

植物营养研究的砂培与水培法

E·J·休伊特

科学出版社

168 (30)

E. J. Hewitt
SAND AND WATER CULTURE METHODS
Used in the study of plant nutrition
Commonwealth Agricultural Bureaux, 1952

內 容 簡 介

本书是介绍植物营养研究中的砂培与水培技术的操作方法。书内详细地说明了培养植物的砂培与水培方法的必须注意的问题和各种处理步骤，尤其是有关微量元素方面的问题，叙述得颇为细致。

此书系有关植物营养生理学的实验技术和研究方法的书籍，可供作植物生理学、农学工作者的参考资料。

植物营养研究的砂培与水培法

[英] E. J. 休伊特 著

崔 激 等 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业登记证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1965 年 4 月第 一 版 开本：787×1092 1/18
1965 年 4 月第一次印刷 印张：15 1/3 插图：2
印数：0001—3,550 字数：345,000

统一书号：13031·2046

本社书号：3142·13—8

定价：[科七] 2.20 元

序

一个多世纪以前,砂培及水培等方法开始于纯粹的科学的研究,它们在植物生理学家手里对于确定营养的需要及不同离子的作用方面证明有极大的价值。这些方法使我们去确立植物能一代一代的被成功地培养在纯粹化学药品溶液中的事实,因而抛弃了有机物质是绿色植物营养所必需的意見,虽然有机物质在实际栽培上是有益的。这个技术曾经使我们能够有效地去研究植物的营养需要,它的有效处,如果我们叫作土壤的那个复杂介质,被证明为对有效栽培是必需的,老实說,那就会是不可能的。这种技术在追求基础知识上是一种有价值的工具,同时也被证明是一种实用的培养方法,它可以免除感染的来源,这些是土壤可能而的确常常具备的。

微量元素重要意义的发现,立刻增加了这些方法的重要性而要求大大地改进这些技术,诸如应用的容器、配制溶液的药品、砂的使用等方面的改进。

在这本书里 Hewitt 博士给我们一个关于这些技术、技术中的困难、以及如何遇到或避免它们的有价值的综述。Hewitt 博士在这个工作里引用了他自己在朗阿什頓 (Long Ashton)* 所做关于改进研究微量元素缺乏症方法的结果。他引起讀者注意到他的經驗,商品中的最純藥品通常混杂少量微量元素,如不加以进一步的純化,在进行以微量元素为研究对象的严格試驗时是不适于应用的。在提供微量元素缺乏症的治疗方法方面,著者的經驗对于进行这方面研究的人們有很大的价值。

事实上, Hewitt 博士在这里给我们一个关于这方面知識的概要。在这些課題中有許多需要学习,有一个广阔的实验园地等着要开拓,这个現代知識的編輯整理是非常有价值的。它一定会在理論科学工作者、农艺园艺工作者以及一切与植物栽培和栽培理論有关的人們中得到广泛的欢迎。

Edward Salisbury

(英国皇家学会副会长兼秘书;英国皇家植物园主任,邱园)

* 英国的地名——譯者

目 录

序	iii
第一編 概論	1
目的、范围及定义	1
历史	2
植物的容器	5
排水	5
砂培用的不排水容器	5
排水的容器: 砂的保持	5
容量	6
砂培	6
水培	13
更换溶液和通气的关系	13
容器的形状	14
容器的盖和植物的支撑	14
从玻璃容器遮光和去热	14
为培养器去除尘埃	15
培养植株的支撑	15
盖子的成分	16
容器材料的成分和选择	17
金属的容器	17
水泥的容器	18
木制的和紙的容器	19
塑料的容器	19
不上釉的粘土容器	19
上釉的粘土容器	20
玻璃容器	23
清洁容器	25
多間格容器和“分根”方法	25
固体的生根介質	27
砂粒的大小	29
机械分析	29
砂粒大小的选择	30
砂的化学分析和純度	31
常量营养元素成分	31
微量营养元素成分	34

与分级的关系	34
有毒成分	34
砂的纯化	35
未經纯化砂的使用	35
砂的纯化法和应用纯化砂的结果	35
混合固体介质	38
碱交换物质	38
沸石及合成树脂	40
胶体粘土	43
其他物质	45
固体的营养化合物	45
水	47
水的来源	47
雨水	47
雨水的组成	47
水的贮存	49
用量	52
雨水的应用	52
自来水	53
蒸馏水	54
金属蒸馏器	54
非金属蒸馏器	56
去矿物质水	62
活性炭	67
营养杂质和纯化方法	67
营养盐类和原料中的杂质	68
磷酸盐	68
钾盐	68
硝酸盐	69
其他盐类	69
铁和重金属盐类	70
利用未纯化的盐类进行试验	70
营养物质纯度的检定	72
结论	73
营养试剂的纯化方法	73
再结晶	74
蒸馏法和固体试剂的提取	76
炭吸附技术	76
磷酸盐、碱土金属盐及其有关的吸附方法	78

用有机试剂或硫化物共同沉淀	82
用不相混和的溶剂提取	85
螯合后使用	85
用乙醚-盐酸提取	86
其他纯化方法	87
所推荐方法的摘要	88
营养液的组成	88
术语	88
实例	89
营养液的渗透压、盐浓度和钠含量	95
渗透压	95
耐盐性	96
钠的含量	98
营养液的氮源	99
硝态氮和氨态氮	99
与 pH 的关系	99
溶液的更换	100
季节	100
通气和微量元素的供给	100
营养物的摄取	101
铁的要求	101
相对忍耐性和对生长的影响	101
培养液里的其他氮源	103
pH 对培养液的影响及控制	105
pH 的影响	105
特定 pH 值的产生	106
pH 的稳定性	106
培养液 pH 的控制	107
营养液中铁的供给及利用	109
固体的含铁化合物	109
无机盐	110
有机化合物	112
其他的铁源	115
营养液中微量元素的供给	115
微量元素补给剂	115
微量元素的要求	118
微量元素的阈值及毒害水平	119
微量元素的来源	122
无机营养溶液的有机补给剂	123

培养試驗中放射性同位素的应用	124
更換和供应培养液的方法	125
間歇更換溶液	125
淋洗	126
营养液的回收	127
輪換溶液	127
溶液的連續更換	128
方法	128
馬氏瓶	128
恆定水平培养	131
灯芯培养	133
雾化培养溶液	133
张力計和以水分損失为根据的方法	133
溶液的分配	134
計量泵和其他設備	134
更換溶液和水培及砂培中通气的关系	136
特別适合于砂培的灌溉技术	137
培养液的通气和根际大气的研究	141
通气的重要性	141
通气的方法	142
研究根际大气的密閉培养	144
培养介質中影响吸收营养物質因素的研究	145
树木培养和大規模培养的技术	148
树木培养	148
大規模設備	150
种子消毒、无菌培养、病虫害防治和实验植物的育苗	155
种子消毒	155
整株植物的无菌培养	156
病虫害防治措施	157
种子萌发的方法和实验植物的育苗	158
砂培和水培技术的比較与选择	162
砂培和水培的比較	162
培养实验对植物的选择	164
技术的选择与使用范围	165
环境与生物学因素对培养植物活动的影响	167
环境的影响	167
光	167
溫度	168

湿度	169
季节性效应	169
控制环境的设备	169
大规模的装备	170
补充光	171
积光仪	171
生物学因素的影响	171
种子对生长的影响	172
豆科植物	173
培养植物的变异性	174
实验的设计、测量与解释	174
排列	174
设计	176
测量培养植物的反应	177
对培养试验所得资料的解释	178
第二编 朗阿什顿大规模砂培的技术	180
技术的目的与要求	180
采用的基本材料	180
容器	181
粘土花盆	181
玻璃容器	182
塑料容器	182
上釉容器	183
砂	183
产地与等级	183
使用前的处理	183
砂子纯化设备的使用常规	186
纯化的效果	188
水	189
雨水的收集和贮存	189
消耗与贮存容量的关系	189
雨水的适宜性和纯化	190
对除去矿质设备的操作的“工作指导”	191
蒸馏水	195
金属蒸馏器	195
玻璃蒸馏器	195
自来水	196
营养试剂	197
营养液的成分和制备	197

微量元素缺乏試驗所用营养液的制备	200
貯备液中鉄、錳、銅和鋅的純化	200
銅与鋅的除去	201
貯备液中硼的純化	201
貯备液中鉬的純化	202
用 8-羥基喹啉共同沉淀	202
用硫化銅共同沉淀	202
用于供給鉄化合物的純化	203
1. 錳、銅和鋅的除去	203
2. 鉬的除去	204
3. 制备不含錳、銅、鋅、鉬和鎳的鉄化合物的实验方法	204
不含鉄或鉬的錳化合物的制备	205
鉄的除去	205
鉬的除去	205
玻璃器皿及其他裝置的清潔	206
营养液的檢定	206
鉄的檢定	206
錳的檢定	206
銅、鋅和几种重金属的檢定	206
硼的檢定	207
一般技术	207
排列与操作密碼	207
培育实验植物	208
种植的方法	208
种植时砂的处理	208
处理的改变	210
灌水的頻率	210
病虫害的防治	211
作物的选择	211
参考文献	212
人名索引	246
内容索引	254

第一編 概 論

目的、范围及定义

这个技术交流資料是根据 T. Wallace 教授的建議、英联邦园艺及作物局的要求而从事准备的。

写作的目的是：第一，綜述并評价应用在植物营养研究中大量的砂培、水培方法；第二，詳細記述現今在朗阿什頓大規模砂培的盆栽中应用的方法，并涉及在試驗中要用的材料，它們的来源和处理法的所有必需的知識。

第一編的范围限制在与研究方法有关的課題方面；却没有考虑到与园艺在商业利用上有关的溶液培养法及其問題，除非它們对于綜述的課題有特殊的关系。

其他方面不包括在本文中的有：在說明这些方法的发展中必需的若干透視之外的詳細历史闡述；土壤的盆栽，除非它与这些方法在若干方面有特殊关系；組織培养法，除非用于整株植物生长（或再生）試驗中；微生物的营养，除非这些方法应用在微量元素缺乏技术上有重要性；試驗結果的記述，除非为了說明这些方法的效率、应用或解释一种試驗結果。

对于研究微量元素缺乏問題的方法予以特別的注意，包括适宜材料的选择、营养試剂純粹溶液的制备、以及污染的来源等。

除了关于常量营养元素、微量营养元素等名詞的应用外，在本工作中沒有特別的需要提出定义来。这些名詞是便于記述必需或有益的元素，它們以正常供給表观上健康的植物或在这种植物中找到的量来区别。常量营养元素 (macronutrient element) 这个名詞在这里是指氮、硫、磷、鈣、鎂、鉀，在有关系的地方也指鈉，因为这些元素往往在溶液中以超过百万分之一的量来供給植物，而且經常超过这个浓度百倍或百倍以上。植物正常需要而为量极少的元素，它們的名詞一直是一个討論的課題。这个問題曾經由 Arnon (1948, 1950b) 予以特別的考虑，他建議这个名詞——微量元素 (micronutrient element)。这个名詞是解释性的而且又是定量的，并且可以避免由于用“次要” (minor) 这个字而对微量营养元素的重要性有可能的不正确的強調，或由于用这些字如“痕量” (trace)、“稀少” (rare)、“寡量” (spuren 或 oligo) 元素而低估了这些元素中毒浓度的影响。微量营养元素这个名詞，簡称为微量元素 (micronutrient)，在这本书中通篇采用，指錳、銅、鋅、硼及鉬等元素，它們正常的需要量在溶液中少于百万分之一，往往小于这个浓度的十分之一；这个名詞也适用于鉄，它的行为象微量营养元素，由于技术的問題它便于在这組元素中处理。在植物营养中尚未确定其情况的元素，例如鋁、鎘、硅、氯、鈷、鈺以及別的元素有时用可能的微量元素 (poten-

tial micronutrient)这个名詞来記述。

历 史

这个历史的綜述不准备作为植物营养研究历史各方面的参考文献，仅仅是关于这个課題特别是培养方法应用方面的历史介紹。有关这方面更詳尽的記載可以从 Tottingham (1914)、Pfeffer (1918)、Shive (1940a)、Reed (1942)、Stiles (1946)及 Woodman (1946)等的著作中获得。

植物生理学比起植物学的其他部門如生态学、分类学、解剖学来是一个比較新近的分枝学科，它是从 17 世紀开始的 (Reed, 1942)。不过植物营养可能是植物生理学中許多部門中最早进行定量研究的一个部分。Van Helmont (1577—1644)做了第一个定量的尝试去获得植物鮮重增加来源的若干概念。他对于在一定重量的土壤里生长而称过重量的楊柳枝条，土壤的表面不使落着灰尘而仅仅供給水分，五年之后重新称楊柳和土壤的重量。Woodward (1699)在記錄上最早应用沒有固体底物的水培法，他用泉水、河水、渠水、雨水、蒸餾水来生长巢菜、馬鈴薯和薄荷。他的結論是：水仅仅是“大地物質”的载体。这个工作經過 60 年之后为 Duhamel du Monceau (1758)的實驗所繼續，他用滤过的塞納河水来培养櫟树、扁桃、栗、核桃和菜豆类。de Saussure (1804)进行了应用控制的水培試驗的第一个尝试。他把春蓼 (*Polygonum persicaria*)和大麻鬼針草 (*Bidens cannabina*) 培养在蒸餾水和各种盐类的稀溶液里，发现：除了别的矿質盐外，硝酸盐是必需的，对于溶液中有毒物質的吸收是沒有选择性的，不同溶液吸收的相对量是变动的，植物矿質盐的需要量是从极稀的溶液中吸取的。經過 40 年之后，这个工作被 Wiegman 和 Polstorff 所扩充 (見 Reed, 1942)，他們认为除了存在于种子里的矿質成分外，植物通过根的吸收而获得其余需要的全部矿質成分。他們认为植物由于利用种子里的矿質儲藏物进行一些发育，他們第一个注意到这个矿質元素供給来源的重要性。Sprengel 第一次闡明常量营养元素必需性的本質 (見 Shive, 1940)。Gris (1844)且認識了鉄的重要性。

Boussingault (約在 1851—1856; 参看 Shive, 1940a) 是最早用砂培作为研究工具的人之一，他的工作为 Salm-Horstmar (1849, 1851) 的所扩展。对于 Salm-Horstmar 實驗的詳細文献是他对培养法中的問題及范围的著名見解的陈述。Salm-Horstmar 在涂蜡的玻璃器或純蜡的容器中培养燕麦，这些容器中装着用酸浸洗过而去除了矿物雜質的砂、石英或活性炭。于是他在培养液中減去了不同的矿質元素，創造了植物需要氮、磷、硫、鈣、鉀、鎂、硅、鉄和錳的証据，同时描写了某种缺乏的可見症状包括了由缺錳引起的“灰斑病”。通过砂培来研究植物营养的近代方法就在这时期建立起来。近代水培技术是 Sachs 在塔兰特 (Tharandt) 森林学院的后期工作奠定的。Sachs 認識到水培法在許多方面比砂培簡單，在水培法中避免了底物的固体部分，在研究植物生长所必需的矿物质时，固体物質可能帶着不純的东西。Sachs 是第一个应用标准化

的而且比較简单的培养液，其中含有当时认为植物生长所必需的元素，即氮、磷、硫、鉀、鈣、鎂及鉄。这种培养液由两种混合的母液配成，其中之一不含磷。硫酸錳也包括在这个溶液里。Sachs 同时加入了定期更换溶液的过程，和根据植物的大小限制植物密度的过程；同时他尝试着用铵盐作为培养盐的效应。

Sachs 的工作实际上是与 Knop (1860)的工作同时公布的，Knop 注意到在紗布上发芽制备幼苗的标准法，这种方法现在是普遍应用的。Knop (1861, 1865) 进行了变动培养液成分的进一步的試驗并且进一步改进培养液，这些溶液比 Sachs 用的简单而且溶液中的盐以克分子量为比率的。Knop (1865)公布的一种培养液，普遍为人们所采用一直到現在。更换溶液的重要性为 Knop 和 Wolf (1865) 再一次的強調。Mazé (1900)观察了以铵盐作为玉米氮源的应用，同时指出在培养液中加入碳酸鈣的价值。

Tottingham (1914)做了許多經典的試驗，以小麦为材料，系統地定量研究培养液成分、渗透压、浓度的影响。在这个工作里，他配成一种溶液，其中只含有四种主要的盐和一种鉄的化合物；根据这种配法，他配成 84 种不同成分的溶液与 Knop 的标准溶液来研究它們对于植物鮮重增加的作用。Tottingham 根据四种盐的克分子分数来变动营养液的成分，这些克分子分数增加溶液总渗透压的十分之一，总渗透压的数值相当于 0.05、2.50、8.15 大气压。試驗結果借助于三角形图解法（此法是 Schreiner 和 Skinner 在 1910 年引用到植物生理学方面来的）来表示。利用克分子分数不完全是新的方法，不过 Tottingham 比別处更多地強調。这个工作为 Shive 所扩充，他把基础溶液簡化到仅用三种主要的盐，这种“三盐”溶液广泛地被应用着一直到現在。用的盐是：硝酸鈣、磷酸二氢鉀及硫酸鎂。鈉盐在这种溶液中被免除了，同时有一个重要的限制沒有認識到，即鈣离子与硝酸根离子、鉀与磷酸根离子不能单独变化。这种技术与 Tottingham (1914)的是相同的，就是 Shive 的“最好”溶液比 Tottingham 的“最好”溶液好，它的浓度低，渗透压是 1.75 大气压。Shive 很注意整齐幼苗的培养法，用旋轉台来避免环境因素的不均匀。三盐溶液的发展为 Livingstone 和 Tottingham (1918)所完成，他們注意到在 Shive 的三盐溶液中离子偶的六种組合是可能的。

概述在这里的营养液类型的发展，依据用必需元素的适当浓度及比率来供給植物，同时利用最简单的公式来配制而获得滿意的結果。除了 Shive 的經典公式之外，还有重要的別种类型的溶液而迄今普遍应用着的，包括 van der Crone (1904)、Hoagland (1919) 及罗塔姆斯特德等溶液。在 Crone 溶液中加入包括有磷酸亚鉄的固体营养盐，这是一种經常适宜的营养盐，它能避免流行在水培試驗中偶然发生的缺綠症。Hoagland (1919) 溶液是尽可能反应营养元素在土壤溶液中的比例而設計的。最近 Arnon 及 Hoagland (1940)发展的营养液是有意去安排溶液中的元素，使它們之間比例接近于植物(番茄)吸收各种元素之間的比例。

Hall 等 (1914 a, b) 認識到空气接触根的重要性，培养液連續更新的技术可能要追索到 Nobbe (1868)及 Schloessing (1899)的工作。

Sachs 及別人所設計的早期类型的标准培养液，能够維持植物的正常生长发育，这个启示并不阻碍去寻找植物需要量較少的別种营养元素。从那时起重要的历史事件主要与这些工作所需的技术本質及改进的发展有关。除鉄之外的第一个微量元素是錳，它的必需性的証据是从真菌和高等植物得到的，它为 Salm-Horstmar (1851)、Raulin (1863)、Bertrand 和 Javillier (1911, 1912 a, b)、McHargue (1922)等所研究；鋅是 Javillier (1907)、Mazé (1914)、Steinberg (1919)、Sommer 和 Lipman (1926)等所指出；硼为 Aghulon (1910)、Mazé (1915, 1919)及 Warington (1923)所指出，Warington 提出了硼必需性的令人信服的証据。

虽然 Bertrand 和 Javillier 发展了淨化营养盐的特殊手續且認識到适当玻璃容器的应用，最重要的进展是 Steinberg (1919)等所从事的，他們介紹了一种有效的去除溶液中重金属特别是鋅的常用过程。

銅的必需性的較为困难的驗証，却为 Sommer (1931)以及 Lipman 和 MacKinney (1931)等独立地(和不同程度的成功)所实现。由于 Bortels (1930)的工作，鉬被加入到細菌必需元素的名单中。鉬在高等植物方面的必需性为 Arnon (1938)以及 Arnon 和 Stout (1939 b)等工作所証实。

Sommer (1926)提出禾谷类植物、Raleigh (1939)和 Wagner (1940)提出甜菜，对于硅的必需性或有利作用的主张；Stoklasa (1922)和 Sommer (1926)提出鋁的必需性；Lipman (1938)提出氯和 Steinberg (1922)和 Sommer (1926)提出麴霉 (*Aspergillus*)、浮萍 (*Lemna*)对于鎳的必需性。这些主张还需要进一步充实，到現在为止还不会大大地刺激研究。Steinberg (1945)报告，在用了特別的一批糖后，就是用了除去鎳的特別法也不能重复过去的結果。Liebig 等 (1943 b)也不能得出柑橘类对于鎳的反应。Evans (1950)注意到注射鈷到可可 (*Cocoa*)植株中的有益反应。Trelease 和 Trelease (1938)指出硒刺激总状黃蓍 (*Astragalus racemosus*)的生长。

还有植物生长所必需的別种微量元素。Arnon 和 Stout (1939a)、Arnon (1948, 1950 a)曾列举必需性的若干准則，用此来找寻某元素必需性的証据。在尝试除去营养液中某一特定元素之后，不能形成一种反应的事实，必須用这些准則来解释。但这种失败并不意味着这个元素不是必需的，在严格的定量的意义上，这个研究的元素假使是必需的，它的需要量必少于这种技术所安排的范围。

Arnon 的准則如下：

1. 沒有这种元素植物一定不能够正常生长或完成它的生活史。
2. 这个元素必須是专一的，不能用別的元素来代替。
3. 这个元素必須直接影响植物而且参加到植物的代謝中去。

鉀滿足这些准則的規定，它的作用不能完全为鈉所代替。当以硝酸根为氮源时，在高等植物方面鉀滿足这些准則，但有氨型氮存在时，某些植物可能不需要鉀。鉀的必需性在这些方面还需要重新評價。在固氮菌 (*Azotobacter*)方面，鉀可以代替鉀，但在別的植物并不这样。这样引起了一种观念，一个元素在別一元素不存在时这个元

素是必需的,或者两者都存在时没有一种是完全必需的。当技术改进之后,对于这些必需性准则部分例外的例子还可能预料得出来。

植物的容器

这里讨论的要点是:容器的大小和形状,它的成分和惰性,容器在砂培、水培中的可应用性,以及适用于分根培养试验的多室(multiple compartment)容器。应用于大规模试验的槽和培养床的细节也在这部分讨论。

排水

砂培用的不排水容器 砂培给予根的自然通气比水培更有效,主要由于容器中溶液的排出,帮助空气透入溶液所空出来的小孔。溶液的自由排出经常在砂培操作上应用,培养液在砂中的停蓄经常引起不满意的生长,除非以非常小心和有技巧的操作,在这种条件下,植物才能很好生长。若干发表的著作中,曾有应用的容器不能自由排水,但多余的溶液是被吸出的。McCall (1916 a、b)、McCall 及 Richards (1918)、Shive (1918 a)、Wolkoff (1918)等人用小的不排水容器,盛有 1.5 公斤的砂,培养小麦、荞麦和大豆。他们的培养维持了 15% 的湿度;保持湿度的方法:溶液经过漏斗加在砂表面,多余的溶液从管子里吸出来,并且称量整个的培养物。Johnston (1920) 培养马铃薯于不排水的砂培中,使用 4.5 公斤的砂。溶液从通到容器底部的中央玻璃管加入,多余的溶液从另外的管子中吸出,使整个培养保持恒重。Hoagland (1919) 用砂培来培养大麦于 5 加仑上釉的缸中。溶液从 1 升的中央渗滤器加入,多余的溶液在减压之后用虹吸来移出。Reed 及 Haas (1923a) 培养柑桔在大缸或圆柱形的罐中。在他们第一个试验中,多余的溶液用经过容器上部的管子吸去,但在以后的实验里,使用以重力的自然排水来代替。De Haan 及 Schoorel (1940) 和 de Haan (1941) 培养茶树于盆钵里,靠近盆底处,用与它们相联接的溶液容器中的溶液平面来保持一定的水平面。培养液定期的排出和加入。

排水的容器:砂的保持 大部分砂培容器的排水都是靠重力从盆底的出水口流出。自由排水的重要性为 Shive 及 Robbins (1942) 所强调。需要这样安排,当溶液排出时砂保持在容器中。用铜丝网来保持泥盆中的砂,这方法 Wallace (1921, 1924, 1930)、Davis (1930) 在果树的培养中使用,Beard (1932) 在培养蛇麻草中使用, Hewitt (1944, 1945, 1946 a、b) 在培养大田作物及园艺作物中使用, Eaton (1931) 在大规模灌溉的砂床中使用。Mitchell (1939) 在培养美国五针松 (*Pinus strobus*) 中用莫涅耳合金的网。用金属网来保持砂是能够避免任何显著的有毒作用,但只能用在常量营养元素试验和未经酸处理的砂。

砂可以用玻璃棉有效地保持着。这方法在培养苹果树中为 Blake 等 (1937) 所应用, Woodman (1939 b) 用钢琴丝固着玻璃棉于玻璃管的周围插入盆子的侧管中,

Meyer (1946) 也用玻璃棉保持着砂。当排水孔为盆底的中央小孔时, 用表面玻璃承受着在玻璃棉上砂的重量。这个方法是 Davidson 及 Shive (1934) 进行桃树培养用的, Shive (1938)、Hewitt (1947 a, b, 1948 a)、Hewitt 和 Jones (1947, 1949) 在蔬菜培养上用, Chapman 和 Liebig (1938) 以及 Gauch 和 Wadleigh (1943) 在自动操作的培养上亦用此法。

当用酸洗过的砂来培养时, 利用玻璃棉和表面玻璃特别有用。在微量营养元素缺乏試驗中, 玻璃棉和表面玻璃能够彻底洗净(見第二編)。在大多数精确的工作中, 表面玻璃凸的一面向上放, 但砂的重量使表面玻璃的边压着玻璃棉和容器的底, 經常发生完全密封的現象, 特別在使用之前淋洗过程中搖动了砂。Spencer 和 Shive (1933)、Shive 和 Robbins (1942) 及 Robbins (1946) 仅用一块表面玻璃。

Eaton (1936, 1941a) 在大規模的砂培上, 用有孔的硅酸鋁瓦和石子造成自由排水。Evans (私人通訊) 发现砂培的可可树对于不良的排水特別敏感。在生长的早期需要用紗芯从排水孔中引起加速排水。

容 量

在砂培、水培中所用容器的容量变化很大。容器大小的选择决定于价格和制造的难易; 一部分决定于在生长过程中溶液成分发生的变化。用小容器时, 这些变化較大, 在这方面所需要的精确度和避免痕量微量元素的問題, 这个問題在大体积的容器中变得更为突出, 也影响更适于工作的容器体积。有些植物象苔苔属植物和馬鈴薯, 需要較大的长根的空間。Hoagland 和 Martin (1923) 指出同体积的砂培和水培是不相同的。因为砂培中有效的溶液体积只有砂体积的 20—30%。比較等容量的砂培和水培也是沒有用处的, 因营养离子扩散的自由度和离子与根的吸收面积之間碰撞的相对数量是不同的; Chapman 和 Liebig (1940) 发现营养离子的临界水平在砂培与水培之間的差异很大。

在砂培、水培試驗中, 选用容器大小的例子, 摘要在表 1-1、表 1-2 里, 表中并記載关于作物密度、更換溶液的次數、溶液的通气攪拌等的詳情。

砂培 在記錄上可能是最小的砂培容器是 Salm-Horstmar (1851) 所用的。这些容器用石蜡做成, 体积为 6×3 厘米, 装 60 克的砂。Colwell (1943) 用一磅装的罐头来校准向日葵的硼的生物学检定。用在早期工作中的盆子容量可能是不够大的。McCall (1916 a, b)、Shive (1918 a) 和 Wolkoff (1918) 培养禾谷类与馬鈴薯用的容器只能装 1.5—2.5 公斤的砂, Johnston (1920) 嘗試只有 4.5 公斤的砂来培养馬鈴薯。Wallace (1922) 用 6 吋的盆子装 2.5 公斤的砂来培养草莓, 和 10 吋的盆子培养苹果树。以 Wallace (1924, 1930) 介紹用 18—20 吋直径的盆子培养果树。这样大小的容器研究在矮生或半矮砧木上树木(如 Malling IX 或 II) 的缺乏效应是适宜的, 有几个試驗果树生长在装 14—20 公斤砂、2—3 加仑的容器里, 这两个試驗都用間歇加营养液和营养液的連續流动技术的(見表 1-1)。在朗阿什頓(Long Ashton), E. J. Winter

表 1-1 用于砂培試驗的容器容量的例子

参 考 文 献	容 器 的 大 小	砂的大概重量	生 长 的 植 物	备 注
I. 不排水的容器間歇加溶液,加溶液的次數,每天加或隔几天加.				
Salm-Horstmar (1851)	6 × 3 厘米	60 克	燕麦每盆 1 株	在記錄上大概是最小的砂培
McCall (1916a, b)	—	1.5 公斤	小麦每盆 5 株	細心控制灌水
Wolkoff (1918)	—	1.5 公斤	大豆每盆 3 株	同 上
Shive (1918a, 1920b)	1400 毫升	2.5 公斤	荞麦及小麦	同 上
Johnston (1920)	—	4.5 公斤	馬鈴薯每盆 3 株	长根的空間大概不适宜
Hoagland (1919)	5 加 仑	30 公斤	大麦每盆 5 株	适宜的生根空間
De Haan 和 Schoorel (1940), de Haan (1941)	27 升(6 加仑)立方体的上釉盆	40 公斤	茶树每盆 5 株	鉀或其他元素的缺乏症

II. 自由排水的容器,間歇加溶液

Colwell (1943)	1 磅裝的食品罐頭	0.5 公斤	向日葵每盆 1 株	有效硼的生物學檢定
Wallace (1922)	6 吋泥盆	2.5 公斤	草莓 每盆 1 株	缺乏症處理
Davis 等 (1934)	同 上	2.5 公斤	同 上	同 上
Woodman (1940a, b)	同 上	6 公斤	洋葱或萵苣每盆 1 株	最適營養水平
Hewitt 和 Jones (1947, 1949, 1950, 1951)	5 升 Pyrex 燒杯或 1 加仑 Pyrex 缸	7.5 公斤	芸苔屬植物每盆 1 株 車軸草每盆 5 株 禾谷類植物每盆 10 株	鉅、銅、鋅的缺乏症
Wallace (1922)	10 吋泥盆	9.5 公斤	闊叶 Paradise 粘木上的蘋果樹(Cox's orange pippin)	缺乏症處理
Hewitt (1944 以後)	10 吋泥盆	9.5 公斤	許多種作物: 每盆禾谷類植物 10—15 株; 豆科植物 3—5 株; 甜菜 1—4 株, 番茄 1 株, 馬鈴薯 1 株或芸苔屬植物 1 株。	缺乏症及毒性處理和營養元素之間關係
Tyner (1935)	2 加仑上釉盆	10 公斤	每盆玉米 3 株, 車軸草 20 株, 其他禾谷類植物、豌豆、大豆為 10 株	長石的可給性
Gregory 和 Crowther (1928)	2 加仑上釉盆	14 公斤	大麦每盆 3 株	應用固體營養物質進行缺乏症試驗
Gregory 和 Richards (1929)	同 上	同 上	同 上	同 上
Lineberry 和 Burkhardt (1943)	同 上	同 上	草莓每盆 2 株	缺乏症試驗
Davis (1930)	12 吋泥盆	同 上	果樹每盆 1 株	同 上
Wallace (1930)	同 上	同 上	同 上	同 上
Hill 和 Johnston (1940)	同 上	同 上	同 上	同 上
Blake 等(1937)	3 加仑上釉盆	21 公斤	蘋果或桃每盆 1 株	同 上
Cullinan 等(1938)	同 上	同 上	同 上	同 上
Waltman (1940)	同 上	同 上	同 上	同 上
Barjer 和 Degman (1940)	同 上	同 上	同 上	同 上

續 表 1-1

参 考 文 献	容 器 的 大 小	砂的大概重量	生 长 的 植 物	备 注
Woodman (1939a, b, 1941b)	3 加仑上釉盆	22 公斤	苜蓿或甘蓝每盆 1 株	最适营养水平
Brown (1945)	4 加仑箱	28 公斤(大概)	桃每箱 1 株	吸收試驗
Loustalot 等 (1950)	4 加仑缸	同 上	桐每盆 1—3 株	营养与生长的关系等
Roy 和 Gardner(1948)	8 加仑上釉盆	55 公斤(大概)	桔每盆 1 株	吸收試驗
Davis (1930)	18 吋泥盆	70 公斤(大概)	苹果每盆 1 株	缺乏症試驗
Wallace (1930)	同 上	同 上	同 上	同 上
Beard (1932)	同 上	同 上	蛇蓼草每盆 1 株	同 上
Reed 和 Haas (1923a)	桶,直径 20 吋深 26 吋	200 公斤(大概)	桔每桶 1 株	吸收試驗
Haas (1949)	同 上	同 上	桔每桶 3 株	钾营养
Alben 等 (1942)	圓桶 55 加仑	350 公斤(大概)	美洲山核桃每盆 1 株	缺乏症試驗
Arnon 和 Grossenbacher (1940)	460 升 (105 加仑)槽	630 公斤	番茄每盆 20 株	离子交换物质的应用
Arnon 和 Hoagland (1940)	50 立方呎 水泥槽(312.5加仑)	2000 公斤(大概)	番茄每盆 20 株	吸收試驗
Hayward 等 (1946)	300 立方呎 水泥槽	12 吨(約 13,000 公斤)	桃每槽 1 株	耐盐試驗
Lagasse (1929)	直径 12 呎 的水泥桶	22.5 吨(24,000 公斤)	桃每槽 1 株	营养試驗

III. 經常更換溶液(滴液培养)或經常浇灌

Arnon 和 Grossenbacher (1947)	5 吋泥盆	約 2 公斤	番茄每盆 3 株	經常浇灌, 吸收試驗
Behrens (1928)	5.5 吋泥盆	1.4 公斤	燕麦每盆 5 株	700 毫升/天 最低营养水平
Tyner (1935)	6 吋泥盆	2.5 公斤	荞麦或車軸草每盆 8 株	2 升/天 最低营养水平
Shive (1938)	—	—	烟草、蘿卜、苜蓿及棉花	1—2 升/天, 硼缺乏症
Addoms (1937)	3 升缸	4.5 公斤	烟草每盆 1 株	18 升/天, 培养中的生长反应
Eaton (1941a)	6.5 升缸	5 公斤砂 + 1 公斤石子	番茄每盆 1—2 株	經常浇灌, 零碎試驗
Pirschle(1929, 1931a)	約 6 升的缸	6 公斤	禾谷类植物, 芸苔属植物, 豆科植物	5—8 升/天, 营养液成分的影响
Shive 和 Robbins (1942)	5—7.5 升的缸	約 6—9 公斤	番茄每盆 1 株	2 升/天零星試驗
Robbins (1946)	同 上	同 上	同 上	
Davidson (1928)	2 加仑缸	約 14 公斤	桃每盆 1 株	1—15 升/天, 营养液成分的影响
Davidson 和 Shive (1934)	2 加仑缸	同 上	同 上	2—8 升/天, pH 的影响
Wadleigh 等 (1937)	2 加仑缸	同 上	玉米每盆 5 株	铁的营养