

学科动向

国外设施园艺环境控制新技术的发展

——生物工程、系统工程、知识工程及其他

(日本专家古在丰树来华讲学摘编)

1987年11月2~8日日本千叶大学园艺学部环境工学研究室副教授古在丰树博士,应北京农业大学园艺系邀请来华讲学。来自全国13个省、市27个单位的科研人员、教师、研究生50余人参加了讲学活动。讲学内容有七个方面:1.设施园艺环境控制新技术的动向与展望;2.温室光照环境的理论计算;3.计算机在温室环境中的应用;4.日本的蔬菜无土栽培;5.环境工程、生物工程与种苗工厂;6.温室环境调节的节能新技术;7.知识工程、专家系统在设施园艺中的应用。古在先生除讲学外,还分别与北京农业大学园艺系及中国农科院气象室、蔬菜所的同志,就有关专题进行了深入的交流和探讨。我们将古在先生对环境工程、生物工程与种苗工厂及系统工程、知识工程、专家系统等在设施园艺中应用的主要学术观点及科研情况简要介绍如下。

一、环境工程、生物工程与种苗工厂

(一) 21世纪的农业生产形态

古在先生认为,从长远来看,植物工厂特别是种苗工厂,将是21世纪世界粮食生产的重要支柱之一。组织培养苗的生产将成为一种产业。不仅园艺作物,而且主要的粮食作物,树苗等都将采用组培苗。组培苗将像肥料、农药、农业机械等商品一样,由种苗公司在种苗工厂中生产。大部分苗子将由农家在太阳光下载培,一小部分则在具备人工光照的植物工厂中,由企业或专业农户进行栽培。

以生物工程为基础的未来的集约农业生产系统,其模式如图1所示。通过生物工程育出的新品种植株的生长点、细胞、杂交种(F_1)种子等,经组织培养装置、人工种子生产装置、育苗装置等育成幼苗后,再在驯化装置中育成定植用苗,最后栽培到温室或露地。组培苗及人工种子一般对外界环境适应力弱,定植前要经过充分锻炼以促进定植后苗子的生长。提高苗子对环境的应变力的炼苗装置,称为驯化装置。

所谓植物工厂,是指具有比较高级的水培装置和环境调节设备,大部分栽培作业实现自动化的植物生产设施。用它周年生产附加值高的植物,达到高产稳产优质的目的。植物工厂中,气温、 CO_2 浓度、光量、湿度、营养液组分等等环境条件都实行自动控制。有人工光型和人工光与自然光兼用型两种。

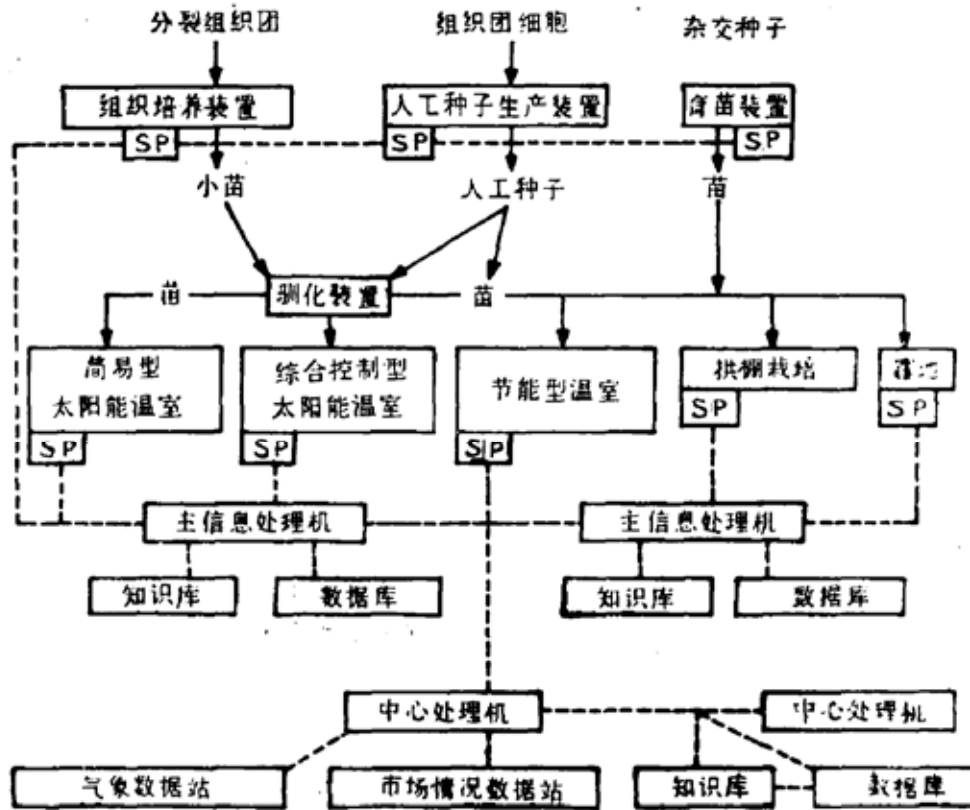


图 1 以生物工程为基础的集约农业生产体系及情况网络

- 注 1. 图中的SP为子处理机，实线为植物的流程，虚线为情报的流程。
- 2. 子处理机，主处理机，中心处理机分别使用微电脑微机和小型机

1975年以来，欧美建设了一些人工光型的生产叶类菜（生菜等）的植物工厂，但至1987年为止，成功的仅有几例。日本从1982年至今，商业运营成功的植物工厂约有10例。主要生产生菜，生育期间2~3周，栽培床面积多为200~500平方米，最大的也不过1000平方米。

大幅度降低所需光量与光热费用，是发展普及人工光型植物工厂的关键问题。生产叶菜的人工光型蔬菜工厂，光热费约占总生产成本的40~50%，占直接生产成本的90%。光热费中，60%为照明电费、30%为空调（主要是制冷）电费。

用人工光型植物工厂栽培粮食作物、饲料作物和树苗等，由于需光量很大，将来也未必可行。但是，如仅把需光量较少的苗期放在人工光下培育，然后在自然光下栽培，情形就不同了。在种苗生产中，植物工厂的技术可以发挥威力。

所谓种苗工厂，就是以工厂化的生产方式生产植物幼苗或人工种子的设施。也叫育苗工厂。广义上它包括大量生产实生苗（用种子）和扦插苗的设施，狭义上则专指大量生产组织培养苗的设施。就是说，种苗工厂是专门生产苗子的植物工厂。

目前，大种苗公司组织培养苗的年生产量，欧美约为几千万株，日本约为几十万至几百万株。组培苗的上市量正逐年增大。主要生产兰花、香石竹等花卉和草莓等脱毒苗。尚未用到粮食作物上。

现在，组培苗的大量生产仍为手工业方式，人工费用占直接生产成本的60~70%以上。

组培苗的上市价格每株约100~200日元。如果生产成本能降到1/5~1/10以下,其利用范围可扩展到主要的作物,特别是薯类,热带亚热带果树类,造林用苗木,柑桔类苗木等方面,需求量将相当可观。

种苗工厂生产若能实现自动化,培养苗的成本将会大幅度降低。就象汽车、电视、计算机的普及一样,组培苗的生产也会出现生产成本迅速下降与需求量迅猛增长相互作用时刻,尤其是人工种子技术达到实用化时,种苗工厂将引起一场农业的革新。

植物工厂,种苗工厂技术,是把各种尖端产业综合起来的综合尖端技术。在各种尖端技术齐头并进,系统化技术发达的国家,是可以实现的。种苗生产将不仅只成为一个产业部门,而且将会大幅度提高世界的作物产量。

(二) 农业环境工程在植物生物工程中的作用

生物工程的应用大致包括三部分:(1)新品种培育;(2)生物生产;(3)有用物质生产,如图2所示。

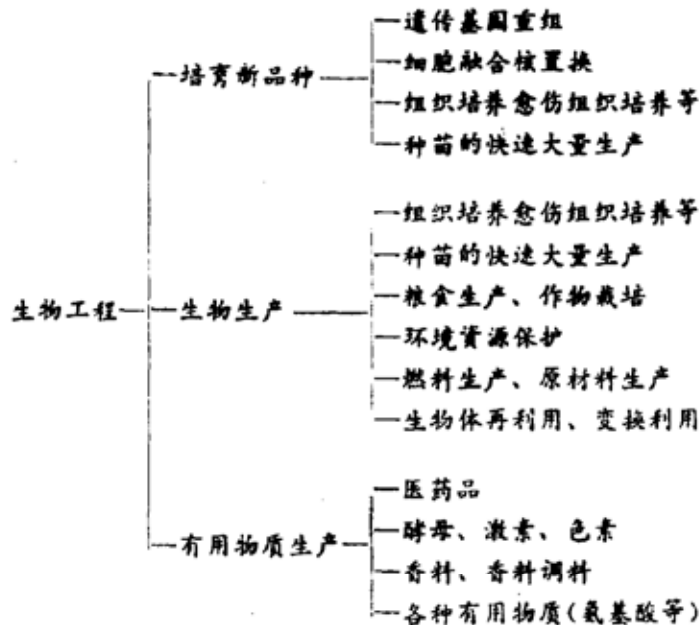


图2 生物工程的应用领域及组织培养技术的地位

人们一般不大能看到生物工程和农业环境工程之间的直接关系。但是,从图2的生物生产一项中可以清楚看到,两者本质上的联系是很密切的,而且可以预测,将来会更加密切。农业环境工程研究人员,对生物工程的发展将会做出贡献。不过,要做到这一点,必须冲破传统的农业环境工程的框框,以新的观点和手段,研究更广阔的问题。

在上述的以生物工程为基础的集约化作物生产体系中,必须注意三点:

第1点,用生物工程方法育出的新品种大致有两类。一类是维持适宜的环境条件则能获得最高的产量,在不良环境下则低产的品种。另一类是在变化很大的环境下也能有一定收成,但即使环境条件很适宜也得不到最高产量的品种。集约农业主要是在调节环境过程中栽培前者。

第2点,无论集约农业的技术如何发展,作为热量来源的粮食作物(稻、麦、薯类、玉米等),仍必须在阳光下栽培,而不能在人工光源下栽培。能够在人工光照下栽培的作物,

只限于部分叶菜类、药用植物、有用植物、花卉等的栽培,各种作物的育苗,或育种用作物的栽培等。这一点从光能向光合产物转化的能量转换效率来考虑便很清楚,由于容易误解必须注意。农业生产本质上应依靠环境能源(太阳能、风能等),而不是依靠资源能源(石油、煤、原子能等)。

第 3 点,定植后在阳光(环境能源)下栽培的作物,其苗子(组培苗、人工种子等)在人工光(资源能源)下培育的情况,今后将会增多。传统的种苗行业主要是经营种子,今后,苗子的经营量将增大。在这种情况下,育苗、苗子的流通以及定植后的环境调节的必要性将不断加大。在开发新的栽培系统的时候,对于培养苗及其驯化、流通、营养液栽培等作物栽培的全过程系统地加以考虑,有预见性地设计是很重要的。

用组织培养快速大量繁殖苗子的技术,还有很多问题需要解决。如培育时间过长(数月到数年),苗子大小不均一,对环境应变力弱成活率低(20~70%)等。对于培养器内环境和幼苗的关系,以往除了培养其组分和分化、愈伤组织形成及再分化的关系,几乎一无所知。

古在先生认为,传统的培养器内常处于高湿状态,往往使得叶表面的角质层不发达,气孔活性及根的吸水功能不发达。再者,培养器内 CO_2 不足、光照差,环境条件不适于光合作用,使得叶片的光合功能差。通过采用环境调节技术,完全有可能把组培苗的培育时间缩短 30—40%,而苗的成活率则提高 30~40%。遗传性均一的苗子的成长,决定于环境条件。所以,农业环境工程在组织培养技术中的作用是很大的。

与上述问题有关的农业环境工程的课题,可列举如下。

组织培养方面:(1)异养期(以培养基的糖作为碳源)培养器内的能量平衡;(2)培养器内的 CO_2 、 O_2 、乙烯等的测量;(3)培养器内水分环境(空气湿度及基质的水势)的测定;(4)培养基组分及 PH 等的连续测定;(5)培养器内光环境的测定;(6)上述环境因子与小植物体生长间的关系,模拟模型的研究。

尤其是,对于从异养期向自养期(以 CO_2 为碳源)转移时期的环境条件,要研究(7)上述环境因子的调节;(8)上述环境因子的最佳组合,阐明培养器内的生态系(培养基—小植物体—大气系统);(9)开发快速大量生产用的培养器及人工培养基。

关于驯化方面:(1)组织培养苗的光合强度的测定;(2)组培苗的水分代谢的测定;(3)驯化装置的研制;(4)查明驯化阶段苗子生长与环境间的关系;(5)查明主要作物、主要品种的适宜驯化过程;(6)查明驯化苗的流通、温室栽培及露地栽培时的适宜环境条件。

农业环境工程研究人员对于设施园艺或农场的作物,已经作过长期的类似的研究。只要活用从中得到的经验和手段,是比较容易解决同样的问题的。组织培养装置和驯化装置的规模,比温室和农场要小得多,实验室规模的研究搬过来就可成为实用技术,不要多大的研究费用。另一方面,组织培养和驯化阶段,不光是光合作用和物质生产,还有分化、发育、形态形成等,和环境间的相互关系也很重要。简单地把农场的研究成果拿来用就不行了。

通过测量手段,查明上述环境因子与苗子生长、分化等的关系,根据其相互关系,研究预测生长用的模拟模型并不困难。组织培养装置和驯化装置都是半封闭系统,系统动力学的解析也比露地和温室容易。这个方面,系统工程方法可以发挥作用。

上述观点不局限于植物组织培养,也适用于生物生产,以及粮食、原材料、环境资源的利用和再利用等方面。迅速发展的生物工程,要真正在农业生产上起作用,就离不开农业环境工程或生物环境调节工程的积极支持。

(三) 组培快繁技术的改革

1. 革新组培快繁技术的设想

古在先生认为,传统的组织培养方法中,有不少不合理的因素。例如,由于培养基中含有许多糖(2~3%),容易受霉菌和细菌污染。为了防止污染,不得不进行繁琐的手工灭菌,采用小容器和铝箔封盖。这又造成了容器内光照不足,CO₂欠缺,湿度过高等不良环境,引起小植物体光合作用功能差,根叶生长弱,易出现生长异常(如玻璃苗),对环境应变力差等缺陷。使得组织培养手工操作多,苗子培育时间过长,成活率低。可能是传统方法的思想束缚,人们不大注意不合理的环境条件所造成的影响。实际上,土壤和水培营养液中都没有糖,营养液各组分的浓度也远比组培基质中的浓度低,可见植物自养期基质内不需要糖和过高的养分浓度。

用传统方法培养的各种小植物体,其培养容器(容积为40~160ml)内的CO₂浓度随时间的变化,经古在先生等测定查明,在开始照光的1~2小时内即由几千ppm迅速下降到70~90ppm左右,随后的光照期中都维持这种低浓度状态。这个浓度只略高于植物的平均CO₂补偿点(约50ppm)。到暗期又恢复高浓度。这种浓度的变化是随着小植物体的光合强度、呼吸强度,培养器的容积和通气性的不同而有差异的。由此可知:(1)分化了茎叶的小植物体具有光合作用能力(能够进行自养生长);(2)但是,由于培养容器内CO₂浓度低,限制了小植物体的光合作用,净光合强度极小;(3)因此,培养基中的糖类,实际上成了小植物体生长的主要能源。小植物体异养生长强,而自养生长弱,表现为混合营养生长。

从上述3点看到有如下的可能性:

(1)如果人为地提高明期培养器内的CO₂浓度(施用CO₂),进而提高明期的光辐射强度(求合有效辐射通量),将会增大小植物体的净光合强度,促进其生长(CO₂浓度不是生长的限制因子时,光合有效辐射量就很容易变成生长的限制因子)。

(2)如果小植物体的自养能力得到强化,将促进驯化期间及定植后的生长,并降低驯化期间培养苗的枯死率。

(3)如果小植物体的自养能力强,则继代(增殖)培养的培养基中的糖浓度可以降低,甚至可能降为零。

(4)如果培养基中的糖浓度能够降低或降到零,不仅将降低生产成本,而且由于霉菌、细菌对培养基的污染机会变小,培养苗的生产系统将可以简化,从而便于实现自动化。

以上设想如能实现,组培快繁技术将会全面改观。

2. 培养器内环境条件与小植物体生长的研究

通过试验古在等发现,培养器内增施CO₂和提高光照,都能促进香石竹和兰花等小植物体的生长。在230 μ m⁰¹S⁻¹m⁻²的强光(为传统对照区的4倍以上)区施用CO₂(500ppm),培养时间可比传统的缩短近一半。培养基中糖浓度物0%时,小植物体照样生长,尤其在施用CO₂的强光区生长良好(图3)

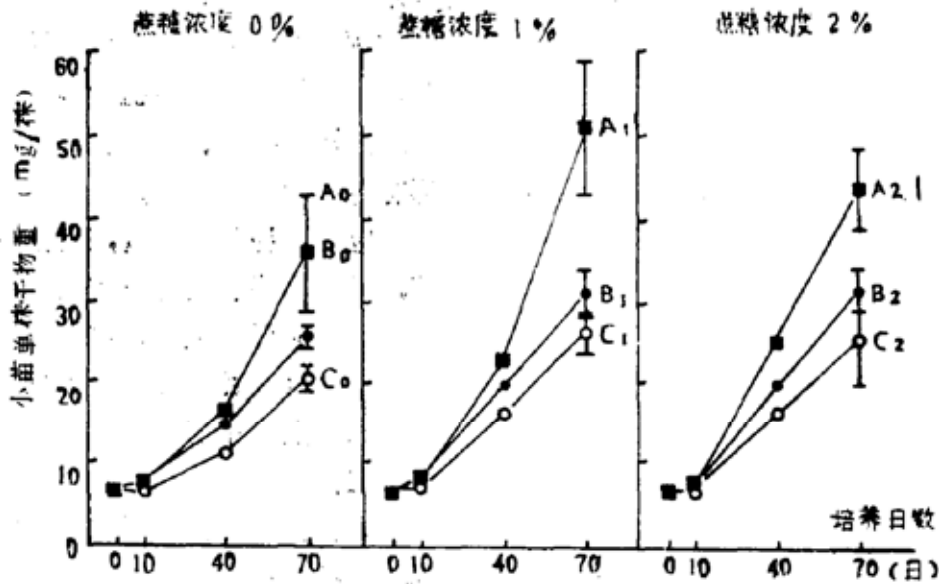


图3 培养小植物体(兰花)的干物重随时间的变化(古在等1987)

A■:施用CO₂、强光区 B●:不施CO₂、强光区 C○:不施CO₂、弱光区; 70日的干物重所示的置信区间、信度为95%。

3. 改进组培器具的研究

① 透光通气封盖的研究。

用传统铝箔封盖的试管并列于培养架上, 照明灯光要通过多层玻璃才进入试管内, 使试管内光照很差。据富士原等测定, 当荧光灯下的试管口部可见光量子密度为3600pmol/cm²/S时, 铝箔封盖的试管内才为493pmol/cm²/S (约382lx) 而用透明塑料封盖的可达1272pmol/cm²/s (约986lx)。目前, 古在先生等采用具有一定通气性的透光塑料封盖来改善试管内的光环境和气体环境, 节约能源。

② 小植物体培养箱及育苗系统的研究

要把组培小植物体育成健壮的组培苗, 在分化了茎叶的培养阶段, 必须逐渐提高小植物体的光合作用能力和对水分的应变能力。为了开发能满足这种要求的对培养环境具有调节功能的育苗系统, 古在和富士原等试制了小植物体培养箱见图4。用有机玻璃制作的培养箱长53cm、宽28cm、高12cm, 分上下两层。带孔的中间隔板上用陶瓷纤维作基质可定植200株小植物体。上层空间通过进出气口和气体控制部, 可调节内部CO₂浓度, 湿度等, 下层空间循环营养液。将培养箱放入混合光型的人工气候箱内控制调节光照温度环境, 就构成了小规模的小植物体育苗系统。用这种小型水培系统在补充CO₂ (300ppm) 增加光照 (7550lx) 下培养草莓苗, 结果净光合强度为对照的4倍以上, 28天后干物重为对照的1.7倍。由于营养液不用糖, 装置的灭菌及实现移植自动化都变得容易了。这项研究仍在进行中。

4. 组培苗驯化装置的研究

为了提高驯化过程的成活率, 缩短驯化时间, 增强幼苗对环境的应变能力, 提高其光合作用能力, 古在先生等研制了一种组培苗环境驯化装置见图5。这是一台高1.5m、长3m、宽1.5m的混合光型人工气候箱, 可以加温降温, 加湿除湿, 遮光补光、调节CO₂浓度和气流, 并可控制营养液温度、补液量, 调整PH和EC值。由一台通用微机执行监测及控制, 并

记录环境调节机器的运行情况和驯化曲线，具有显示和分析功能。

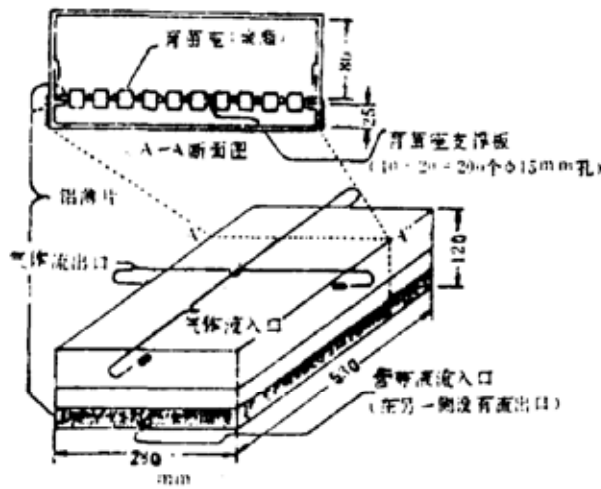


图4 小苗培养箱

驯化曲线采用不断增大环境条件的日变幅，由组培环境向定植环境逐步过渡逼近的方式。相对湿度、温度、光照，CO₂浓度等都有各自的驯化曲线。

应用这种驯化装置，对液体培养的芋头苗，以及草莓、姜等组培苗驯化的结果，都比对照明显促进生长，提高了成活率。

5. 组培苗智能移植系统的研究

采用上述小植物体培养箱，用机械手代替手工操作进行小苗的分切和移植，比较容易实现。古在的合作者们正在研制这种机械手，目标是制成智能型组培苗移植系统。

用环境工程手法革新组培快繁技术的研究，目前刚刚起步。古在先生希望中国的同行们也开展这方面的研究，尽快实现革新的设想。

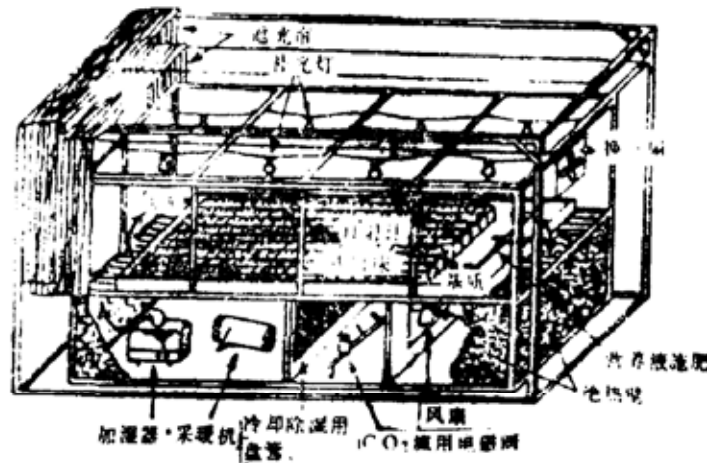


图5 驯化装置

二、系统工程、知识工程与专家系统

(一) 系统工程和知识工程在农业上的应用

1960年以来，随着大型计算机的普及，以系统理论为基础的系统工程方法，在很多领域得到应用。系统工程方法，是把对象系统的结构，用关系图等模式化之后，再用CSMP, DYNAMO等模拟语言编制程序，在计算机上对模式化了的系统进行动态模拟分析。这种模式如图4所示，一般是用状态变量、速度变量、外力变量、辅助变量等，以数理的联立差分方程组形式来表示。因此，系统工程和系统生态学的对象，必须是定义明确、结构确定，系统和环境的边界是明确的。

农学，生态学领域应用系统工程方法，在作物的产量预报，环境管理、生物群体变动的

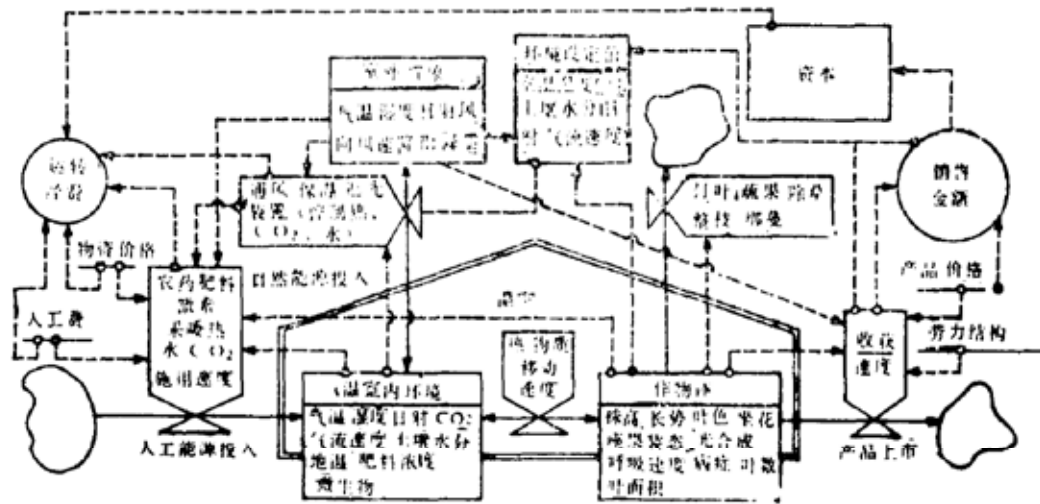


图 6 温室综合环境管理的关系图 (古在1983)

预报等方面都有发展，形成了一门系统生态学。

温室环境的计算机控制方面，以系统工程和系统生态学为基础，提出了不少温室环境模式和作物生长模式。这些模式及其模拟分析的结果，对于理解实际对象系统的物理反应、生态反应很有用，得到了很多有用的见解。

不过，这些模式还不能在温室环境控制和作物栽培管理中实际应用。因为，有关农业生产的作物的和社会的很多方面，用系统工程和系统生态学的数理模式去表达，知识仍不够充分。

知识工程是近20年来新兴的一门计算机应用学科。它研究知识的获取、表达和使用，研究计算机如何利用知识去解决智能问题。进行专家系统、自然语言处理、声音、图象处理，机器翻译等应用研究。

如表 1 所示，知识工程的研究对象与系统工程不同，具有以下特征：定义不明确、结构不确定，边界不明确。知识工程处理解决问题用的知识，多数是描述性的、经验性的定性的，因此，难以用数理模式表达。

表 1 知识工程方法与系统工程方法的不同点

	知识工程方法	系统工程方法
对象	1) 定义不明确 2) 结构不明确 3) 开放系统 4) 管理, 诊断, 计划系统	1) 定义明确 2) 结构确定 3) 封闭系统 4) 物理的生态的系统
模式表达	产生式规则 框架结构 语意网络	数理模式, 关统图 框图
数据收集	经验, 发现, 见解, 推测	观测, 实验, 分析
数据处理	符号处理	数值处理
解决问题的方法	用产生式规则等进行逻辑推理	用模拟、感度分析、统计分析进行数值计算

知识工程用“如果…则…，否则”的产生式规则和框架结构等来表达知识，很适合于农业经验技术和诀窍的表达。

农业上很多方面可以应用知识工程方法，例如：1) 诊断方面如病害诊断、土壤诊断、营养诊断、经营诊断、生育诊断、故障诊断；2) 预报方面如产量预报、病害预报、生育预报、气象预报；3) 设计方面如温室设计、农业机械设计、节能设计；4) 计划方面如耕作计划、生产计划、育种计划、防治计划、栽培计划；5) 控制方面如温室环境控制、农作业机器人、用排水控制；6) 检索方面如智能情报检索、遗传资源检索、新技术检索；7) 咨询方面如法律咨询、经营咨询；8) 教育方面如计算机辅助教育、个人知识的系统化，等等。

即便如此，在上述领域中完全依靠知识工程方法也未必是上策。例如，在温室环境调节中，可以分别情况使用知识工程方法与系统工程方法，如表2所示。实现表2所列的应用，尚需很多年，需要解决的问题仍很多。但是，要在农业领域广泛使用计算机，就必须大量采用知识工程方法。在未来的农业生产管理系统的软件结构中，知识工程方法和系统工程方法是相辅相成，互为补充的。

表2 温室环境调节中知识工程方法和系统工程方法的应用

知 识 工 程	系 统 工 程
1) 异常气象条件下的环境调节	1) 正常气象条件下的环境调节
2) 同时考虑了病害防治的环境调节	2) 考虑了节能的环境调节
3) 同时考虑了温湿度的时间、空间分布的环境调节	3) 只考虑了温湿度的时间、空间平均状况的环境调节
4) 适宜环境条件的判定	4) 适宜环境的维持和调节
5) 环境调节机器的故障诊断及处理	5) 环境调节机器的最佳列用

(二) 农业用专家系统的研究及其应用

知识工程的一个出色成果是专家系统。专家系统是把特定领域专家的知识 and 经验系统化而存贮在计算机内的情报处理系统。对于必须由专家来解决的复杂问题，专家系统以专家的推理方法的计算机模型为基础，可以完成与专家水平相当的咨询工作。专家系统的推理程序，在若A则B的情况下，从规则库中找出（若B则C）、（若C则D）这些规则，从而作出（若A则D）的判断。以产生式规则和框架结构表达的专业知识，和推理程序是彼此完全独立的，因此知识的修改、增补比较容易。

1985年在古在先生的指导下，星岳彦开发了一个专家系统开发工具系统MICCS。这个系统有如下特征：

1. 采用带可信度值的产生式规则。咨询系统存贮的知识，全部用“若…则…，否则…”的产生式规则来表达，如下例所示。MICCS生成的咨询系统，最多可处理500~2000条产生式规则。每条规则都可添加上-100~+100数值的可信度值，便于处理暧昧性的专门知识。诊断结果也带有计算出来的可信度值。番茄病害诊断系统的产生式规则如下：

〔规则-0067〕

若

- (1) 切断茎基部时，维管束变褐色，且
- (2) 按压切断的茎部，分泌出白浊粘液。

则

- (1) 是青枯病的根据强 (90%)。
- (2) 不是凋萎病的根据有 (50%)。
- (3) 不是溃疡病的根据有 (50%)。

2. 能够正反向混合推理。正向推理是由条件部 (如病症) 推导出结论 (病害名等)。反向推理是由假定的结论反推, 验证其条件, 即从假设推导出结论。用MICCS开发咨询系统时, 可任意指定两种推理方法的比例。

3. 使用通用型个人电脑, 采用NEC公司的PC—9801系列, 用N88—日本语BASIC (86) 语言。

4. 系统与用户可用简单的日语进行对话。MICCS利用同义词词库进行简易自然语言的处理。用户可随时用简单的日语要求计算机说明咨询的过程, 提示所用的规则, 解释专业词的含义。

5. 能用彩色图象显示。通过128×128个画素、最大64色的简易图象功能, 可以处理农业必需的彩色图象情报。

6. 推理机中具有各种说明功能。

7. 可以多个用户共同使用。通过用户管理部, 将用户分成系统管理人、系统作者、系统用户分类登记, 根据各用户的名字与暗号, 准予使用MICCS的全部或一部分功能。不过, 多个用户不能在一台机器上同时使用系统。

8. 咨询能够分割成几个阶段进行。利用这种功能, 可以把病害发生的预测→病害名的诊断→防治方法的诊断等 3 个阶段的咨询, 用 1 个咨询系统去处理。这种功能可以提高系统开发和利用的效率。

9. 用户无须具备编制计算机程序的能力。不会编程序的人, 也可以利用MICCS开发出各种咨询系统。按照用户手册以对话方式或菜单选择方式进行开发就可以了。

10. 有问答式和陈述式两种工作方式。问答方式是用户用是、否、不明白、或数值来回答系统的提问。是、否的回答中都可添加1~100的肯定值。否定值。陈述方式是用户用日语假名或罗马字由键盘输入自己对系统的要求。

11. 知识库能分为不同的层次。

12. 知识库的数据部分具有简单的框架结构。

13. 可以把诊断内容记录在辅助贮存装置内。

MICCS的软件结构如图 7 所示。软件由约7000行的BASIC语言程序和约1000行的汇编语言源程序组成。分成三个子系统: (1) 系统开发用子系统, (2) 数据子系统, (3) 咨询子系统。

系统开发用子系统是开发咨询系统时才使用。用它对系统的知识库 (数据库与规则库) 和同义词词库进行追加、修正、删除等。

咨询系统是由用户进行咨询时使用。推理程序根据用户的回答, 用知识库和同义词词库进行推理, 推导出特定的结论。说明程序对推理过程和专业用语进行提示和解说。输出输入解释程序, 根据词库等把用户用日语输入的回答, 变换成可以输入到推理程序的形式或反之。日语的含义是根据多数决定法的特定步骤作出解释。

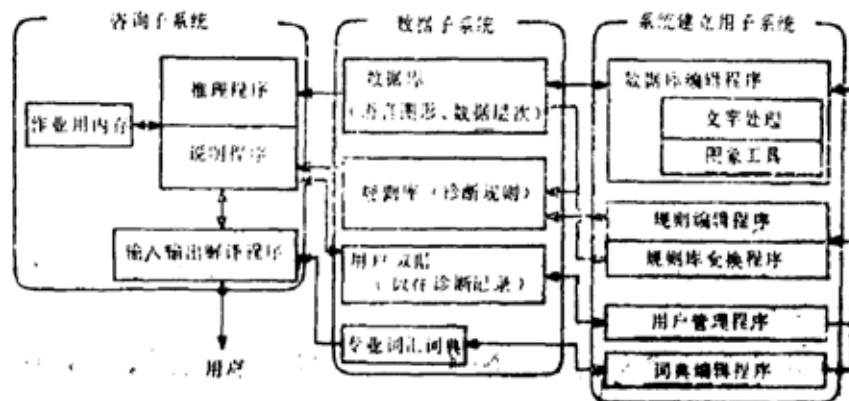


图7 专家系统MICCS的软件结构图

数据子系统中的数据库，是存放每个产生式规则所记述的各个项目的详细内容的。作为数据不仅是文字和数值信息，还可以处理图象信息。每个数据都由下列要素中的某几个要素组成，即(1)索引名，(2)肯定句，(3)提问句，(4)否定句，(5)回答类别(是·否或数值)，(6)实数型数据的取值范围，(7)数据与数据联接的信息，(8)说明语句，(9)图解，等9种。

规则库中存放产生式规则。同义词词库是存放数据库中的专业词汇的同义词。每个咨询系统约可存放3000个同义词。

利用MICCS工具，按下列步骤操作，即可建起用户自己的咨询系统。(1)从先进农家、研究人员、专业书、论文等处搜集专业知识、经验、诀窍等等，作出记录。(2)从这些专业知识中抽出数据(事实、现象、基础知识等)，把数据按照一定的格式输入到数据库中，此时是使用数据库编辑程序，数据被归类分成几个层次。(3)使用规则编辑程序，把某几个数据加上逻辑关系，以原始规则的形式，作成产生式规则。(4)为了提高咨询时的响应速度，把规则的各项加以压缩变换，采用指示字数据形式作成规则库。这时是使用规则库变换程序。(5)为了使系统与用户的对话比较流畅，使用词库编辑程序，输入专业词汇的同义词。(6)试用一下咨询系统，找出错误或不足的数据，以及不确切的规则。此时是使用说明程序。(7)修改数据和规则。这时用数据编辑程序和规则编辑程序。(8)返回步骤(4)，反复调试。

应用MICCS开发工具，已开发出蕃茄病害诊断系统、草莓病害诊断系统、梨树病害诊断系统等。今后，将从下述几方面进行改造：(1)提高响应速度。目前咨询时的响应速度是2~4秒。改换为编译程序(用MS-DOS)、换成C语言或扩大内存予置软盘内容，都能提高响应速度。(2)使口语输入作业简易化。(3)扩充自然语言处理功能。(4)增强图像处理功能。(5)在咨询过程中也能对规则进行修改，追加和删除等等。

(三) 温室控制用计算机网络及智能系统

目前，用计算机控制温室环境大体有三类方法：(1)以适应控制论和系统论为依据；(2)以温室环境模式、作物生长模式为依据；(3)以温室栽培者、研究者的生产经验和知识为依据。只有第3种方法在生产中得到了应用。这种方法依据人的经验和直观感觉来决定环境设定值和机器的控制方法，存在下列问题：(1)要改变环境控制方法就必须改动程序；

(2) 不容易将经验性的知识程序化; (3) 开发通用性程序有困难。

为了解决上述问题, 古在先生等在原有的计算机控制技术中, 引进了知识工程方法, 设想了一个分散型温室群管理的阶梯式计算机网络与智能系统。

整个系统分为三层。(1) 温室层: 由装于温室各控制区内的处理机, 对温室环境作综合控制, 以日为单位记录数据及与中层的主处理机进行信息交流。(2) 家庭层: 用个人电脑作主处理机, 以知识库和数据库为基础管理子处理机, 以周或月为单位记录数据, 作为上层中心处理机的远程终端, 可调用中心的知识库和数据库。(3) 地区层: 中心处理机装于地区的农业技术推广站, 其知识库和数据库内装有作物、气象、市场商品等各种信息, 备有各种应用程序, 通过公共电话线路与主处理机或其他中心交流信息。

现在, 子处理机与主处理机及其通信部分的开发工作已经完成。子处理机采用6502型8位机, 只读存贮为8K字节, 随机存贮为8~16K字节。程序用汇编语言, 由控制单元、控制式单元、日数据记录、通信、计时等单元组成。出现异常时可重新再执行。主处理机采用通用8位微机, 但引入知识工程方法时要用16位机。已用BASIC语言开发了控制式编辑程序, 以及多栋管理型综合环境控制系统两类软件。

今后, 将继续开发使用知识工程方法的管理软件。该软件的数据库主要积累数值信息、事实、现象等。包括控制数据库, 观测数据库, 长期记录、气候、温室、作物、推理过程等数据库。知识库中主要积累事实、现象之间的关系, 专业的经验性知识和规则等。包括控制方法知识库, 分三种水平采用不同的控制方法; 观测知识库, 记录传感器的换算关系、单位、不能观测的要素的预测方法等; 作物知识库, 记录作物的栽培技术方法, 病虫害诊断防治等。

采用知识工程方法的好处是: (1) 综合环境控制方法是独立的程序, 便于这方面知识的积累, 修改和追加。(2) 利用推理过程的说明, 用户可以了解系统为什么选择了某种特定的环境控制方法。(3) 子处理机与主处理机分层次配置, 提高了系统的可靠性, 能采用更高级的控制方法。

参 考 文 献

- (1) 古在丰树: “农业环境工程在植物生物工程中的作用” [日]《农业与园艺》第60卷第11号1985
- (2) 古在丰树: “植物组织培养传感器” [日]《农业系统》第3编第8章
- (3) 古在丰树、星岳彦: “智识工程在农业上的应用” [日]《农业与园艺》第61卷第1号1986
- (4) 古在丰树、星岳彦: “农业用专家系统的开发及其应用” [日]《农业与园艺》第62卷第2号1987
- (5) 古在丰树: “促进培养苗的生长及驯化” 1987
- (6) 富士原和宏、古在丰树、渡部一郎: “开发培养小苗(育苗)系统的基础研究(第一报)——小型装置的试制及运转试验结果” 1987
- (7) Toyoki KOZAI, Hiroshi OKI and Kazuhiro FUJIMARA: Effects of CO₂ Enrichment and Sucrose Concentration under High Photosynthetic Photon Fluxes on Growth of Tissue—Cultured Cymbidium Plantlets During the Preparation Stage. 1987

(吴毅明 叶淑娟整理)