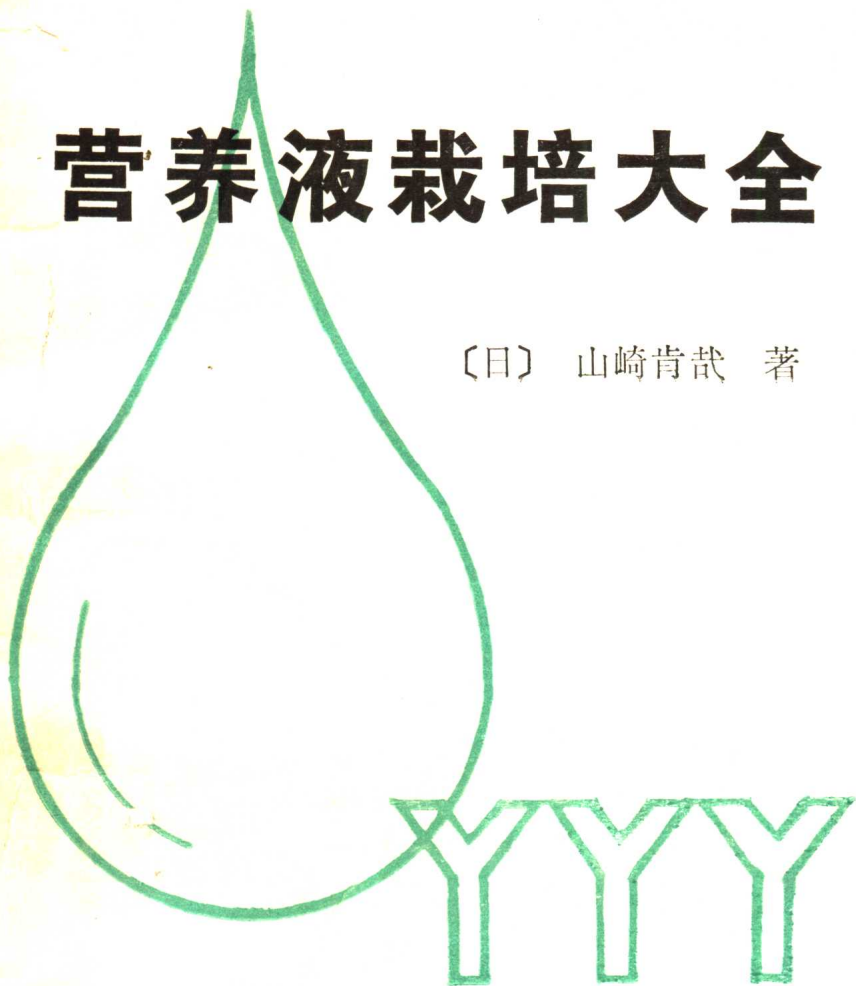


营养液栽培大全

〔日〕 山崎肯哉 著



北京农业大学出版社

营 养 液 栽 培 大 全

〔日〕 山崎肯哉 著

刘步洲 刘宜生 安志信 译
赵士杰 李书民
赵士杰 刘宜生 校

北京农业大学出版社

责任编辑：赵玉琴

封面设计：张继鹏

营养液栽培大全

〔日〕 山崎肯哉 著

刘步洲 等译

★

北京农业大学出版社出版

(北京市海淀区圆明园西路二号)

北京京辉印刷厂印刷

新华书店首都发行所发行

★

850×1168毫米 32开本 8.25印张 217 千字

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数：6000册

ISBN 7-81002-161-3/S·162

定 价：4.90元

曲 序

山崎教授吾之间同窗挚友也，昔日曾同学于浅见与七夫子门下。“九一八”事变发生余忿然回国，遂彤云弥漫、烽火连天，鱼沉雁杳盖数十年。1978年门生安志信君东渡考察乃得悉山崎教授虽年高望重仍潜心治学。1986年应中国农业科学院蔬菜研究所邀请山崎教授来京讲学乃得相晤，重叙友情并赠余新版《营养液栽培全书》一册。讲学期间因时间所限仅就营养液栽培之梗概加以宣讲。

此书诚为山崎教授之力作，不仅在蔬菜营养生理理论方面阐述备细；在实践和管理上亦独辟蹊径。根据多年之研究提出多种蔬菜作物专用营养液配方，深受日本学界推崇。尤其对今后研究方向所增补之章对将来深入开展研究及拓建新型（蔬菜）基地等重大问题构思新颖、论点深刻。

全书四章既承前人之业迹，又抒个人之见解。生理基础、设备条件、环境控制、栽培管理均力求翔实。嗟夫！非臆举而尽列无以见其义，亦无以尽其用。可见山崎先生用意之良深也。

北京农业大学园艺系刘步洲教授等将此书译后付梓，提供给国内蔬菜专业广大读者，诚有志之益举。携稿示余令为志序。余欣然从命，并藉此託付山崎君之重谊。

曲序 11.17

于首都故居

1987年12月

序 言

营养液栽培是作为作物栽培生理，特别是养分水分吸收生理的研究手段而发展并被应用的。随着这个过程的发展起到了进一步理解和掌握栽培合理化的作用，并成为新的研究和无限创造的源泉。

本书以作物特别是蔬菜的栽培生理作为主线，通过营养液栽培的发展经过描述，在理论与实践方面尽量广泛而又具体总结起来。

我期望这本书可以做为生产者，尤其是青年接班人的“食粮”。其内容如下：

第一章讲述历史的发展经过。

第二章讲述营养液栽培需要具备的条件。

第三章讲述各种作物的具体栽培技术。

第四章为总结，特别是把最近的发展状况和问题做为全章的要领。

构成上述各章的重复事项很多，在营养液栽培的理论和技术的阐述中，涉及到作物营养生理学、物理学和化学领域。为了加深理解，对一些重要事项凡有重复之处都附加有参考的页数、索引和大事记。

日本的营养液栽培最初是于1960年，在园艺试验场的兴津分场在塑料温室中，采用石砾栽培进行实用化生产的；1963年园艺试验场的久留米分场进一步更新发展将水培方法利用于生产。在20年后的1980年全国普及面积为300余ha，塑料温室的总面积发展到了3万余ha形成了世界上最大的规模。

作者与在园艺试验场兴津分场的掘裕、青木正孝、东隆夫、正木敬；园艺试验场久留米分场的大和茂八、藤枝国光等人共同研究，首先制定出了营养液栽培的技术要点。其后，我转到东京教育大学任教之后，又与铃木芳夫、筱原温以及专门深造的各位研究生一起研究栽培各种作物营养液成分的组成和浓度，从事了10余年的工作。1976年退休之后，我仍在静冈县的伊豆继续进行实际栽培的研究工作。

5年前应博友社之约编写本书，在此期间又获得了栽培的实际经验和到国内外考察的机会，还阅读了很多有关论文与著作从而进一步加深了理解，彻底消除了很多难题，使我感到编写的内容更加丰富，因此把本书称之为营养液栽培大全。

在本书发行之际，仅向多年来由于研究、访问而麻烦了各位同仁，以及被本书引用的很多论文作者，同时还为使本书出版而鼎力帮助的博友社的管原建了先生，致以衷心的感谢。

著者 于伊豆

1981年10月20日

再 版 补 遗

本书发行2年后，各界的进步都很显著。趁再版机会，又增加了有关的原理和应用的内容附在卷末。

还有，本书初版后曾受到很多读者的亲切关注，对错误的地方进行了更正。我能得到各位的指教表示深切的谢意。

著者

1984年6月20日

目 录

第一章 营养液栽培的发展和目的 (作物营养生理的发展).....	(1)
第一节 营养液栽培的发展与经过	(2)
一、实际观察的时代	(2)
二、计量考察的时代	(3)
三、物理化学验证的时代	(4)
四、营养液栽培发展的时代	(12)
第二节 作为营养液栽培基础的作物营养生理	(17)
一、植物体中无机元素的组成	(17)
二、各种作物根系对碱代换量 (CEC) 的差异	(21)
三、作物根系对硼素吸收容量的差异	(23)
四、数种蔬菜吸收养分的组成和浓度	(24)
五、各种作物吸收氮素形态的差异	(25)
六、吸收养分的组成与浓度的测定方法	(30)
七、按照吸收养分的成分、浓度来进行培养液肥料的配合	(34)
八、肥料成分的单位换算	(35)
九、主要蔬菜吸收肥料的成分量	(39)
十、培养液的浓度、EC、pH和渗透压	(40)
十一、培养液中对溶解的氧气要求	(49)
十二、根际微生物和废弃物质	(54)
十三、必需的营养成分与同化物运转的营养生理作用	(58)
十四、植物体中的营养障害及原因	(77)

第三节 营养液栽培的目的	(82)
一、社会经济的背景	(83)
二、蔬菜园艺的动向	(83)
三、塑料温室栽培的问题及其措施	(84)
四、针对塑料温室栽培技术中肥培管理的问题而 进行的营养液栽培	(86)
五、保护地园艺的目标与营养液栽培	(88)
第二章 营养液栽培的条件	(90)
第一节 栽培环境条件	(90)
一、用水	(90)
二、营养液和栽培基质	(95)
三、根际氧气、有机物、微生物	(122)
四、光	(122)
五、温度	(125)
六、湿度	(132)
七、空气中的二氧化碳浓度与风速的关系	(137)
八、化学防治	(139)
九、品种的生态分化和嫁接及运输苗的利用	(142)
第二节 设施条件	(143)
一、营养液栽培设施	(144)
二、气象环境控制设施	(156)
第三章 作物营养液栽培各论	(166)
第一节 营养液育苗	(166)
一、育苗设计	(166)
二、温床与冷床	(167)
三、种子消毒	(167)
四、催芽	(167)
五、营养液育苗	(168)
六、嫁接育苗	(174)

七、扦插育苗·····	(174)
八、花芽分化与育苗管理·····	(175)
第二节 作物营养液栽培实际·····	(176)
一、番茄·····	(176)
二、黄瓜·····	(185)
三、厚皮甜瓜·····	(189)
四、草莓·····	(197)
五、甜椒·····	(204)
六、茄子·····	(207)
七、鸭儿芹·····	(210)
八、叶用莴苣·····	(214)
九、茼蒿·····	(217)
十、其它作物·····	(218)
第四章 关于营养液栽培的发展近况和问题·····	(223)
一、水培的发展状况·····	(224)
二、水培上存在的问题·····	(224)
增补 今后的研究方向(尤其是水培的原理与应用 相联系)·····	(232)
一、根系的发育情况·····	(232)
二、蒸腾和吐水与水分、养分的吸收关系·····	(234)
三、保护地水培的经营方向·····	(237)
参考文献·····	(242)

第一章 营养液栽培的发展和目的

(作物营养生理的发展)

所谓营养液栽培是与有肥力特性的土壤栽培相对立的栽培方法，也即是一种无土壤的和无土壤肥力的栽培方式。

土壤是岩石经过风化形成的砂粒、粘土、矿物质、并被动植物遗体有机物的微生物产生的腐殖质熟化而成。经过这样形成的团粒结构除具有保水、通气性外，虽然有时也可使肥料养分形成难溶解的状态，有时也形成气体而挥发，造成养分的减少，但也常将这些养分分解成易于吸收的离子形态，并将其贮藏起来，形成了一种不断供应的动态平衡的状况。

地力就是在上述土壤动态与植物根系活动中相互作用与协调而产生的。

为了使作物良好的发育，获得优质而高额的产量，需要得到光照、温度、湿度、气体、风速等良好的环境条件。在防治病虫害的同时，养分能不断地进入根系，不形成脱肥的现象也是很重要的事情。

各种作物的根系都具有主动地选择肥料成分的吸收能力，并在作物体内同化与运转，这就需要被吸收成分具有适宜的组成和适当的浓度。

采用土壤栽培，实际上就是根据农田的土壤性质、土壤的质地、耕层的深度，人为地进行着具有千差万别的肥培管理。而栽培的作物就是在具有一定适宜的营养成分和浓度的环境中，持续不断地吸收各种营养成分。同时人们又依据土壤营养供应时期的长短来衡量地力的高低。

这种地力的高低在不同田块上有着千差万别，但由于腐殖化程度的不断提高，使施肥量的允许范围变大，²因此，进行慎密的土壤调查和肥料试验的研究工作是很必要的。

在无土壤和无地力栽培条件下，由于没有性质复杂的土壤，而是将作物直接放在具有吸收适宜营养成分和浓度的培养液中，并且给予氧气和适宜的温度条件下进行栽培的。根与培养液中的各种成分和浓度直接接触，其允许范围也较小。即使是采用砂培、砾培、薰炭培、尿脂等基质栽培，其营养液的成分和浓度也应尽量避免大的变化。在水培及基质栽培中，为了氧气的供应，进行循环流动、水气培及喷雾培等多种方式。将上述这些方法综合起来，就称之为营养液栽培。

然而无论有地力还是无地力的栽培，它们共同的特点是作物都要按其固有的特性，选择吸收各种适宜的营养成分，并要有适宜的浓度条件。虽然它们是对立的两种栽培方式，但它们所以能发展至今，都是经过了前辈们长期的苦心钻研而获得的，他们的成果对我们都是很有启示的。

下面将以营养液栽培为中心来考虑它的发展经过及目的。

第一节 营养液栽培的发展与经过

在营养液栽培条件下，作物的生长是什么状态？采用了什么样的措施，它们在作物的生育过程中起什么样的作用？为了理解这一问题，现分以下4部分进行说明：1. 实际观察的时代；2. 计量考察的时代；3. 物理化学验证的时代；4. 营养液栽培发展的时代。

一、实际观察的时代

人类有5千余年的历史，但有计划地考察事物，观察自然现象，是从农业耕作开始的。自有农业生产以来，就开始观察植物营养是什么东西，采取什么措施有利，起什么作用等问题。

从现有的记录来看，残留最早的古农书是贾思勰（532~549年）编的“齐民要术”（在日本是在公元800年时传入保存至今，由西山、熊代共译），内容应该说是集公元前289年吕氏著的“春秋农书”，147~169年崔寔著的“四民月令”等古农书，及作者当时农业技术大成之作。其中载有烧荒垦田，瓜类与茄子等蔬菜的栽培方法，认为假如平均单株施用厩肥5L做为基肥即为上等田，或者在前一年夏秋季节种植绿豆，然后把它们翻入田中做绿肥也能增加地力，连现代合理的可以设想的自给肥料的施用方法也都是这样说的。

直到一千年以后的1563年，巴利新敏锐地观察到在田间将烧过的小麦秸中有它从土壤中吸收到的养分，当把这些养分返回土壤中就起到了肥料的作用。另外1556年古罗乌巴从牛厩的土壤中观察到由家畜排泄物中获得硝酸钾的肥效。

在日本，由于受“齐民要术”的影响，于1698年出版了宫崎安贞著的“农业全书”，^[1]它把日本历代实际观察的农业技术汇集了起来，在第一卷的第六部分中，详细描述了堆厩肥、绿肥、草木灰、底肥、米糠、油粕、鱼粕、骨粉等的制作方法及施用方法。在当时还记述了进行叶面施肥的情况：在果菜类育苗时，经常在研磨大米的汁液中加入少量的小便或是少量腐熟油粕的肥水，然后用麦秸制成的笞帚蘸上它们，像下小雨似的把它们撒在叶片上，幼苗便健壮地发育起来。

二、计量考察的时代

这个时代是将植物的生育和吸收的养分与水分进行计量，并用数字来表示。1648年范·霍尔蒙特将5磅重的柳树种在盛有200磅土的盆中，用锡纸盖上防止尘埃进入，只供应水分。经5年后柳树生长到169磅3盎斯，比以前增长了164磅3盎斯，而200磅的土只减少了2盎斯（相当56.8g）。当时认为这2盎斯的量是由于供水造成的差异，因此他把水做为全部养分量来考虑，所以提出了“水

说”(Water theory)。在当时他没有注意到柳树的生长除水分外,还应包括空气中的 CO_2 和从土壤中减少的2盎斯的无机养分。

其后50年的1699年任德瓦德利用箱子进行水培,经77d后测出生长量。当与只用雨水的作物生长量相比时可知,采用泰姆士河的水要高1.5倍,利用海德公园暗管中的水要高8倍,混用庭院的泥土则生长量要高16倍。这说明除用水以外,作物还要吸收土壤中的养分,从而否定了霍尔蒙特的水说。也可说这种手法是最初的营养液栽培。在1727年赫依鲁斯又测定了植物的蒸腾量、叶面积、根压等,从而推算出除上述的养分水分外,还有空气中的物质与植物体的构成有关。1731年,戴维提出了“土说”(Earth theory),1761年华莱士提出了腐殖质学说(Humus theory),这样就进入了化学验证的时代。

三、物理化学验证的时代

关于植物和动物的发育与养分的研究,促进了物理化学的发达。1772年浦力斯特里在密闭的玻璃箱中,点燃蜡烛燃烧空气,形成了小老鼠不能生存的状态。当放入植物并令其生长时,空气被净化后,老鼠又恢复了生气。1779年印黑夫斯在浦力斯特里实验的基础上,进一步用试验证明植物的叶和茎在日光作用下有净化空气的作用,而花与根没有这种作用。与此同时1771年拉瓦泽明确了空气和水的组成,提出了元素的概念。继而在1782年明确了生物的呼吸与发热时要吸收氧,放出 CO_2 的反应。1788年依奈比把 CO_2 溶于水中,使绿色叶子浸入,可以继续放出氧气。

1803年化学家道尔顿提出了原子学说:(1)总体看物质元素是不生不灭的,从分子转变成原子(H 、 C 、 O 、 N 、 P 、 K 、 Ca 、 Mg 、 S 、 Fe 、 B 、 Mn 、 Zn 、 Cu 、 Mo 等)。(2)同样的元素原子具有一定相同的质量,不同元素的原子,具有不同质量和性质。(3)化合物(H_2O 、 CO_2 、 KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 MgSO_4 等)是不同元素的原子相互间用简单数量的关系相结合。在次年的1804年,

索秀尔指出：1. 植物的光合作用和呼吸作用与 CO_2 和氧气有关。2. 通过化学分析明确了空气中的氮素不能被植物吸收。3. 利用简易的水培法观察 CaCl_2 、 NaCl 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 等盐溶液的吸收率，可看到植物根系具有选择吸收的能力。

1811年阿伏加德罗指出构成气体的独立的最小粒子叫分子(O_2 、 N_2 、 CO_2 等)，分子是由同种或异种的原子构成的，单质的分子是由同种原子构成的，化合物的分子是由2种以上的原子构成的。分子量是构成分子的全部原子量之和。这个分子量用克为单位来表示的量叫克分子，或者叫1个摩尔(mole)。在同温同压的条件下，同体积的气体包涵着同样数量的分子。总之，任何一个摩尔的气体体积为22.4 L(这也叫阿伏加德罗定律)。在1862年，据盖·吕萨克测定，在一定压力下，气体的绝对温度每升高 1°C ，增加的体积等于它在 0°C 时体积的 $1/273$ 。

1828年乌爱拉发现，当将氰酸钾(KCN)与硫酸 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ 混合溶解，加热后形成了尿素(NH_2CONH_2)。这种尿素虽然在当时已可从尿中分离出来，但这是最初能在有机体外首次合成的有机物。1831年在智利发现了硝酸钠(NaNO_3)，并做为肥料向外出口。

1834年布森高进行了轮作栽培试验，他用豆科的苜蓿做为绿肥，在5年间施用氮224kg/ha，而在收获物中的氮含量却为1078kg/ha，其差异是增加了854kg/ha。他认为这是由于微生物将大气中的氮固定下来的数值。

1839年斯普兰格尔指出，要使作物能长好，在肥沃的田中必须包含有Fe、Mn、Mg、K、Na、Cl、P、S和与氮化合的腐殖质。这是从分析植物体的灰分中得出的结果。

1840年李比希创建了有机物的分析法，他明确了有机物质构造的形式，同时通过化学试验的综合分析，提出关于植物的无机营养学说(Mineral theory)，成为了今日的始祖。其内容要点是：1. 绿叶和太阳光可将大气中的 CO_2 同化后被作物吸收，其来源不是腐殖质学说中的腐殖质，而是由生物的呼吸、有机物的燃烧、

腐熟过程中而产生的。2. 根中吸收的氮是大气中的氮通过雨水供给土壤的, 大气中的氮是由于生物的腐败而产生的。在植物早期生育中, 人工地向土壤中施用氮是必要的。3. 燃烧植物所剩的残灰中含有K、Na、Ca、Mg、P、S等元素, 这些物质对植物体的形成是必要的。其来源是土壤的风化与溶解。在植物生育的早期, 人工地制造化学肥料进行补充是必要的。以上的内容如按现代的观点看, 还有很多不足之处, 但至今还可说是较完善的, 现今的学说都是以这个学说为基础而发展起来的。以下的内容分别将养分吸收的机制和对必需营养成分的必要性分别进行说明。

1. 养分吸收的机制 1842年威格曼和波斯妥罗夫是西德格丁根的大学生, 他们在该大学李比希无机营养学说证明的论文竞赛中, 获得了奖赏。其工作是在器皿上采用石英砂、或白金粉来做为基质, 当只施入硝酸铵溶液时没有能使作物充分发育, 但在此中添加了作物燃烧后的灰分过滤液后, 使作物生长健壮。根据这一试验的启示, 1860年纱奇斯研究了利用石英砂作基质的培养液, 1865年又同克诺普利用广口瓶将棉塞作为作物的支持物, 使根伸入水位线以下进行水培试验, 研究纱奇斯的培养液, 后来除去了NaCl, 形成了克诺普营养液, 并提出了最初的10种必要无机元素的学说(C、O、H、N、P、K、Ca、Mg、S、Fe)。

在此研究的前后, 1843年罗兹和切鲁巴托把过磷酸钙做为肥料的制造方法公布于众。同时切鲁巴托于1850年在英国的罗萨莫斯泰特的农业试验场, 开始进行了大麦的三要素试验。同时在德国创建的摩开兰农业试验场, 也开始进行同样的试验。日本在1867年创设了驹场农科大学, 并请摩开兰农场场长开鲁乃鲁做为农艺化学教师进行肥料三要素的试验。1861年, 姆鲁达指出溶液浓度差异的渗透现象和细胞质内化学变化形成了养分的选择吸收。1865年孟德尔发表了遗传定律。1868年托拉乌巴指出被吸收的溶质分子要透过细胞膜上的小孔, 从而提出了分子筛学说。1869年门捷列夫提出了横向元素具有相同的电子层数, 纵向元素是具有

化学性质相似的元素周期表。

1877年普赫法提出了植物水分的吸收，是因为只有水能透过半透性的原生质膜，而且它是否可以透过决定于细胞渗透压与外界溶液浓度渗透压的差度。他利用砂糖溶液浓度测定渗透压，证明渗透压在一定温度下与浓度是成比例的，而一定的浓度又与绝对温度成比例。1889年范特霍甫将这一试验的结果导成公式 $P = RCT$ (P 是渗透压， C 为浓度， T 是绝对温度， R 为常数0.082)，当

把这一公式表示为 $P = \frac{n}{V}RT$ 时可看出它与气体状态是相一致的。

在上式中 $\frac{V}{n}$ 为一摩尔的平均容积，在 0°C (T 为 273_{15}) 达到

1 个气压的理想状态时为 22.4_{14}L/mole (也即 $R = 1 \times \frac{22.4_{14}}{273_{15}}$

$= 0.082_{05}$)。所以在 0° (绝对温度为 273°) 时 1 摩尔溶液浓度的 P 值为

22.4 大气压。在 $x^\circ\text{C}$ 、 n 摩尔溶液浓度的 $P = n \times 22.4 \times \frac{273 + x}{273}$

气压。(一般情况上记的小数字可省略)

1887年，阿累尼乌斯不用上述的砂糖溶液，而是采用 NaCl 的稀溶液，计算出比上述大的渗透压 (NaCl 在 25°C 时的为 1.8 倍)。这可从电离分解来看，阳离子和阴离子 ($\text{NaCl} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$)。当没有电离的溶质以分子形成平衡状态，当完全电离时应为 NaCl 的 2 倍。而上面所说的 1.8 倍，是因为 $0.8\text{Na}^+ + 0.8\text{Cl}^- + 0.2\text{NaCl}$ ，其电离度为 0.8。从这里可以看出，砂糖是非电解溶液，与其相区别的是电解溶液，这就是一般说的电离学说，明确提出了离子形成的理论。与此前后科尔拉修应用电解溶液的电离浓度变化为电气传导度，例如 25°C 时， $0.1N$ 的 KCl 为 0.01288mho ， $0.01N$ (10me) 液为 0.001414mho 。这与以后叙述的培养液盐类 1me 浓度的电气传导度相差 $0.1\text{m} \cdot \text{mho}$ 。

奥斯托瓦尔德进一步认为，既使高浓度的物质，电离度为一

时,全部电离的强酸(HCl 、 H_2SO_4 、 HNO_3)与强碱(NaOH 、 KOH),它们之间所形成的盐(KCl 、 KNO_3 、 NaCl)、以及弱酸($\text{H}_2\text{PO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$, $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$),与强碱($\text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$),它们之间形成的盐($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$)其电介质的浓度变低,电离度近于1。这是因为电离成离子浓度与非电离的溶解分子浓度之间有一个平衡问题,也可以用一个电离常数——稀释率来表示。水是电离度极小的弱电解质(2×10^{-6}),其电离常数为 10^{-14} 。1909年柴埃勒泽依据水的电解质性质,把 H^+ 离子($[\text{H}^+] = 10^{-14} \sim 10^{-7} \sim 10^0 \text{M/l}$)和 OH^- 离子($[\text{OH}^-] = 10^{10} \sim 10^{-7} \sim 10^{-14} \text{M/l}$)的浓度乘积的负对数来表示溶液的酸碱性,即用 $-\log[\text{H}^+] + -\log[\text{OH}^-] = 14$ 来表示, $-\log[\text{H}^+]$ 的绝对值称之为 pH 。其值为7时表示中性,7以下至0,数值越小酸性越强($[\text{H}^+]$ 从 $10^{-7} \sim 10^0 \text{M/l}$ 而变高),其值大到14为碱性($[\text{OH}^-]$ 从 $10^{-6} \sim 10^0 \text{M/l}$ 而变高),这也是现代 pH 值理论的基础。

1911年卢瑟福提出了原子构造模型,即原子是具有负电荷的电子,围绕着具有正电荷的原子核旋转,它们之间是依据库仑力来吸引。在1916年科塞尔以此为基础又指出:原子的电子价有的是不稳定的,有些种类是因为失去了具有原子价的电子而表现为阳离子,或者是由于得了1个或数个电子而表现为阴离子。由于阳离子和阴离子静电引力的结合,就形成了电子配置的稳定状态,也可说是离子的结合。如前所述的酸与碱成盐的结合就形成了稳定的结合状态。当溶解在水中就形成电离状态变成导电而又稳定的阳离子和阴离子。

在这些研究的基础上,纱奇斯和克诺普等深入研究培养液中盐类的组成,这些电离了的阳、阴离子是很小的粒子,它们通过半透性的细胞膜,随水渗透、扩散并被吸收。

1923年荷梅兰特分析了生活在淡水和海水中巨大藻类吸收细胞内的液体,发现他们的组成有明显差异,这说明各种作物中的