受各方面的重视，我们希望这本译文的出版，能对国内从事无土栽培研究与生产的同行们有所裨益，在研究开发符合国情的蔬菜、花木无土栽培设施及其配套技术方面有所借鉴。由于水平所限，难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

南京农业大学 李式军

1987年10月于南京

目 录

无土栽培在设施园艺中的地位·····	西 贞夫 (1)
日本无土栽培的现状与展望·····	高桥和彦 (14)
国外无土栽培的现状与展望·····	高仓 直 (22)
营养液栽培技术的发展和今后的动向·····	山崎肯哉 (28)
循环式水培的理论·····	板木利隆 (37)
循环式水培的实践·····	佐佐木皓二 (44)
NFT水培的理论·····	土岐知久 (53)
NFT水培的实践·····	宇田川雄二 (60)
固体基质型营养液栽培的理论·····	安井秀夫 (72)
固体基质型营养液栽培的实践·····	田中和夫 (84)
植物工厂系统·····	桥本 康·高辻正基 (94)
植物工厂化生产的实际进展·····	伊东 正 (99)
花卉种苗的组培增殖·····	三位正洋·露木美英 (107)
人工基质的盆花生产·····	田中 宏 (115)
培养液组成的理论与实践·····	并木隆和 (124)
作物的营养特性与培养液管理·····	池田英男 (133)
营养液调控设备的概况和今后的展望·····	关山哲雄·星 岳彦 (142)
营养液栽培蔬菜的品质及其与栽培技术的关系·····	筱原 温 (151)
营养液栽培的环境因子与根系机能·····	桔 昌司 (155)
营养液栽培的病害及其防治措施·····	森田 侑·手冢 信夫 (162)
静冈县蔬菜营养液栽培调查·····	中泽久志 (170)
营养液栽培的经营现状及存在问题·····	河野敏明 (175)

无土栽培在设施园艺中的地位

日本设施园艺协会 西贞夫

一、为什么现在又时兴起无土栽培？

最近，新闻界经常报道两大热门话题，一是生物技术，二是无土栽培技术，两者都是引人注目的高级技术。

关于生物技术，总算摆脱了那种近乎狂热的、过分的渲染而得到了恰如其分的评价，现在取而代之的似乎是无土栽培了。不论是设在超级市场门市部里的植物工厂生产的莴苣现产现销也好，还是筑波城世界科学博览会中展出的一株结实12,000个的水培番茄也好，无土栽培好象将作为一种未来的理想的农业被展示着，因而引起了人们的普遍关注，一时间，成为报章、周刊、杂志的重大话题而热闹了一番。各种各样的宣传工具都提到了无土栽培，造成了一种迫使科研、政府行政部门不得不对该项技术重新进行评价，对于“为什么现在又时兴起无土栽培？”这个问题予以充分的关注。

要回答这个问题，应从以下三个方面来考虑。第1，从设施园艺的现状及其与无土栽培的关系来看，日本自1960年以来，当时称水培的无土栽培技术，就已作为设施园艺的一种栽培方式了，从这一点来看，并非什么新技术。而作为植物营养的一种试验研究的手段，早在二十年代就已盛行了。1947年美军在日本进行无土栽培生产“洁净蔬菜”。此后，日本人在取得若干试验研究成果的基础上，又几经波折，终于作为一种成熟了的生产技术体系，在设施园艺中得到推广应用，并获得了基本一致的肯定评价，至少所有的园艺工作者都取得了统一的认识。那么，现在为什么重新引人注目呢？这可能是由于设施园艺已多少陷入了困境之中，或者说由于现在的栽培技术不得法而暴露出缺点，无土栽培也许作为挽救的一种正确的手段。

第2，可能是获得一定评价的无土栽培技术本身，由于开展了不同于传统特征、特性的新的样式，或者从栽培技术体系来说，已出现了很大的变革与进步，以致成为人们所期望的一种新的生产技术。

第3，由于最近工艺学的发达，有可能使过去难以想象的一些机械设备在农业中得到应用，非农业部门渐渐有可能渗入到农业生产中去。他们的渗入，往往能打破农业专家的许多老框框，而把无土栽培作为一种理想的新技术来研究，从而产生各种全新的技术。因而，无土栽培有可能成为其它产业部门研究或投资的对象。

根据以上分析，可见现在又时兴起无土栽培技术，其动机、原因并非一致，目的和希望也各不相同。其中，作为一种生产技术来说则另当别论。但仍有的是别有意图，也有的是对目前的农业生产和蔬菜生产的现实缺乏了解，作了过高的评价和寄予过高的希望。因此，根据现有条件，阐明无土栽培的现状，予以正确的评价，同时指出存在的问题以及将来的展

望，这就是编辑这部特辑的目的。

二、设施园艺的现状

最近几年，设施园艺产品在国民的饮食生活中终于站住了脚跟。虽然，现在报纸的读者来信栏中的确有时还登载有批评性的意见，但其内容已看不到出于误解或妄加猜测之类的话，我作为长期直接或间接参与发展日本设施园艺事业，在一定时期负有责任的成员之一，深感庆幸。

设施园艺从确立为蔬菜的一种生产技术开始，发展到产品成为市民副食品，原因大概是由于设施园艺这种生产技术具有明确的价值，同时在国民的饮食生活中有很大的贡献。但另一方面，有人批评设施园艺是“油老虎”、“油渍品”之类的话，可是他们不了解设施园艺暖房用消耗的A重油的数量仅占全国A重油消耗总量的0.3%左右。同时，现在世界各国人们饮食生活中，有先进国家的偏重脂肪的肥胖型饮食生活，还有开发中国家偏重淀粉的低营养的饮食生活，相比之下，日本型的饮食生活，在脂肪(F)、蛋白质(P)和淀粉(C)三要素的摄取比例上，是最为协调平衡的类型，因而受到全世界有关营养学家的重视。其中蔬菜发挥了重大作用。据说摄取黄绿色的蔬菜有防癌的作用，这一点还不太为人们所知道。很明显，这些蔬菜的生产与设施园艺有密切的关系。

表1 日本1983年园艺用温室大棚设置面积与装备 (单位: ha)

项 目	玻 璃 温 室				塑 料 大 棚				温室+大棚计			
	蔬菜	花卉	果树	计	蔬菜	花卉	果树	计	蔬菜	花卉	果树	计
设置面积	754	844	205	1,803	29,154	2,855	3,821	34,830	29,908	3,699	4,026	36,633
内有加温设备者	723	705	101	1,529	9,176	1,404	1,450	12,030	9,899	2,109	1,551	13,559
加温内有变温装置	438	344	62	844	5,198	472	784	6,454	5,636	816	846	7,298
内有自动灌溉设备者	442	549	81	1,074	10,821	1,163	1,308	13,292	11,263	1,712	1,389	14,364
内有无土栽培设施者	75	9	0	84	196	12	0	208	271	21	0	292
内有CO ₂ 发生装置者	275	82	0	357	627	6	4	637	902	88	4	991
内有二重帘者	858	635	24	1,517	14,062	1,392	1,448	16,907	14,725	2,027	1,472	18,224
内有天窗自动开闭装置者	408	360	5	773	956	135	83	1,174	1,364	495	88	1,947
内装换气风扇者	216	302	3	521	3,842	568	878	5,318	4,058	900	881	5,839
内有复合环境调控装置者	A 34	7	0	41	46	3	1	50	80	10	1	91
	B 22	5	0	27	15	1	0	16	37	6	0	43
延伸面积	1,764	961	204	2,929	36,499	3,340	5,726	45,565	38,263	4,301	5,930	48,494
防雨棚设施	—	—	—	—	2,375	178	2,121	4,674	2,375	178	2,121	4,674
小拱棚栽培面积	—	—	—	—	—	—	—	—	6,1503	607	—	62,110

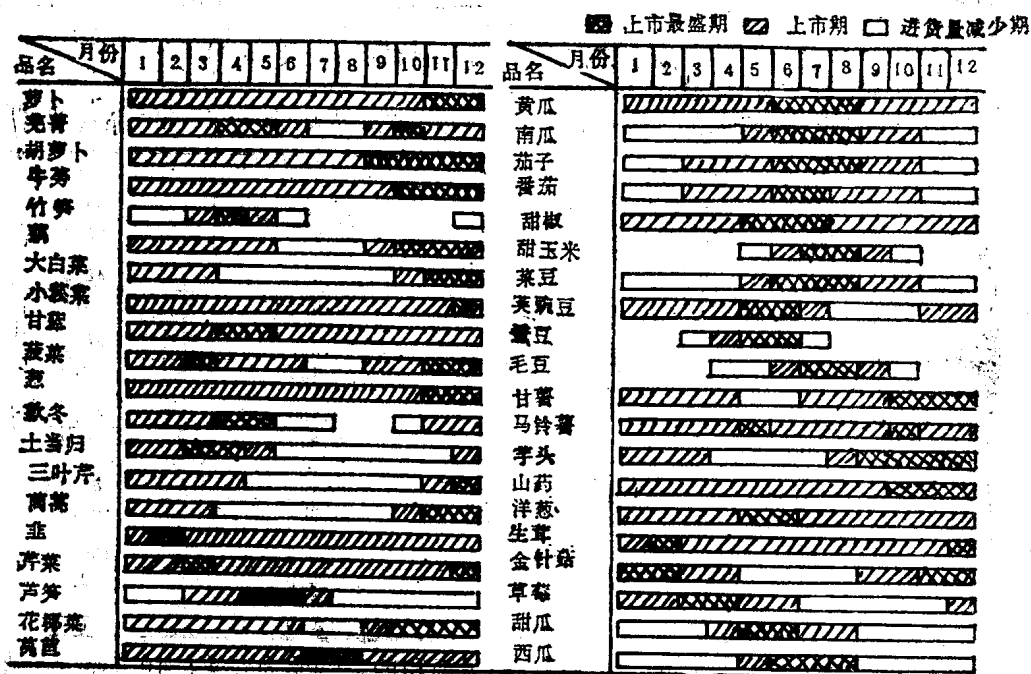
注: 根据蔬菜振兴科资料。A. 依辐射量调控; B. 微电脑调控。

表1示设施园艺由蔬菜用、花卉用、果树用三部分组成，现以蔬菜用的设施面积所占比例最大。对于温室或大棚蔬菜生产的最大非难，不外乎是由于不时栽培，高能消耗，生产的是“奢侈食品”，且打乱了原有的上市季节，不合口味、营养差等。这是由于日本人长期生活在四季分明的国度里，自古以来墨守那种传统的蔬菜消费习惯，温室大棚上市的蔬菜，

扰乱了原有的吃时鲜的消费习惯，因此，也确有讨厌设施园艺的人。

可是，自从昭和40年代（1965—1975）经济高速增长时期以来，日本人的生活和饮食方式出现了很大的变化，变化之一就是外食（不在家就餐）的习惯已固定化。以超级市场为首的蔬菜流通方式（生产区域、季节）也都随之起了变化。在大城市，中餐外食已经成为习惯。日常生活中，家族们一年四季的假日闲暇时一起外食已习以为常。这种情况下，蔬菜，一年四季均为人们所需要。饮食习惯的变化自然要影响粮食、食品原料等的生产流通，因此，设施园艺就是在这种背景下扎下根基，并得到市民的认可，其原因就不难理解了。

附图示东京中央批发市场蔬菜进货状况。从图中可见，即使今日，仍可看到蔬菜生产的



附图 蔬菜的上市期

季节性这一事实。自从第2次世界大战前直到60年代前半期，日本一年当中存在着2月和8月两个缺菜时期，有的地区蔬菜严重供应不足，日本人的饮食生活显著地不均衡。为克服这一状况，确立蔬菜周年供应的体系，就成为蔬菜生产者、商业部门和科研工作者及种苗经营者的共同愿望。对此，由于设施园艺的发展和优良品种的育成使周年供应有可能得到解决。其成果是出现了多种多样的栽培形式。同时由于交通运输条件的改善，在全国范围内建立了蔬菜基地。至60年代后半期，全国的蔬菜周年供应体系就已完成了。虽说设施园艺不能完全克服各种蔬菜的生产季节性，但终究使各种蔬菜在上市季节以外进入流通市场，丰富了人民的饮食生活，所以设施园艺能够得到人民的理解。

有人强烈批评设施园艺蔬菜的营养和风味比露地栽培的差。但是化学分析的结果，并不能支持这种观点。从另一方面来说，设施栽培本来就是在露地不能进行生产的时期进行生产与供应的，这是设施园艺之所以存在的理由。将设施栽培生产的产品的营养成分与露地产品进行直接的比较完全是没有意义的。即使进行比较，品尝者也往往是处于不同生理状态和

在不同烹饪方式的条件下进行的,因此,如果同样是番茄,保护地生产的与夏季露地采收的番茄,可以作为不同的蔬菜来考虑。现在,日本蔬菜的栽培面积约60万ha(公顷),产量约1,600万t(吨),其中,1,100万t系商品菜(相当于水产品捕获的总量)流入市场,按前面数字换算,国民人均年消费量为107.6kg,这些蔬菜如图2所示(略),以各种栽培方式进行周年生产。一般把促成、半促成、抑制栽培(11月至翌年5—6月收获者)叫做设施栽培。黄瓜、番茄以外的栽培,在育苗阶段,也有长短不同的时间是在设施中被保护的。又如象最近盛行的在采收期进行的防雨棚栽培,把小拱棚也包括进去了。现在可以说,几乎不存在完全与设施栽培无关系的蔬菜,要想把某种蔬菜的生产从设施栽培中除去已不可能,尤其是主要的果菜类,对设施栽培的依赖性更大,设施栽培面积已占总面积的32.5%,占总产量的47.4%(表2)。

表2 日本设施蔬菜占蔬菜生产的比重 (1983)

品 名	面积(ha)和产量(t)	设施、露地合计A	温室、大棚合计B	温室、大棚的比例 B/A (%)
茄 子	面 积	20,400	1,740	8.5
	产 量	629,400	142,500	22.6
番 茄	面 积	15,800	5,360	33.9
	产 量	790,800	382,400	48.4
黄 瓜	面 积	24,400	7,600	32.1
	产 量	1,048,000	532,200	50.8
甜 椒	面 积	4,760	1,430	30.0
	产 量	168,200	99,800	59.3
草 莓	面 积	11,400	7,890	69.2
	产 量	196,700	165,100	83.9
温 室 甜 瓜	面 积	1,380	1,380	100.0
	产 量	40,000	40,000	100.0
合 计	面 积	78,140	25,400	32.5
	产 量	2,873,100	1,362,000	47.4

表1示设施园艺的现状。据1983年调查,设置面积的78.9%为蔬菜,10.1%为花卉,而果树则占11.0%,若从延伸面积计,相应顺序为:78.9、8.9%和12.2%。这些设施除加温设备以外的附属装置也如同表1所示。这些重装备设置都是为了稳定、高产、节能而装备起

表3 1983年日本园艺用设施设置面积与农户数及其规模 (单位: km²)

	温 室				塑 料 大 棚				温室十大棚合计			
	蔬 菜	花 卉	果 树	计	蔬 菜	花 卉	果 树	计	蔬 菜	花 卉	果 树	计
设置面积 A	7,535	8,441	2,048	18,024	281,545	28,546	38,211	348,302	289,080	36,987	40,259	366,326
栋数 B	24,925	23,973	14,483	63,408	737,210	81,622	40,599	859,431	762,162	105,595	55,082	922,839
经营农户数 C	7,207	10,090	3,120	20,417	190,936	29,323	17,919	238,178	198,143	39,413	21,039	258,595
A/B m ²	302	352	141	284	382	350	941	405	379	350	731	397
A/C m ²	1,046	837	656	883	1,475	974	2,132	1,462	1,459	938	1,914	1,417

注: 据蔬菜振兴科资料。

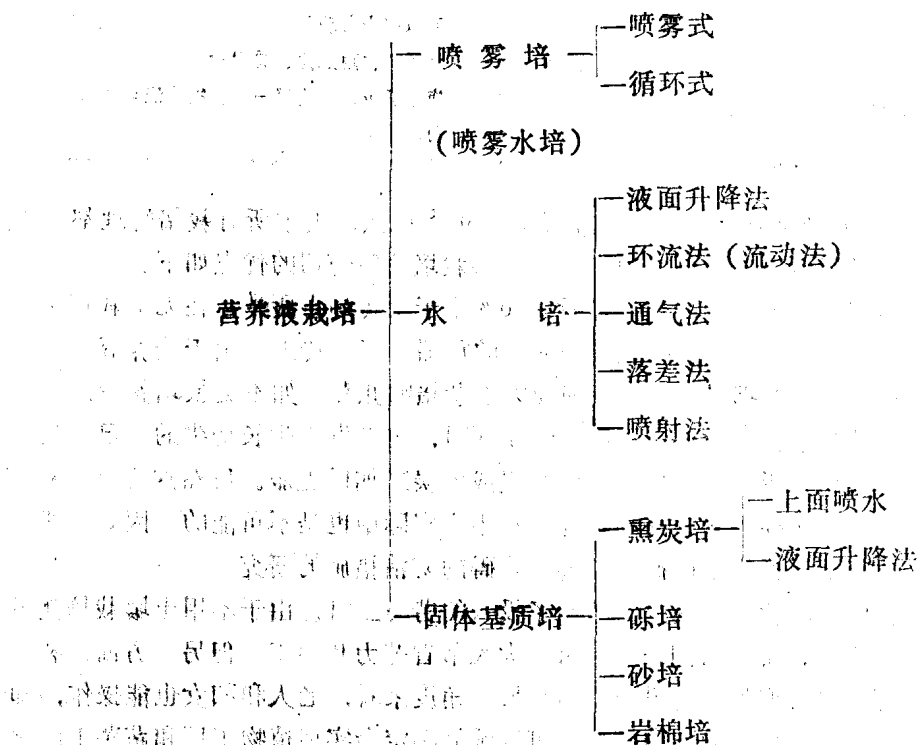
来的。表1还看出,防雨棚设施明显增多,可见日本的设施园艺正向重装备化和简易化两极分化。所有这些情况,在考虑设施园艺中的无土栽培时,都要予以充分的考虑。

表3示1983年度的设施设置面积、栋数、经营农农户数。从表3可见,日本设施农农户数约26万户,平均一农户约经营400m²的设施,共约3.6栋,延伸面积约1,400m²,这可看出无土栽培的发展是有希望的。

三、无土栽培的现状

Howard M. Resh (1978) 给无土栽培定义为“不用土壤,而以砂砾、泥炭、蛭石、浮石、锯屑等化学惰性物质作为培养基质,然后供给含所有必需元素的营养液的一种科学栽培植物的方法。”日本称为水耕栽培(以下简称水培——译者)。用各种各样的基质,集中研究解决培养液的供液方式和供氧方式,终于开发成今日市售的多种多样的水培设施的式样,现在多改称为“营养液栽培”。

日本目前无土栽培的方式如下:



如前所述,日本是1947年美军在天津和调布开始无土栽培的,日本有许多专家参加了此项工作。由于当时美国人不计成本的,大家都认为这种贵重的水培法无法在生产实际中推广。日本连试验都未进行,蔬菜生产本身也无此必要,故未能在生产上应用。日本自己进行无土栽培试验从1950年山崎和堀两氏从“砾培”开始,以后才逐步发展起来。

据对日本水培的发展作过贡献的板木利隆氏的意见,可划分为三个时期,首先是为砾培实用化的无土栽培开始时期,不久后因原料来源困难发展一直很缓慢。到1969年左右,由于塑料制品栽培床的开发,设备规格化,出现了专门生产水培设备的厂家,无土栽培出现了发

展的第二次浪潮。其后由于石油危机的冲击，发展又遭挫折，再次出现缓慢发展的趋势。直到最近，由于新引进了“营养液膜技术”（Nutrient Film Techigue简称NFT）和岩棉培等新技术，无土栽培发生了很大变化，引起了各方面的极大关注，现在可以称为无土栽培进入了“第三次浪潮”的时代。

表4 无土栽培与土壤栽培的比较

栽 培 管 理	土 壤 栽 培	无 土 栽 培
1. 基质的消毒	需蒸气或药剂消费、费工	同法消毒可实行自动化
2. 施肥	幅度大，易产生局部缺乏症、由于土壤结构和pH影响，许多不能被植物吸收利用	能完全人工调节，比较稳定地给予肥料，所有植物都能均匀地吸收到肥料
3. 栽培密度	受土壤肥力和光量的限制	只受光量限制、可以缩小株距
4. 除草	必须定期进行	不需要
5. 土传病虫害	土传病原菌、线虫、昆虫、小动物较多，危害作物	基质无病菌、昆虫、小动物，无根部病害
6. 水	土壤含水量、结构、保水力等原因经常发生缺水状况	不会发生水分不足状况，测定和调节水分装置可以完全自动化
7. 果实品质	由于缺K、Ca易使果实柔软和产生空洞果	果坚实、耐贮藏、易运输
8. 肥料	大量肥料施于土表，植株之间不可能均匀吸收，利用率低	使用量少，不论那一株植物均能均匀吸收到，利用效率高

据Howard的分析，如表4所示，水培较土培具有很多优点，表中所有栽培管理都胜于一般土培，因该表未涉及经营管理方面，现仅举与蔬菜栽培关系密切的优点如下。

(1) 能避免连作障碍。一般场圃的连作障碍，90%由于土传病害所致；在无土栽培条件下，只要事先充分注意器材处理，就能防止各种病菌的传播。万一传入，由于培养液和基质容易更新，容易除掉病原菌。但据最近报道，即使无土栽培鸭儿芹，如不更换培养液，一直连作（周年栽培8—10茬）下去，那么到了第3—4茬时，也有发现生长变劣的。已查明，这是由于根系分泌有机酸积累所致，可以添加活性炭或木炭来加以克服。虽然这是特殊例子，但从经济观点看，一般想要频繁地更新培养液在生产实际中也是不可能的，因此，即使是无土栽培，也有必要开展连作的基础研究和连作障碍的防治措施的研究。

(2) 由于设施装置的自动化、机械化，节约了投入的劳动工时。由于不用土壤栽培就不需要进行耕耙、除草、土壤消毒等田间作业，可以大大节省劳力和用工。但另一方面，装备现代化设备与机械化等，势必增加经济投资。而从另一角度来看，老人和妇女也能操作，却扩大了就业范围。沿着这种省力化的方向发展。可以预见必定会实现植物工厂和蔬菜工厂化生产。但值得注意的是，将其作为生产手段还要受到许多极为严格的条件的制约。

(3) 栽培环境的洁净化有了可能。在温室、大棚的栽培中，经常从土壤中发生病虫害污染的问题，同时从土表蒸发的水分，增高室内湿度，成为病虫害蔓延的原因，所以在某个时期，必须在土表或走道上铺上地膜。在无土栽培条件下，至少可以防止以上情况的发生，随土壤带来的污染或资材的耗费等都可减免。同时室内湿度的问题，由于设备的齐全和管理的精密，也易于控制，从而维持了环境的优美，打破了一向认为农业→土壤→不清洁的传统观念，所以，无土栽培在精神文明上也得到了很高的评价。

(4) 增加了产量, 提高了品质。据Howard调查, 美国土壤栽培与无土栽培作物产量比较如表5。但在日本, 以这种方式进行比较的实例很少见到, 但也有一例报告如图4(略)那样。一般而言, 初期的无土栽培总是比不上土壤栽培的。最近才达到两者没有多大差别的程度。对此, 不如上述1—3项的优点易于被理解。

无土栽培的产品品质, 依作物品种而异。有人批评无土栽培的果菜含水量多。对此, 即使水分多也未尝不好。而鸭儿芹、水芹、葱等则有人批评芳香味少了, 可是许多的报道都认为商品品质没有大的差别。不用说, 由于无土栽培肥效高, 因此被怀疑其产品是否水淋淋的, 贮藏性是否下降, 但也有果菜的贮藏性反而提高了的报道。

(5) 有可能生产由于土壤的原因不适于土栽的作物。无土栽培不仅能避免连作障碍, 即使已经发生障碍了的地带, 也有可能再次生产。在都市内或都市周围限制喷布农药或土壤消毒的菜地利用无土栽培便显示其优越性。但也有因不能完全避免暖房的噪音和喷药, 在有可能栽培的地带上, 也有因别的因素的限制而不能进行无土栽培的。如后所述那样, 作为余暇休息时希望以无土栽培蔬菜花卉的人不少。但作为商品性生产时, 就要充分考虑改善交通条件是否有利于流通, 这一点在土壤不适地域进行无土栽培时要充分注意。

以上列举的无土栽培的优点, 下面谈谈其缺点:

(1) 因设备现代化而投资大、成本高。表6示现在日本生产水培设备的代表厂家所列的价格, 一般每10a(公亩)都超过3,000万日元, 如无贷款、补助, 负担这样大的投资并非容易。此外, 还要考虑到设备的运转费用等, 不能贸然从事, 更不允许中途失败。由于经验不足, 贸然引种洋甜瓜等价值高的作物而导致失败的实例也是不少的。由于初期投资很大, 经营者是否对原来的土栽具有充分的经验, 是否具有对设备仪器的熟练操作技术和相应的化学知识, 是必要的前提条件, 但是, 正如后述那样, 由于岩棉技术的开发, 可以克服这一缺点。

(2) 与土耕比较, 培养液缓冲能力低, 管理困难(pH、浓度、水溶氧等调节)。土耕的优点除能支持植物体以外, 还能阻挡肥料溶液浓度和pH的胁迫, 减轻或排除其对植物体的直接影响, 而无土栽培缺少这种介质保护体, 直接影响作物的生长(岩棉可改善此状况)。经过许多试验研究, 提出了各种各样减轻这一影响的方案。为此, 经常要以最希望的形式来进行培养液的调节和环境条件的调控, 并且必须要根据作物不同生育时期作相应的调整, 这就是前述的经营者要有“经验、技能、知识”的缘故。这些调控技术由于导入了传感器而能实现自动化操作。可是, 作物生长过程中变化复杂, 与其相应的调控事项太多, 这也是不利于无土栽培普及的一个主要因素。

(3) 若病原菌侵入培养液则作物有全军覆没之虑。这是无土栽培始期就担心的问题, 砾培时期就是因石砾来源限制和残根处理与防病措施解决不好等原因, 终于无法普及。1969年

表5 土培与水培产量比较(美国)

(t/10a=吨/10公亩)

作物	土 培	水 培
水稻	0.112	0.560
四季豆	1.24	5.19
豌豆	0.247	2.22
燕麦	0.112	0.280
甘 蓝	1.46	2.01
黄 瓜	0.784	3.13
小 麦	0.0672kg	0.459
马铃薯	1.98	17.3
大 豆	0.0672	0.174
番 茄	1.24—2.47	14.8—74.1
甜 菜	0.988	2.97
莴 苣	1.00	2.35

表6 日本主要厂家及其无土栽培设施价格(例)

公 司 名 称	形 式	整套装置价格 千日元/km ²				备 注
		温室框架	本 体 + 附属体	环控装置	计	
协 和	贮液罐附循环方式 A型	17,456	8,346	9,062	32,864	环境调控装置包括: (千日元) 暖房机 1,265 冷房机 5,000 二重帘 1,285 换风扇 336 CO ₂ 发生器 326 复合环控装置 850 计 9,062
M式水培研究所	NFT M式水培	17,456	8,404	9,062	32,922	
新和塑料	等量交换式	17,456	5,350	9,062	31,888	
砂 培	砂培方式 (叶菜用)	17,456	6,916	9,062	33,434	
竹原产业开发	溪流声式	17,456	5,733	9,062	32,251	

左右,由于塑料栽培床的应用,克服了原有水泥制的操作管理不便的缺点,且便于灵活拆卸,而且普及了床盖,终于防止了病菌的侵入。但是多数设置的培养液是从贮液槽和栽培床间循环供液的,还不能完全排除病菌传染的危险性,理论上是可以消除这种危险性的,但势必增加设备投资,故至今日仍未能解决。

鉴于以上各点,适于无土栽培的作物类型有:

(1) 在设施栽培中商品性与经济效益高的作物。这些作物一般不易栽培,必须有较好的设备和管理技术。

(2) 对pH、肥料浓度、水中溶氧等的变化适应范围广的作物,这些作物似耐粗放的管理,多数情况下,未必是高档蔬菜,在商品上评价就不同了。或者是风险小,且适于连作和生长期短的作物。

(3) 土培易于产生连作障碍的作物。但这些作物中也有不适于无土栽培的,例如,除了“20日萝卜”以外的各种萝卜品种,大白菜和甘蓝等。

现举具备以上条件的几种作物有:番茄、黄瓜、鸭儿芹、茼蒿、葱等。在无土栽培实际中已具有一定经济规模的蔬菜如表7所示。除此之外,还有的尚处于试验阶段,如菠菜、韭菜、许多草花和观叶植物及一部分果树。

表7 无土栽培中常见的作物(板木)

类 别	作 物 种 类
叶 菜 类	鸭儿芹、茼蒿、莴苣、小松菜、葱、萝卜芽、芹菜、洋芹、菊苣、紫苏
果 菜 类	番茄、黄瓜、洋甜瓜、甜椒、茄子、西瓜、四季豆、草莓、
根 菜 类	小萝卜、小芜菁
花 卉 类	菊花、玫瑰、紫罗兰

近年日本的无土栽培面积如表8,从生产水培设施的厂方调查的数字则如表9。从表8可见,1977—1985的8年中,增加了100ha,以后,就未见有明显的增加。从厂方调查数字与实际面积之差估计是由于一部分装置虽已卖出,但仍闲置于仓库之中。在1979—1983年的统

计数字中可能还包括了一部分萝卜芽和滴灌设施的面积，尚需作进一步的调查。

以上所述无土栽培的优点，以及各厂家热衷于对其设施的改良与开发，近来普及却处于停滞状况似不可解。最主要的原因，乃是初期投资太大，其次还有下列原因：

(1) 有关无土栽培的手册，技术指导书太少。

(2) 由于从各生产水培设施的厂家处引进了装置，而科研机关、技术推广和农协等国立单位却未参加技术指导。

(3) 投资大，风险率大等缺点也未得到改善。

(4) 除一部分农家外，一般设施园艺家还未认识到依靠和引进无土栽培的必要性。

四、再论为什么现在又时兴起无土栽培

现在日本各界对无土栽培虽寄予关心，但事实上无土栽培在设施园艺中所占比重，蔬菜仅占0.94%、花卉0.58%，总计不过占设施总面积的0.8%。无土栽培的实际农户数虽不了解，但从事设施园艺的农户数，蔬菜约198,000户，花卉约39,000户，果树约21,000户，从这些来推测蔬菜、花卉经营无土栽培的农户数，恐怕大体上也是相应的比例数。可见在设施园艺中，土壤栽培仍占主导地位并进行着顺利的经营管理，其产品也在国民饮食中占支配地位。

表8 无土栽培设施的设置面积的推移 (单位: ha)

		1965	1967	1969	1971	1973	1975	1977	1979	1981	1983
温室内	蔬菜	...	...	...	8	19	39	54	51	68	75
	花卉	...	...	...	0	1	4	6	10	7	9
	果树	...	...	...	—	—	0	—	—	—	—
	计	4	6	7	8	19	34	60	61	75	85
塑料大棚	蔬菜	...	...	...	23	39	69	85	198	200	196
	花卉	...	...	...	0	1	1	5	4	6	12
	果树	...	...	...	0	0	—	0	—	—	—
	计	11	16	23	23	40	71	91	202	207	208
其他设施	蔬菜	...	...	...	30	57	99	139	249	269	271
	花卉	...	...	...	0	2	5	12	13	13	22
	果树	...	...	...	0	0	0	0	—	—	—
	计	15	22	30	31	59	104	151	262	282	293

注: ...未调查, 一虽调查但不符合条件, 0 符合条件不满一单位。

表9 主要厂家出售无土栽培设置实际面积 (ha, 1983)

厂家	面积	%	厂家	面积	%
1. 协和	125	40.3	7. 竹原产业开发	8	2.6
2. M式水培研究所	75	21.4	8. 日东纺	3	1.0
3. 新和塑料	40	12.9	9. 住友电工	3	1.0
4. 三水	13	4.2	10. 住友胶合剂	2.5	0.8
5. 米可多育种农场	13	4.2	11. 其它	15.5	5.0
6. 日本水培研究所	12	3.9	合计	310	100

这是一个重要的事实。那末在此情况下，为什么各方面都围绕着无土栽培并予以极大的关心与寄以期望呢？我想也许有以下原因：

（一）一般消费者的关心

（1）期望获得保健食品。一般消费者都很希望得到所谓“保健食品”，他们对食品添加剂存在不少的恐惧心理，当然也有人会“因噎废食”。与期望保健食品直接联系的就是要求得到所谓无农药、无化肥的蔬菜，对此，因与本文无关，不作展开讨论。但在这种要求声中，他们不太了解，有史以来，以蔬菜为首的所有农作物都是通过长期人工选育培育成的，产品器官都有很高利用价值且是便于利用的植物，但对自然界野生的植物来说是“具有遗传病的畸形的植物，因此，所有的作物都密切与人相依存，在人们的保护下才能保持其特有的经济性状。因此，除非在特殊的场所、时间、产量和品质要求的条件下，在一般生产条件下，所谓无农药、无化肥的耕作，我认为几乎是不可能的。

为适应一般消费者对保健食品的需求，现在日本实行了食品检验制度。这对蔬菜等生鲜食品特别显得重要，即在市场上对上市产品抽查检验农药残留量。

无土栽培被看作极有希望的保健食品的有效生产手段。在清洁的工厂般的环境中，吸收着洁净的肥料，栽培着蔬菜。现今的筑波世界博览会，使用这样的装置，不是成功地栽培了一棵结果12,000个的番茄吗？它更加强了消费者的这种期望。并以此为例作为其有力的依据。可是作为农业生产则完全是另一回事。虽然农林水产省已作了说明与此例无关，但几乎得不到理解，更不用说，如果批评这棵番茄展览品，一定会遭到非难，与此事毫无关系的农林水产有关人员，反而会遭到反批判。

期望获得保健食品的人们，对于作为经济行为的农业经营是如何进行的，对于经过怎样的步骤，才能提供人们所需的食品等等，往往是一无所知或毫无关系。但对增进健康的愿望却是人们的本能，而且要求越来越高，因此，无土栽培成了人们追求的愿望。笔者等认为无土栽培的前提是需求平衡成本及其经济效益等之间的关系，但也恐怕要超过这些经济原则。“欲得安全，必然要付出代价”，无土栽培蔬菜的价格必然要上升。假设以上都是确实的话。那末笔者要问，难道现在从事设施园艺栽培的198,000户农家，都是生产着“非健康的蔬菜”吗？这个问题势必已为一个大疑问留在人们的脑际。

（2）期望蔬菜生产工业化。战后有一时期，在百货店食品门市部中设立了“洁净蔬菜”专柜，一般菜店也在店门标明其产品系洁净蔬菜。当时美国占领军认为日本的蔬菜是用人类尿浇的，最初从美国运来蔬菜供应，后来在大津、调布二地设立水培农场，实现了军需蔬菜的自给。事实上战前和战后，日本的蔬菜、稻麦主要都是依靠施用人粪尿栽培的，真是奇怪极了，为什么家畜粪尿可以施用而人粪尿则不能用呢？当时，因为菜农受经济条件的限制，多用人粪尿施肥，不过这对于很多是用来生食的蔬菜来说，确是应该改变的。现在由于不大受欢迎的化肥上市，已不再施用人粪尿，生产出的蔬菜，应该是洁净蔬菜了。可是对农业是外行的人们，总是把农业→土壤→不清洁联系在一起，而对人工调控环境的条件下，进行无土栽培的食品生产给予很高的评价。还有的人认为农业是低效率的代名词。我们即使说农业与工业有本质的不同，也不容易被理解。相反，投入大量能耗生产所谓“石油蛋白”食品的观点，也不赞成或采纳，但一般人们总认为工业生产的质量总比农业生产要高。因此对装备日趋现代化、机械化、自动化的无土栽培，由于改变了农业的后进性和不清洁的部分，就越来越寄予希望了。

(二) 菜农和设施园艺农家的关心

假如能经常地实现上述无土栽培的优点，而易于消除其缺点，那么现在从事设施蔬菜生产的农家，恐怕明天就会都改换成无土栽培。可是这还缺乏现实性，俗话说要克服缺点还得花大力气。可是，最近由于 NFT 和 岩棉培技术的出现，出现了急剧的变化，可以说实现无土栽培的可能性已经具备。现在设施园艺先进国的荷兰，据说60%（有报道为80%）的设施园艺都已从传统的栽培方式改为上述二种无土栽培方式了。想必为适应设施农家的愿望，无土栽培必将继续不断改进。在此，试就为什么设施农家对无土栽培的潜在愿望越来越高涨，首先作一分析。

回忆日本制订《农业基本法》的年代，人们都迎来了极大的希望，然后是兼营农家在农业中得到承认，当时听到了日本农业必须存在的主要理由是：（1）保持领土主权的完整；（2）确保绿地的面积；（3）为老人、妇女劳动力提供出路；（4）维持农业的自给率等等，当时的情景记忆犹新。现在，又要对无土栽培予以评价，听到了对其寄予希望的呼声，使人不得不联想起公布农业基本法那时的类似情景。可是到底是现在的社会环境状况比起那个时代已大不相同，已处于一种不断的变化和发展之中。

（1）期望从重劳动中得到解放。换言之，即想提高劳动的质量。现在设施园艺的重装备化、自动化、省力化等程度方面，虽都得到了加强，但是有时仍需繁重的人工操作，为适应作物的生长进行人工调控的环境下的劳动有时仍是很辛苦的，为不耽误作物收获期，有时甚至每天要及时采收2次，把农家的手脚都捆住了。因此，更加现代化、机械化、自动化，具有所谓“按电钮”农业名声的无土栽培，对农家来说，必然具有极大的吸引力，特别是随着自动化程度的增强，能摆脱长时间的劳动，这更增强了对农家的吸引力。而实现这一愿望的主要障碍，是由于不易筹集到足够的资金，正因为如此，反而更加增加了农家对搞无土栽培的潜在愿望。

（2）期望从土壤耕作中获得解放。期望摆脱繁重的体力劳动和脏活，的确现已成为年轻一代农民的强烈的追求。无土栽培因能满足农家爱清洁的愿望而得到重视。这一点与一般消费者的喜好也是一致的。

在土壤栽培中，由于依赖土壤耕作出现了某些困难，最大的问题是出现了连作障碍。但设施园艺面积却仍有趣地逐年增加着。虽说增施堆厩肥、深耕、换土可以防止连作障碍，但从劳力与经济上都是不容易办到的事情。但无土栽培用不着花费劳力就可以消除连作障碍，农家很自然希望搞无土栽培了。

（3）解决农业接班人问题。笔者评判受奖学术论文的最后一条理由，往往还要看其是否讨论了解决农业接班人的问题的措施，这是现实中一个相当重要的问题。有一个时期，父母给儿子买小汽车的办法作为解决农家接班人的手法，但现在则多利用提高农业机械化程度，利用机械力代替人力的手段来培养和稳住农业接班人。从这点来看，无土栽培被年轻人看成是时髦的、现代化的、干净的农业。

（4）蔬菜进行工业化生产的吸引力。农家和前述消费者具有同样心情。笔者所属的日本设施园艺协会受委托调查现在无土栽培农家的动机和意图结果，大部分是出于羡慕无土栽培的优点。另一方面，从经营失败的几个例子来看，有的是盲目追求时髦，有的仅仅是希望进行蔬菜的工业化生产，也有是求虚荣装饰门面的，也有的是想作为摆脱农业的后进性的手段而选择无土栽培的。

(三) 研究者的关心

已如前述,作为一种研究手段,水培已有悠久的历史了。考虑到现在利用蔬菜工厂和植物工厂,可以说关心无土栽培的研究者是为数不少的。

(1) 农业(学)领域的研究者。其共同的认识前提是,包括园艺作物在内的作物栽培主体仍是土壤栽培,即使到将来也不会改变。至于象园艺作物那样需要集约管理的,在特殊的场合,也许可以离开土壤栽培。即便如此,也要基于需求与流通,服从于经济法则,无土栽培也不例外。

对研究者来说,无土栽培仅作为土壤肥料和植物营养的一种研究手段,或作为生物技术的配套技术来应用。但一般的园艺生产,受许多边缘学科技术设备的进步所支配,无土栽培也是如此。由于对植物的生长,生理和营养等基本规律已经有相当的了解,所以无土栽培得以发展。今后应着重从联系生产这一点上进行更进一步的研究。

要抓住无土栽培是设施园艺的一种形式(虽然有其显著的特异性)这一点,随着设施园艺自动化程度的不断推进,要充分认识,它将作为一种极为重要的形式存在。可是近年来,传统的设施园艺正表现为重装备化和简易化两极分化的倾向。在这种情况下,无土栽培,特别是其新技术,将以怎样的方式展开,或者在试验研究方面如何适应这个形势,将面临着极为有趣的课题。

(2) 非农业其他生产部门的研究者。非农业部门的研究者,在本身研究课题的实验场地进行着无土栽培实用性的试验,他们往往是在不了解生物和作物的特性,不懂农业生产的特异性的条件下,进行不断的探索。其中有的是进行纠正农业生产或农业试验研究的后进性这类可贵的课题的研究。从这样的情况出发,装备日趋进步,有可能摆脱自然条件支配的无土栽培,作为似农而非农业生产似的场所,有极大的可能发现各种各样的新课题。农业以外的研究者与农业部门的研究者对无土栽培研究中的相互关系,好比农业部门与生物技术部门的关系那样,为了今后无土栽培的发展、极其希望要加强协作。

(四) 与设施园艺有关的工商界的关心

如前所述,笔者所属协会自去年以来在会员中设立了“无土栽培研究会”,进行了有关商品介绍和将来研究课题等的讨论和研究。另外,关于植物工厂研究会也在筹建之中。1982—1983年左右,设施园艺界各方面迎来了一个发展的新高潮,生产各种设施资材、设备的厂家公司,都想以新的发展和开发新设施作为其奋斗目标。本协会也要适应这种形势。设施园艺基本上是适应蔬菜生产的需要而发展起来的,正如象所看到的节能措施,各厂家要经常地为了降低成本、增加生产,而进行着惊人的努力来开发新机械设备。园艺生产也是同样的,产业界处于一个商品生产竞争的社会中,对于作为其产品的一个组成部分的无土栽培,同样予以极大的关心,所以今后仍将竞相努力开发新设备和新机械,这种竞争的局面将持续下去。

前述无土栽培设备制造厂家已超过15个,包括自制品和已经销售的,各种各样的独立的样式,已普及于无土栽培中,但其中大部分是水培样式。几年前引进了岩棉培技术,新开辟了固体基质栽培形式的新天地,详情将在专门章节介绍。由于岩棉培的引进,它与传统的水耕栽培完全不同,从而无土栽培普及的可能性也因此而到来了,这必然引起各方面、尤其是工商界的更加重视。