

宁夏博士学术专著



基于银川平原 地下水质的叶菜 水培营养液配方研究

李建设◎著



黄河出版传媒集团
阳光出版社

基于银川平原 地下水质的叶菜 水培营养液配方研究

李建设◎著



黄河出版传媒集团
阳光出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

基于银川平原地下水质的叶菜水培营养液配方研究 /
李建设著. -- 银川: 阳光出版社, 2013.6
ISBN 978-7-5525-0832-1

I. ①基… II. ①李… III. ①蔬菜 - 无土栽培 - 配方
- 研究 IV. ①S63

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第132630号

基于银川平原地下水质的叶菜水培营养液配方研究

李建设 著

责任编辑 王 燕

封面设计 李巧娜

责任印制 郭迅生

黄河出版传媒集团
阳 光 出 版 社 出版发行

地 址 银川市北京东路139号出版大厦 (750001)

网 址 <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://www.hh-book.com>

电子信箱 yangguang@yrpubm.com

邮购电话 0951-5044614

经 销 全国新华书店

印刷装订 银川金利丰彩色印刷有限责任公司

印刷委托书号 (宁) 0010698

开 本 720mm×980mm 1/16

印 张 8.5

字 数 160千

版 次 2013年6月第1版

印 次 2013年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5525-0832-1/S·84

定 价 30.00元

版权所有 侵权必究

1	文献综述 / 001
1.1	水培的概况 / 001
1.2	水培研究进展 / 009
1.3	营养液配方的研究 / 024
1.4	本研究选题依据和研究思路 / 025
2	银川平原地下水水质分析 / 028
2.1	材料与方法 / 029
2.2	结果与分析 / 029
2.3	讨论与小结 / 029
3	营养液中高浓度 NaCl 对小白菜生长和营养与水分吸收的影响 / 032
3.1	材料与方法 / 032
3.2	结果与分析 / 034
3.3	讨论与小结 / 039
4	银川平原地下水中钙镁有效性及其利用研究 / 042
4.1	材料与方法 / 043

4.2	结果与分析 / 050
4.3	讨论与小结 / 061
5	不同 pH 下水培小白菜对 Ca、Mg、Fe、B 的吸收 / 063
5.1	材料与方法 / 063
5.2	结果与分析 / 065
5.3	讨论与小结 / 074
6	基于银川平原地下水水质的叶菜类水培营养液配方筛选 / 076
6.1	材料与方法 / 076
6.2	结果与分析 / 082
6.3	讨论与小结 / 105
7	不同 NO_3^- -N : NH_4^+ -N 比例营养液对 NFT 小白菜生育、品质、养分水分吸收的影响 / 109
7.1	材料与方法 / 110
7.2	结果与分析 / 112
7.3	讨论 / 117
7.4	小结 / 118
8	结 论 / 119
	参考文献 / 122

1 文献综述

无土栽培(soilless culture, hydroponics, solution culture)是指用固体基质或营养液代替天然土壤为作物提供生长条件及环境,使其完成整个生命周期的一种栽培方法。有些学者认为无土栽培主要指营养液栽培,所以无土栽培有时又称为营养液栽培、水耕、水培、溶液栽培、养液栽培等(郭世荣 2003)。水培(Water Culture)是指让植物根系直接与营养液接触生长在其中,而不用土壤和基质的一种栽培方法,它是无土栽培中最早应用的技术(郭世荣 2003; 徐强和闫晓煜 2009)。随着无土栽培应用范围和栽培面积的不断扩大,技术的逐渐成熟和发展,经营和技术管理水平的不断提高,逐渐实现了无土栽培的集约化、工厂化生产,现已形成一套完整的理论基础,并积累了大量的实践经验。目前,水培已经广泛应用于蔬菜、花卉、林木的生产实践(潘杰, 2003)。

1.1 水培的概况

自古以来农业的传统概念为“辟土种谷曰农”,即农业离不开土壤。而无土栽培不用土壤,努力摆脱自然界,冲破传统观念的束缚,在技术和观念上是一重大的改革和进步。在很早以前就有用水来培养植物的记载,除此之外还有对无土栽培的各种尝试,但是由于知识、

技术及设备等多方面的限制,并没有发展起来,但是那些原始的、不完全的栽培形式为无土栽培后来的发展奠定了基础。随着科技的发达,人们对植物营养本质认识水平的提高,进行了广泛的无土栽培试验研究工作,现已进入大规模的生产应用阶段。到目前为止水培技术主要包括以下几种:深液水培(DFT)、营养液膜栽培技术(NFT)、气雾栽培、浮板毛管水培技术(FCH)、M式、协和式水耕(HYPODRONIC)、等量交换式、静止营养液栽培、潮水式灌溉系统等(缪应东,2003)。

1.1.1 国外水培的发展历史及现状

1.1.1.1 萌芽及探索阶段

早在几个世纪以前,人们就用水来培养和研究植物,有关无土栽培的历史可追溯到古代世界,七大奇观之一巴比伦空中花园常常被认为是首次使用无土栽培的地方,但是现在没有任何证据。目前比较公认的是从公元1648年比利时科学家霍尔蒙特(Van. Helmant)通过著名的试验得出“植物从水中获得生长所需物质”的正确理论。1840年,德国化学家李比希(J.V.Liebig)在有关植物营养源于水说(1648)、土说(1731)、腐殖质说(1761)等前人大量研究的基础上,对植物的养分吸收进行了研究,对植物体进行了化学分析,并根据当时农业上关于物质循环的观念,提出了植物以矿物质作为营养的“矿质营养学说”,为科学的无土栽培奠定了理论基础。1842年德国科学家威格曼(Wiegman)和泊斯托罗夫(Postolof)将植物种植在装有石英碎屑白金坩埚内,通过对只加入硝酸铵溶液和加入植物灰分浸体液的植株进行比较,结果发现加入植物灰分浸体液的植物生长健壮,长势较好,而单纯加入硝酸铵溶液的植物发育不够完全,长势较弱,这是真正对无土栽培营养液进行研究的雏形阶段。1865年,萨克斯(Julius von Sachs)与克诺普(W. Knop)利用棉花塞固定植物茎基部,将其塞入广口瓶,使植物根系伸入瓶内,在含有矿质元素的营养液中生长而进行

科学研究的方法被称为溶液培养或水培(Water Culture)。首次提出了无土栽培的 10 种元素学说。萨克斯和克诺普是现代水培技术的先驱。在萨克斯和克诺普的工作之后,世界上很多国家的科学工作者对营养液的配方和植物在溶液中的生长反应方面做了大量的工作。1920 年,美国的霍格兰(Hoagland)和阿农(Arnon)对营养液组成元素的比例和浓度进行研究,强调了微量元素在营养液中及对植物生长的重要性,提出了标准营养液配方,这是无土栽培的试验探索时期,至今有些营养液配方在世界范围内仍然被广泛使用。但这些都是试验室内进行的试验,尚未认识到将营养液栽培作为一项先进农业生产技术应用到农业生产实践中(郑光华,1988)。

1.1.1.2 生产及应用阶段

1929 年美国加州大学教授格雷克(W. F. Gericke)用营养液栽培番茄获得了株高 7.5 m、单株产量 14 kg 的种植效果。他称这项技术为“水耕法”(hydroponics),英文单词 hydroponics 是希腊语 hydro(水)和 ponos(劳作)的合成词(张福漫,2000)。之后,很多书、报纸、杂志纷纷撰文夸耀无土栽培的魔法,并预言无土栽培将给农业带来革命,被认为是无土栽培技术由试验转向实用化的开端。它在装有营养液的种植槽上方安装四周用木板、底部由金属网做成的定植网框,依次装入麻袋片、锯木和蛭石等固体基质以固定、支撑植物,并保证根系生长在无光的黑暗环境下。植物种植在网框中,前期会吸收基质的营养进行生长,待植株长大,根系伸长后,就会穿过金属的网眼而伸入营养液中而吸收生长所需的养分和水分,这种栽培方法被称为“溶液水培法”。蔬菜无土栽培自此开始走向商业化。到 20 世纪 60 年代至 70 年代初无土栽培虽在有些国家逐渐得到应用,但由于应用时间短,因而规模小、技术尚不完备,故属于生产的起步阶段(邢禹贤 1997,2002)。如 70 年代初,美国在亚利桑那州图森市(Tucson)建立

了 5 hm² 的水培温室;在福尼克斯建立了 6.11 hm² 的水培温室等;到 1972 年美国已有类似的基地 30 余处。其他国家如荷兰、日本、英国、德国、加拿大等也都不同程度地发展了蔬菜无土栽培生产,且这些地方水培面积较大,技术先进,开发推广了 NFT 和岩棉技术,对全世界水培生产的发展起到很大的推动作用。无土栽培真正的发展始于 1970 年丹麦 Groden 公司开发的岩棉栽培技术和 1973 年英国温室作物研究所的 NFT 技术(李福恒,1999;张广楠,2004)。20 世纪 70 年代以后,由于营养液膜技术和岩棉栽培技术的发展;由于营养液管理系统、无土栽培环境调控的自动化;由于园艺设施内小型机械的研发和使用,使得无土栽培的生产过程逐步实现机械化和自动化,生产规模日益扩大。(李福恒,1999)。

1.1.1.3 集约化、工厂化生产阶段

进入 20 世纪 80 年代以后,世界高科技日新月异的发展对无土栽培的发展起了巨大的推动作用。在日本、英国、美国、奥地利、丹麦都陆续建有高度自动化的蔬菜工厂、花卉工厂和果树工厂。1981 年英国 Little hampton 建立了一个面积为 8 hm² 的大型温室,专门用于番茄的生产,号称“番茄工厂”;日本相继建立了 40 余所植物工厂,采用全新的调控系统,最大限度地满足作物对水、肥、气、光、热等条件的要求,采取水平放任栽培法,开拓了生命科学新空间,最大限度地发挥了植物的生产能力。日本无土栽培技术的起始发展得益于美军基地大型无土栽培设施的建立。例如,1949 年建立的 22 hm² 的砾培新鲜蔬菜生产基地,生产军需蔬菜,同时吸收了 40 名日本技术人员参与管理。无土栽培技术很快引起社会的极大关注,各地的农业试验场、大学等科研单位广泛投入无土栽培的实用性和无机营养为中心的营养液配方研究,加之 1960 年前后,全国范围内设施栽培的普及和连作障碍的日益突出,更加促进了无土栽培原理和技术的研究。在

营养液方面,山崎氏提出了植物吸水和吸肥按比例同步进行的概念,并以此为依据设计出一系列的山崎营养液配方。另一位无土栽培专家堀氏由霍格兰和阿农配方修正设计出一系列“园试配方”的均衡营养液配方,这些配方至今仍为世界各国广泛采用。从栽培形势来看,最初采用砾培较多,20 世纪 70 年代以后水培面积逐渐扩大,由 1971 年 31 hm²,到 1981 年增至 282 hm²,仅次于荷兰而居世界第二(山崎肯哉,1982),1989 年为 373 hm²。具有日本特色的深液流水培技术逐步形成,其具体形式多种多样,如 M 式、协和式水耕(Hydropornic)、等量交换式等,全国出现了第二次水培热。这些方式在日本迄今为止的营养液栽培中发挥主要作用。近年来同类的 NS 水培等系统也在出售,普遍用来栽培鸭儿芹、迷你番茄等(武川满夫,1993)。营养液以薄膜状流过栽培床的 NFT,因其质量轻,可以将栽培床架高,适合于诸如莴苣、葱等叶菜类以及草莓栽培(间藤彻,1998)。

目前,美国、日本、荷兰、丹麦、英国、法国、意大利、以色列等 100 多个国家和地区掌握了无土栽培技术(张西露,2006)。如荷兰无土栽培面积现已发展到 3000 多公顷,其有名的花卉大都是无土栽培培育出来的。其他一些国家也都有不同程度的发展。这些国家和地区主要在蔬菜、果树、花卉和药用植物的栽培方面应用无土栽培技术,应用这一技术可避免粪肥、农药带来的污染,同时可以减少硝酸盐在植株体内的累积,生产出合乎质量标准的绿色食品(CELIAE et al,1985;刘高琼和李式军,1993;陈贵林和高秀端,2002;姚建武等,2001)。

1.1.2 我国水培的发展历史及现状

我国无土栽培技术在研究应用方面起步较晚,但较原始的无土栽培技术却有悠久历史。从宋代生豆芽、种水仙到近十几年较正规的科学研究和生产试验(毛达如,1994;田吉林和汪寅虎,2000),到 1969 年台湾龙潭农校的砾培蔬菜的生产、研究以及山东农业大学蛭石栽

培等,均获成功。“七五”、“八五”期间农业部把蔬菜的无土栽培列为农业部重点课题攻关项目,北京农业大学和其他一些教学、科研、生产单位参加了这一攻关项目,同时山东、广东、上海等省市也开展了适合国情的无土栽培技术研究开发。通过引进、消化、吸收和改良创新,先后研究开发出适合国情的高效、节能、实用的系列蔬菜无土栽培技术,包括简易 NFT、基质培、有机生态型基质培、浮板毛管水培、鲁—SC 型和华南深液流培的无土栽培装置,在全国范围内普及推广,使我国的无土栽培从实验研究阶段迅速进入了商品化生产时期。在“八五”期间,浙江农科院和南京农业大学在对日本浮根水培设施充分研究的基础上研制开发了具有高效、节能、节约成本等特点的浮板毛管水培(FCH)和有机生态型基质培系统。1985 年,华南农业大学结合南方气候条件和栽培技术特点,在日本神园式深液流栽培设施的基础上研制出水泥砖结构深液流水培装置。浙江农科院和南京农业大学开发了高效、节能、实用的浮板毛管水培系统。南京市蔬菜研究所研制出简易营养液膜技术,深圳从国外引进连续生产的深池水培的装置,上海、北京等地也广泛引进岩棉培技术并应用于生产。无土栽培技术的发展,使人类对作物不同生育时期的整个环境条件进行精密控制成为可能,从而使农业生产有可能彻底摆脱自然条件的制约,向着空间化、机械化、自动化和工厂化的方向发展,将会使农作物产量和品质得以大幅度提高。随着温室无土栽培技术日趋成熟和完善,其在农业生产上的推广与应用也步入了一个新的发展阶段,无土栽培面积也随之迅速增加。20 世纪 80 年代后期不足 10 hm^2 ,1990 年增长到 15 hm^2 ,1995 突破 100 hm^2 ,2000 年急速增至 500 hm^2 ,2005 年已超 1100 hm^2 。基本格局是北方地区由于水质硬度高,水培难度大,以固体基质培为主;南方以广东为代表以深液流水培为主,有少量槽式基质培和基质袋培;东南沿海长江流域以江浙

沪为代表,以浮管毛板、营养液膜技术为主,兼有一部分基质袋培和深液流水培。深液流水培技术较为适宜我国的经济和技术水平,而且是种植效果良好、管理较为简便的一种无土栽培技术。据有关资料显示,叶菜类无土栽培亩总产量为蕹菜 13660 kg;包心生菜 8950 kg(全年种植 10 茬);奶油生菜 8020 kg(全年种植 11 茬),按 2.0 元/kg 计算,其收入相当可观(刘增鑫,1999;魏晓明和张晓军,1996)。栽培叶菜类作物,生育周期短,生长迅速,一般可较同期大田提早 10~15 天采收上市,产量高,效果较理想。同时,它可以为作物提供更好的水、肥、气、热等根际条件,使作物根系处于最适宜的环境条件,从而充分发挥了作物的增产潜力。而且能克服土壤连作障碍、避免土传病虫害,减少农药用量,降低环境污染,提高经济效益,可以生产出清洁卫生、无公害、高品质的产品(张德威等,1993;苗欣等,2000)。

1.1.3 水培的应用前景及存在的问题

从全世界来看,由于设施、人工等成本一次性投入较高,使得水培技术没有得到普及和推广,各国都在开发适合于本国国情的水培技术(刘伟等,2000),以寻求最佳的经济效益(石田明等,1978)。目前的水培技术,在生产的稳定性和病害预防技术上都尚未完善,需要一定的科学知识与技术作为支撑,,否则贸然从事,有可能招致失败(松丸恒夫,1990;田附明夫,2001)。

由于水培没有土壤作为缓冲条件,因此对营养液要求较严格,营养液的成分和浓度必须符合作物的吸收和生长规律(牟咏花和张德威,1995)。否则在栽培过程中会因溶液酸碱度和浓度不均衡导致营养液不利于长期栽培(Shear C B, 1975; Bangerth F, 1979)。通过水培,可减少土壤栽培引起的连作障碍和根部病虫害,但在无土栽培中常因消毒不彻底或者管理不当等原因造成严重后果,所以要对无土栽培的营养液进行严格管理(范双喜,2002)。

目前水培生产尤其是大面积、集约化的水培生产还存在一些问题,主要是营养液管理技术、生产设备的经营管理及生产成本的投入等方面的问题(郑光华等,1996)。在水培中,如何使栽培当中营养液的组成成分和浓度相对稳定;如何使选择简单、廉价的管理设施;如何保证 pH 和 EC 值的稳定是水培的关键和核心问题(范双喜,2002,2003;陈艳丽,2004),且水、液温、通气等都要满足根系的生长发育所需的条件,同时日照、温度、湿度、CO₂ 浓度和风速等环境条件也会通过影响地上部光合作用而间接影响根系吸收能力。近几年来,国内的一些研究单位消化、学习、吸收国外无土栽培先进技术,研制出适合我国国情和气候的简易无土栽培生产设施,大大降低了投资成本,提高经济效益,使得越来越多的生产者逐渐接受(王志伟等,2004)。在 1994 年中国国际无土栽培学术研讨会上浙江农科院提出的浮板毛管水培系统和华南农大提出的改进 DFT 系统有效地解决了水培系统中根系通气不良的问题,具有较好的发展前景。

为降低生产成本;提高经济效益,今后我国的水培还要从水培设施、肥料生产、营养液管理、空间利用、作业环境、废液处理、栽培技术等方面进行更深入的研究(郭世荣,2000;张树阁,2002;孟会生和洪坚平,2005),只有这样才能使我国的无土栽培在世界农业发展中立于不败之地(邱雪峰,2000)。

1.1.4 水培的优缺点和应用范围

水培是减轻粮菜争地矛盾,缓解人地矛盾,使农民脱贫致富的有效手段(贺文爱,2004),相对于常规栽培方式,水培的优点是产量高、品质好、商品价值高;节省肥、水、劳力;利于实现蔬菜栽培的自动化、现代化管理;病虫害轻微,产品清洁卫生,栽培点选择的空間大。缺点:最初一次性投资大,技术要求高,必须有充足的能源供应(杨世民等,1996)。

目前,我国无土栽培技术适于应用在以下几个方面。

(1)学校、科研机构进行科研、栽培技术示范。

(2)油田、沙漠、航天基地、海岛以及土壤受到严重污染等土壤条件差、水源缺乏地区。

(3)在资金、技术条件许可下,对一些经济价值高,气候、水肥、土壤条件要求又较高的作物,如洋香瓜、樱桃番茄、火鹤花、热带兰等进行专业化经营;或对某些特定品种蔬菜进行反季节栽培,如南方夏季栽培芹菜、茼蒿。

(4)在较早开展保护地栽培,目前又出现较严重的土壤连作障碍的设施区。

(5)单位、学校、家庭利用阳台、屋顶、庭院等空闲地进行栽培,兼顾美化、教学、娱乐等功能。

1.2 水培研究进展

1.2.1 水培营养液研究进展

营养液是将植物生长所需的各种营养元素按一定比例溶解于水而成的,是决定无土栽培成败的关键因素(山崎肯哉 1982)。因此,营养液除了必须含植物生长所必须的全部大量及微量元素外,各营养元素的比例和浓度必须符合不同植物在不同生长发育阶段对营养的要求(连兆煌 1994)。营养液是无土栽培中重要的部分,营养液栽培研究的新动向有几个方面(Argo W R et al,1997;R. Huang and J.C. Tu,2001;D. Savvas et al,2003;Sigifredo Castro et al,2004)。

1.2.1.1 开发有利于保护环境的营养液栽培技术

近年来由于世界各国对环保问题的重视及环境意识的增强,要求在生产生活中正确处理废水废液等问题,无土栽培也要进行保护

环境的技术革新,不允许随便排放污水废液,这就要求我们开发出有利于环境保护的营养液栽培模式。荷兰、日本等国,已经开始进行或者研究引进新的无土栽培环境保护型技术。

在废液处理方面,主要研究内容包括:①排放使用终结的培养液(废液)。在深水培中,栽培终了时含有肥料成分的废液大量被排放,排放量多时,会引起地下水污染和湖沼的富营养化等问题,应该尽快寻找到解决这一问题的新的营养液管理技术。②循环利用营养液。废液循环利用,可以减少污染,降低成本,但在循环利用时必须进行如离子处理、砂滤、膜分离、紫外线照射等方式杀菌,再调整离子的组成,除去阻碍生长的物质等。也可将营养液栽培的废液作为肥料施入土壤栽培中。③终止肥料成分的吸收。水培叶菜收获前几天,应停止向营养液中补给肥料而仅供给水,这样既能减少营养液中的肥料的含量,减少污染,也能降低叶中有害的硝酸离子浓度,并且能使叶中糖和维生素浓度提高。

1.2.1.2 开发低费用的营养液栽培装置

目前研究的能够降低营养液栽培装置费用的技术主要有以下几种:持水薄膜栽培、底面循环型毛细管水培、托住薄膜栽培、露地设置型平面栽培系统、不使用电力的营养液栽培装置、利用防水剂的培养液富氧化等,采用将根系暴露在空气中减少通氧设施,水管点滴供给培养液、循环利用残液、利用水位高低差进行营养液循环等方式降低无土栽培费用。

1.2.1.3 环保及生态型蔬菜无土栽培系统的研究

针对如何利用区域性自然资源来进行无土栽培,并达到保护环境和生态的目的,一些地区做了开拓性的研究。浙江大学试验将养鳖生产中的废水用于水培蔬菜生产,将养鳖温室中的空气经过循环用于对蔬菜的 CO_2 施肥,建立了一套可进行营养物质循环与气体交换

的工厂化养鳖—水培蔬菜综合生产系统(苗欣等,2000)。中国农业科学院研究开发了采用有机固态肥代替营养液的,在植物整个生产过程中只滴灌清水的有机生态型无土栽培技术(蒋卫杰,2007)。

1.2.2 水培营养液配方研究进展

1865年,Knop(克诺普)首次研究出古典通用水培技术配方,之后各国科学家对水培营养液配方做了大量研究,最著名的配方是由美国植物营养学家霍格兰氏(Hoagland D. R.)研究而来的,相继出现的很多配方都是由此演变而来的。

1976年,山崎肯哉等提出了植物吸水和吸肥按比例同步进行的概念,并以此为依据设计出一系列的山崎营养液配方。在日本用得较多的园试配方就是采用这种方法来设计的,实践证明这种方法是可行的(山崎肯哉,1982;北条雅章和伊東正,1990;武川满夫,1993)。山崎肯哉认为,栽培植物的环境条件的改变,会引起植物体内吸收各种营养元素的数量和比例的变化,因此依靠化学分析的结果往往会有很大的差异。他还认为,正常生长的植物其吸水和吸肥的过程是同步的,即吸收一定量的水的同时,也将这部分水中的营养元素同时吸收到体内。这样就可以通过测定植物生长过程中吸收水的数量以及利用水培来种植植物时营养液中养分的变化情况,利用原先加入、未种植作物前的营养液中营养元素的数量与种植一段时间之后营养液中剩余的营养元素的数量之间的差值来确定出植物对各种营养元素的吸收量。

在我国,尽管无土栽培应用起步晚,但取得了不斐的成绩。高效低成本营养液配方的研究:①消毒固态有机肥替代基质培中的营养液。由中国农业科学院在“八五”期间研制成的国内最为简易、节能、低成本、高效益的固体基质培系统,其原理是利用高温发酵消毒的鸡粪、蒿秆末、饼肥等按一定比例搅拌入栽培基质,然后往基质上铺软管滴灌带替代传统基质培用营养液滴灌的方法,定植后依作物种类

需肥特性追施复合肥、 KNO_3 等,以清水灌溉进行蔬菜的基质栽培,应用此技术栽培出的番茄产量、品质不受影响,产品质量符合国家要求的绿色食品标准,且排出液的硝酸盐浓度远远低于国家标准而不污染环境。该项技术较传统基质培肥料成本下降 60%,设施成本每 667 m^2 仅 6000~7000 元,对于克服我国无土栽培大面积推广中遇到的投资大、成本高、效益不稳定等缺点,做出了突出贡献。(蒋卫杰, 2007)。

②氮素营养研究。氮肥占肥料成本最大,对产量品质的影响也很大,国外配方多以硝态氮为氮源肥料,但国内该肥料货源少、价格昂贵,又有积累硝酸盐的忧虑。南京农业大学等几所大学在白菜、生菜、番茄、黄瓜等无土栽培配方中,在保持总 N 含量不变条件下,以国产酰胺态氮和铵态氮代替进口硝态氮,比例最高达 50% 以上,试验证明复配比单一使用硝态氮源的产量、品质都好(汪李平和李式军, 1995;陶正平和李梦玲, 2001;杨旭和邹志荣, 2003;董晓英和李式军, 2003)。

③铁素和硒素营养的研究(陈春宏和张耀栋, 1992;汪李平和李淑娴, 1994;刘士哲等, 1995;施卫明, 1998;刘永军等, 2002;刘卫星等, 2003;付连刚, 2005)。蔬菜无土栽培作物很易产生缺铁失绿症,以螯合铁为铁源,价格昂贵,往往占水培肥料成本的 $1/3 \sim 2/5$ 。李式军(1995)通过试验筛选出 2 个耐缺铁胁迫品种,冯两蕊等(2007)通过对生菜叶面喷施硒素试验表明,叶面喷硒能提高生菜的叶绿素含量、产量、氨基酸、Vc,并能生产出富硒生菜。

现成的营养液配方不经适当的调整直接配制使用,是不妥当的做法。因为,在不同地区水质和盐类原料纯度等存在差异,会直接影响营养液的组成;其次是栽培作物的品种和生育阶段不同,要求营养液元素比例不同,特别是 N、P、K 三要素的比例;还有栽培方式,特别是基质栽培时,基质的吸附性和本身的营养成分,都会改变营养液的组成。所以,配制前要正确、灵活地调整营养液的配方,经正确调整配