



JIESHUI NONGYE

# 微灌施肥实用技术



WEI GUAN  
SHIFEI SHIYONG  
JISHU

彭世琪 崔勇 主编

 中国农业出版社

# 微灌施肥实用技术

彭世琪 崔勇 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

微灌施肥实用技术/彭世琪, 崔勇主编. —北京: 中国农业出版社, 2006. 5

ISBN 7-109-10886-4

I. 微... II. ①彭... ②崔... III. 施肥-技术  
IV. S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 048463 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 王海兴

---

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

---

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 7.75

字数: 170 千字 印数: 1~1 500 册

定价: 28.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 《微灌施肥实用技术》

## 编 委 会

主 编：彭世琪 崔 勇

编写人员（按姓氏笔画顺序排列）：

王凤新 兰才有 严海军

李久生 高 进 阎 鹏

崔 勇 彭世琪

# 前 言

水是农业生产中不可缺少的资源。灌溉作为农业增产的主要手段，在提高产量和保障国家农产品安全中占有十分重要的位置，地面灌溉的形式已经有了5 000年的历史，但地面灌溉的水分利用率低，随着水资源紧缺问题的越来越突出，新型灌溉设备应用开始得到广泛关注。

微灌是微型灌溉的简称。微灌是通过低压管道系统与安装在末级管道上的灌水器，将水以较小的流量、均匀、准确地直接输送到作物根部附近土壤表面或土层中的灌水方法，是以根部灌溉为主要特征，又称局部灌溉。微灌包括滴灌、渗灌、微喷、涌泉灌等。微灌施肥又称为水肥一体化，是利用微灌系统的水为载体，在灌溉的同时进行施肥。通过合理地计算作物的需水量和需肥量，可以利用微灌系统精确地控制灌水量、灌水时间、施肥量、施肥时间，使水分与养分空间分布达到很高的精度，并且极大地改善作物生长环境，减少病虫害的发生，减少农药使用，提高农产品品质和产量，提高农产品在国内外市场上的竞争力。从1974年，我国引进微灌技术，至今已经建立了门类较为齐全的微灌设备生产企业。但是，在微灌设备与施肥和栽培管理有机结合应用的实用技术研究方面，与国外相比还有很大的差距，在一定程度上制约了微灌设备效益的发挥。本书作者一直致力于微灌、施肥与栽培管理实用技术集成研究和推广，组织编写了这本《微灌施肥实用技术》，希望对基层农技人员学习和应用微灌施肥技术有所帮助。

全书共分为六章。第一章 绪论，论述了微灌施肥的基本概念、我国微灌施肥的主要问题、微灌施肥在中国的应用现状和发展前景。第二章 微灌施肥设备分类与选型，详细介绍了微灌

施肥的系统组成、微灌施肥设备及其选型。第三章 微灌施肥系统的设计,系统地阐明了微灌系统规划原则与内容、系统设计参数确定、水源选择和水量平衡计算、微灌系统布置和水力学计算以及首部枢纽设计。第四章 微灌施肥管理,从微灌施肥方案的拟订方法、部分作物微灌施肥方案实例、微灌施肥适宜肥料品种的选用与专用肥的配制、肥料养分含量和肥液浓度的计算、微灌施肥的监测与管理五个方面系统地进行了介绍。第五章 微灌施肥系统的施工、运行与维护,详细地介绍了微灌施肥系统的施工准备、施工与安装、运行与维护。第六章 运行实例,介绍了番茄日光温室栽培滴灌施肥系统设计、葡萄园滴灌施肥设计、果树小管出流系统设计、地埋滴灌工程设计方案等设计实例。

因时间仓促,水平有限,书中不足之处敬请批评指正。

编 者

2006年4月

# 目 录

## 前言

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 绪论                   | 1  |
| 第一节 概述                   | 1  |
| 第二节 我国灌溉与施肥的主要问题         | 3  |
| 第三节 微灌施肥在中国的应用现状         | 5  |
| 第四节 微灌施肥的发展前景与技术推广       | 8  |
| 第二章 微灌施肥设备的分类与选型         | 11 |
| 第一节 微灌施肥系统的组成            | 11 |
| 第二节 微灌施肥设备               | 12 |
| 第三节 微灌施肥设备的选型            | 35 |
| 第三章 微灌施肥系统的设计            | 38 |
| 第一节 微灌系统规划原则与内容          | 38 |
| 第二节 系统设计参数确定             | 39 |
| 第三节 水源的选择和水量平衡计算         | 44 |
| 第四节 微灌系统布置和水力学计算         | 46 |
| 第五节 首部枢纽设计               | 54 |
| 第四章 微灌施肥管理               | 56 |
| 第一节 微灌施肥方案拟定方法           | 56 |
| 第二节 作物微灌施肥方案实例           | 63 |
| 第三节 微灌施肥适宜肥料品种的选用与专用肥的配制 | 67 |
| 第四节 肥料养分含量和肥液浓度的计算       | 72 |
| 第五节 微灌施肥的监测与管理           | 75 |
| 第五章 微灌施肥系统的施工、运行与维护      | 83 |
| 第一节 施工准备                 | 83 |
| 第二节 施工与安装                | 84 |
| 第三节 运行与维护                | 93 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第六章 运行实例 .....              | 95  |
| 实例 1 番茄日光温室栽培滴灌施肥系统设计 ..... | 95  |
| 实例 2 葡萄园滴灌施肥设计 .....        | 96  |
| 实例 3 果树小管出流 .....           | 103 |
| 实例 4 地埋滴灌工程设计 .....         | 107 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

微灌 (Micro-irrigation) 是微型灌溉技术的简称。微灌是通过低压管道系统与安装在末级管道上的灌水器, 将水以较小的流量均匀、准确地直接输送到作物根部附近的土壤表面或土层中的灌水方法, 是以根部灌溉为主要特征, 又称局部灌溉。国际灌排委员会微灌工作组对微灌的特点做了如下描述: 低压供水、小流量低强度供水、每次灌水历时较长、灌水间隔期 (轮灌期) 短、灌水次数频繁、灌溉水直接进入作物根系层或临界处。由此可见, 微灌与传统的地面灌溉完全不同, 如果从土壤剖面看, 微灌是针对一株一株植物进行的, 灌溉水分布在作物根系周围, 是灌溉作物而不是灌溉土壤。微灌主要有滴灌 (Drip or Trickle Irrigation)、微喷 (Micro-Sprinkler or Micro-Jet Irrigation)、涌泉灌溉或者称小管出流 (Bubbling Irrigation) 和渗灌 (Bleeding Irrigation) 四种形式。

微灌施肥是在微灌系统中增添必要的施肥设施, 灌溉的同时将肥料配对成肥液一起输入到作物根部土壤, 从而达到精确控制灌水量、施肥量和时间。由于微灌施肥的水分和养分在土壤中的分布明显有别于喷灌和地面灌溉, 同时微灌系统可以在作物整个生育期内连续或多次地进行灌水和施肥, 因此微灌条件下作物对水分和养分的需求规律成为制定科学施肥和灌溉制度的基础。以色列和美国在这方面做了大量研究工作, 形成了不同作物、不同土壤和不同栽培条件 (露地、温室) 的微灌施肥制度, 如表 1-1。通过灌溉系统施用化肥的历史相对来说很短, 最早通过压力管道喷灌施肥的报道见于 1958 年, 而用于滴灌只有 15~20 年的时间。有的国家和地区的农民把杀真菌剂、除草剂、杀虫剂等注入到滴灌系统中, 实现了微灌施药, 这样可以在害虫成灾或大量繁殖以前施用农药, 从而既可使虫害减轻到最低程度又减少了农药用量。

表 1-1 滴灌条件下不同作物 N、P、K 的日消耗量

[kg/ (hm<sup>2</sup> · d)]

| 播种或出<br>苗后天数 | 温室番茄 |      |      | 加工番茄 |      |      | 茄 子  |      |      | 椰 菜  |      |      | 瓜 类  |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|              | N    | P    | K    | N    | P    | K    | N    | P    | K    | N    | P    | K    | N    | P    | K    |
| 1-10         | 1.00 | 0.10 | 2.00 | 0.10 | 0.02 | 0.10 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.15 | 0.03 | 0.10 |
| 11-20        | 1.00 | 0.10 | 4.00 | 0.50 | 0.05 | 0.30 | 0.10 | 0.01 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.02 | 0.20 | 0.03 | 0.25 |
| 21-30        | 1.00 | 0.10 | 3.50 | 1.00 | 0.16 | 2.00 | 0.20 | 0.01 | 0.30 | 1.08 | 0.12 | 0.74 | 0.35 | 0.07 | 0.60 |
| 31-40        | 2.50 | 0.20 | 3.50 | 2.80 | 0.19 | 2.30 | 0.25 | 0.01 | 0.80 | 1.22 | 0.13 | 0.91 | 0.90 | 0.18 | 1.45 |

(续)

| 播种或出<br>苗后天数            | 温室番茄    |      |      | 加工番茄   |      |      | 茄 子     |      |      | 椰 菜     |      |      | 瓜 类    |      |      |
|-------------------------|---------|------|------|--------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|--------|------|------|
|                         | N       | P    | K    | N      | P    | K    | N       | P    | K    | N       | P    | K    | N      | P    | K    |
| 41—50                   | 2.50    | 0.40 | 5.50 | 4.50   | 0.75 | 8.00 | 3.20    | 0.02 | 4.90 | 1.75    | 0.20 | 1.35 | 1.30   | 0.25 | 3.00 |
| 51—60                   | 2.50    | 0.60 | 6.00 | 6.50   | 0.80 | 8.50 | 2.90    | 0.08 | 7.20 | 1.04    | 0.13 | 3.04 | 2.50   | 0.25 | 6.00 |
| 61—70                   | 2.50    | 0.30 | 4.00 | 7.50   | 1.80 | 9.00 | 0.25    | 0.09 | 1.30 | 3.02    | 0.36 | 4.34 | 4.30   | 0.35 | 7.00 |
| 71—80                   | 2.50    | 0.30 | 6.00 | 3.50   | 0.50 | 4.50 | 0.25    | 0.05 | 0.50 | 3.41    | 0.46 | 3.95 | 2.40   | 0.45 | 8.00 |
| 81—90                   | 1.50    | 0.30 | 0.10 | 5.00   | 0.50 | 9.20 | 0.25    | 0.05 | 0.50 | 2.79    | 0.38 | 4.09 | 1.20   | 0.43 | 7.50 |
| 91—100                  | 1.50    | 0.10 | 0.10 | 8.00   | 0.89 | 9.00 | 0.25    | 0.05 | 0.50 | 2.09    | 0.32 | 3.13 | 1.00   | 0.27 | 3.50 |
| 101—110                 | 1.00    | 0.10 | 0.10 | —      | —    | —    | 0.25    | 0.09 | 2.00 | 0.93    | 0.18 | 2.74 | 0.50   | 0.13 | 1.00 |
| 111—120                 | 1.00    | 0.10 | 1.00 | —      | —    | —    | 1.20    | 0.15 | 3.00 | 0.20    | 0.09 | 0.96 | 0.30   | 0.07 | 0.05 |
| 121—130                 | 1.50    | 0.20 | 1.00 | —      | —    | —    | 2.40    | 0.27 | 3.00 | 0.18    | 0.09 | 0.48 | —      | —    | —    |
| 131—150                 | 1.50    | 0.35 | 1.30 | —      | —    | —    | 2.60    | 0.31 | 3.00 | 0.15    | 0.04 | —    | —      | —    | —    |
| 151—180                 | 4.00    | 0.50 | 3.80 | —      | —    | —    | 2.30    | 0.38 | 1.60 | —       | —    | —    | —      | —    | —    |
| 181—200                 | 2.00    | 0.30 | 3.00 | —      | —    | —    | 1.90    | 0.35 | 1.60 | —       | —    | —    | —      | —    | —    |
| 合 计                     | 450     | 65   | 710  | 393    | 59   | 520  | 290     | 33   | 380  | 202     | 26   | 165  | 151    | 25   | 385  |
| 播种或出<br>苗日期             | 9月25日** |      |      | 3月27日* |      |      | 9月10日** |      |      | 8月30日** |      |      | 1月14日  |      |      |
| 收获日期                    | 适时采摘    |      |      | 7月18日  |      |      | 适时采摘    |      |      | 1月17日   |      |      | 适时采摘   |      |      |
| 密度 (株/hm <sup>2</sup> ) | 23 000  |      |      | 50 000 |      |      | 12 500  |      |      | 33 000  |      |      | 25 000 |      |      |
| 土壤质地                    | 砂土      |      |      | 黏土     |      |      | 砂土      |      |      | 壤土      |      |      | 砂土     |      |      |
| 产量 (t/hm <sup>2</sup> ) | 195     |      |      | 160    |      |      | 51      |      |      | 13      |      |      | 56     |      |      |

注：\* 出苗，\*\* 播种。

资料来源：Scaife and Bar-Yosef, 1995。

微灌施肥在欧美各国及以色列等国家得到广泛应用，成为经济作物提高品质和产量的一项重要技术，其先进性和实用性表现在以下六个方面：一是局部灌溉。灌溉时只湿润作物根系附近的土壤，一般土壤的湿润度在50%~90%，不产生地表积水径流，也不易产生地下深层渗漏，因此使用较小的水源也可以灌溉较大的面积。二是小水频繁灌溉。根据滴头、滴水带、渗水管、微喷头、小孔出流微管等灌水器的种类，可以控制注水器流量。一般单个灌水器（滴头）流量一般低于12L/h；孔口出流的微灌带，按单位长度计算，流量小于12L/h；大孔口涌流型灌水器流量一般小于225L/h；喷洒型灌水器（微喷头等）流量一般小于175L/h。因此，以较小的水流或水滴多次灌溉，有时作物生育期的灌溉次数要达到10多次以上。水分利用率在90%以上。三是适应性强。微灌系统可以应用于各种地形、各种作物的灌溉。不需要进行土地平整，灌溉时只需要一人操作，灌溉均匀度在90%以上。微灌对工作压力要求较低，一般在3~15m水头之间，灌溉耗能少。四是肥料随水同步输送到根系，有利于作物吸收利用。而且肥料供应集中在根系发达区域

内,分布均匀,防止肥料深层淋失而造成的浪费。五是改善作物生长环境,减少病虫害发生,减少农药使用,提高作物产量和改善品质。六是严格控制灌溉用水量及施用化肥剂量,可避免将化肥淋失到深层土壤,避免造成土壤和地下水的污染。

微灌施肥技术包括设备应用和灌溉施肥管理两部分。需要注意以下几个方面:一是灌溉制度需要根据水源、降水、种植模式和作物生育期需水特征进行设计。为了获得较好的产量水平,灌水量并不是越少越好。在干旱缺水的地区,有时需要把地面灌溉与微灌结合应用才能取得好的产量水平;二是要根据灌水量和灌水制度进行施肥管理改革。表1-2是山东省冬暖大棚番茄微灌施肥拟合技术方案。由于灌水量的减少,要大幅度减少肥料的使用,以避免产生盐害。同时,配合灌水进行合理的施肥是提高产量和品质的关键技术之一。三是肥料的选择和搭配更加严格。要尽可能选用可溶性高的肥料,并避免不同肥料之间可能产生的沉淀反应,堵塞注水器。四是要监测土壤理化性状和土壤墒情,有针对性地进行微灌施肥。

表 1-2 山东省冬暖大棚番茄滴灌施肥技术方案

| 生育时期              | 灌水<br>次数 | 灌水定额<br>( $\text{m}^3/\text{亩}$ ) | 肥料配方<br>$\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ | 每次灌水<br>配用肥量<br>( $\text{kg}/\text{亩}$ ) | 施入纯养分总量<br>( $\text{kg}/\text{亩}$ ) |                        |                      | 备 注                                  |
|-------------------|----------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------------|
|                   |          |                                   |                                                            |                                          | N                                   | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{K}_2\text{O}$ |                                      |
| 定植前<br>(整地、施肥)    | 1        | 22<br>(造墒)                        | 15:15:15                                                   | 80                                       | 12.0                                | 12.0                   | 12.0                 | 根据土壤 N、P、K 含量,适当调节化肥基施比例             |
| 移栽—开花<br>(9月中旬定植) | 1        | 15                                | 15:15:15                                                   | 18                                       | 2.7                                 | 2.7                    | 2.7                  | 一般不浇水施肥或者浇水施肥一次,注意保温                 |
| 开花—结果             | 1~2      | 14                                | 15:10:20                                                   | 16( $\times 2$ )                         | 4.86                                | 3.2                    | 6.4                  | 依据气候和土壤水分情况一般浇水施肥 1~2 次              |
| 采收期<br>(1月中旬~5月底) | 8        | 16                                | 21:5:25                                                    | 15( $\times 8$ )                         | 25.2                                | 6.0                    | 30.0                 | 采收前期 10~15d 灌溉施肥一次,采收后期,7~10d 一次灌溉施肥 |
| 合 计               | 11~12    | 173                               |                                                            |                                          | 44.76                               | 23.90                  | 51.10                |                                      |

注:本方案适合于目标产量为 6 000~9 000 $\text{kg}/\text{亩}$ ,生育期较长的番茄品种。

资料来源:山东省水肥一体化技术示范项目(2002—2005年),山东省土壤肥料总站提供。

微灌施肥系统的设计对工程造价、运行费用、灌水和施肥质量有决定性影响。需要收集资料、作出可行性论证、对水资源进行水利计算、确定工程规模、合理布置水源工程和管网、估算工程材料种类和投资及工程的效益。较大型区域的规划要广泛收集地形、土壤和工程地质、水文和气象、农作物、水资源、社会经济和市场需求等资料,然后进行设计。果园一般选择微喷、固定式滴灌、涌泉灌溉;保护地蔬菜栽培一般采用固定式滴灌和微喷。

## 第二节 我国灌溉与施肥的主要问题

我国位于大陆性季风气候带,从南到北、从东到西降水量递减,最少的地区年均降水量在 100mm,最多的地区年均降水量在 2 000mm 以上。降水年内分布不均,大部分地区

的降水主要集中在6~9月,占全年总降水量的60%~70%,且多大雨、暴雨。南方占全国总耕地面积38%的耕地占有80%的水资源,而北方占62%的耕地却只有20%的水资源。据2004年统计,全国灌溉面积约8.4亿亩<sup>①</sup>,占耕地总面积的40%。由于灌溉水资源不足,实际有效灌溉面积7.2亿亩,每年缺水约300亿m<sup>3</sup>。近十年来,每年旱灾面积在3.7亿亩左右,减少粮食产量300亿kg,水资源短缺已严重制约着我国农业的发展。

我国农业灌溉水资源大约在3800亿m<sup>3</sup>。单位面积水资源量按总耕地面积(18.37亿亩)计算约为3000m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。按实际灌溉面积计算,每公顷水资源量大约在6750m<sup>3</sup>。目前农业灌溉用水主要存在三个问题:

### 1. 传统的大水漫灌的方式普遍存在

由于农田末级基础设施不完善,大田作物多采取大水漫灌的方式,大部分地区的灌溉水量超过作物用水量的30%以上,既浪费了水资源,又造成了土壤的板结。在蔬菜种植中,尤其是大棚蔬菜的种植,漫灌加上冲施肥,造成肥料的随水流失,又引起地下水污染。

### 2. 灌溉水利用效率不高

据水利部门资料分析,我国渠灌面积约占6亿亩,平均渠系利用系数为0.4~0.6,灌区田间水利用系数为0.6~0.7,灌溉水的平均利用率大约为45%。也就是说在灌溉输水的过程中,只有45%左右的水到达田间,55%的水在输水过程中蒸发或渗漏到土壤深层。在2.2亿亩的井灌区中,土渠普遍存在。

### 3. 农田节水技术集成不够

近年来,我国引进和推广喷灌、滴灌、地埋管灌、微灌等节水效率高的灌溉设备,但是缺乏作物在现代种植模式和微灌设备条件下的灌溉制度方面生产性研究成果,缺少系统的微灌水肥高效利用模式供用户选择,影响了高新节水设备效益的发挥。

肥料是最重要的农业生产资料之一,施肥的增产效果一般占各种增产技术的55%以上,化肥在我国农业增产中发挥了重要作用。在农业生产中,化肥约占农业生产总成本的1/4,占全部物质投入的1/2左右,每年我国农民购买化肥支出达2000多亿元。我国化肥应用已经有100多年的历史,2004年,我国年化肥用量超过4600万t(纯养分),是世界上肥料用量最多的国家,然而由于科学施肥技术整体水平较低,不但浪费了大量的肥料,降低了肥效,还带来了严重的农业面源污染。目前肥料的使用主要存在以下三个问题:

#### 1. 肥料使用比例不合理

我国在施肥中重化肥,轻有机肥;重氮、磷肥,轻钾肥;重大量元素,轻中、微量元素的“三重三轻”现象十分普遍。同时,肥料使用比例也不合理,有机肥料投入比例连年下降,在总养分中有机肥仅占25%左右,耕地有机质投入不足;化肥氮、磷、钾比例为1:0.39:0.22,钾肥施用严重不足;微量元素肥料施用面积仅占缺素面积的15%左右。诸如我国东部不少地区粮食作物施肥存在氮肥投入量过大,钾肥用量过低,部分地区氮肥亩施用量达50kg以上,远超过粮食作物需要;相当一部分地区基本不施钾肥,明显低于

<sup>①</sup> 文中所用“亩”为非法定计量单位,1亩=1/15hm<sup>2</sup>(公顷)≈666.7m<sup>2</sup>(米<sup>2</sup>)。

粮食作物生长需要。经济作物化肥用量普遍不合理，化肥用量太多，尤以无机氮过量，植物体内硝酸盐大量积累，瓜菜质量下降；同时，硝酸盐过多引起土壤酸化，破坏土壤结构，也污染了地下水，致使饮用水不符合标准。

## 2. 施肥方法不科学

农民施肥浅施、撒施、冲施比较普遍，施肥方法不科学。据有关资料报道，我国化肥当季利用率氮肥只有 30% 左右，平均比发达国家约低 20 个百分点。20 世纪 50 年代我国每千克化肥可生产粮食 15kg，70 年代为 9kg，90 年代为 7kg 左右，施肥效益下降导致增肥不增产，增产不增收的现象普遍存在。

## 3. 缺少作物专用肥

目前我国肥料市场供应的主要是单一品种的肥料，例如，尿素、过磷酸钙、硫酸钾等。即使有一些复合肥，如磷酸一铵、磷酸二铵，但其氮、磷、钾比例不是针对某种作物的需求。农民使用肥料需要自己到市场上去找，并且不知道不同作物的施肥配方。在需要的肥料找不到的情况下，就购买替代品种或减少该品种肥料的使用。而随着种植结构调整速度加快、农产品市场化水平的提高，农民不可能完全掌握不同作物品种、特别是经济作物的需肥特点，因此，特别需要氮、磷、钾及微量元素搭配好的作物专用肥。

# 第三节 微灌施肥在中国的应用现状

微灌施肥技术在中国发展大体经过三个阶段。一是微灌技术引进消化阶段。我国 20 世纪 70 年代中期开始引进滴灌设备，在最初的几年里，主要是设备的引进与试验。并进行了在经济作物上的应用试验。二是缓慢发展阶段。在成功引进设备的基础上，开始在一些地区的作物上推广应用，但是由于在技术上并不完全成熟，没有得到农民的普遍认可，微灌面积增长缓慢。三是较快的发展阶段。在近 10 年里，随着技术的成熟，国内许多企业开发各种微灌设备，形成了一些有影响力的微灌设备生产企业，微灌设备价格也逐步降低，微灌技术应用有了较快的发展，2005 年已经达到了近 70 万  $\text{hm}^2$ 。伴随着微灌设备的推广，微灌与施肥的集成技术研究得到重视，农业部开始组织水肥一体化技术集成研究与示范，初步形成了不同作物的微灌施肥技术，并且在应用实践中显示了良好的效果。

## 1. 蔬菜微灌施肥技术应用及效果

微灌施肥技术最初应用在经济效益较高的设施蔬菜的种植中，逐步向露地蔬菜发展。中国的家庭式日光温室，面积约在 1 亩左右，适用的微灌施肥设施以滴灌为主，添加文丘里、施肥灌、肥料注射泵等就形成了完整的微灌施肥系统。一些农户附加上简单的施肥设备如水泥池、塑料桶，也可以建立起单棚灌溉施肥系统。近 5 年来，全国农业技术推广服务中心在北京、天津、河北、山东等省（直辖市）组织了灌溉施肥技术集成示范，研究了不同作物的滴灌设施条件下的灌溉制度和施肥制度，已经形成了番茄、黄瓜、大白菜等 10 余种蔬菜的灌溉施肥技术模式，示范结果表明：一是可以改善棚内生态环境，提高棚内温度  $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ ，降低空气湿度  $8.5\sim 15$  个百分点，减少病虫害的发生，防止地下水污染；二是明显提高资源利用率，一般可节水

## 6 微灌施肥实用技术

30%，水资源利用率达到90%以上。节肥30%。三是增产效果明显，一般可增产10%以上。四是农产品品质明显改善。表1-3、表1-4、表1-5、表1-6显示了不同水平的灌溉施肥对番茄产量及效益的影响。

表 1-3 不同灌溉施肥方式对番茄产量的影响分析 (kg/亩)

| 处<br>理 | 灌溉施肥方式     | 重 复      |          |          | 平 均      | 与处理 6 比   |        |
|--------|------------|----------|----------|----------|----------|-----------|--------|
|        |            | I        | II       | III      |          | 增产 (kg)   | 增产 (%) |
| 1      | 滴灌不施肥 (CK) | 1 087.66 | 1 098.59 | 1 099.77 | 1 095.34 | -2 491.21 | -69.46 |
| 2      | 滴灌施肥低水平    | 5 037.22 | 5 031.39 | 5 036.75 | 5 035.12 | 1 448.57  | 40.38  |
| 3      | 滴灌施肥中水平    | 5 106.75 | 5 091.99 | 5 109.66 | 5 102.80 | 1 516.25  | 42.28  |
| 4      | 滴灌施肥高水平    | 5 722.33 | 5 769.04 | 5 640.55 | 5 710.64 | 2 124.09  | 59.22  |
| 5      | 滴灌冲肥       | 3 810.35 | 3 819.70 | 3 822.33 | 3 817.46 | 230.91    | 6.44   |
| 6      | 沟灌冲肥       | 3 594.77 | 3 596.29 | 3 568.59 | 3 586.55 |           |        |

资料来源：山东省水肥一体化技术示范项目（2002—2005年），山东省土壤肥料总站提供。

对产量结果进行方差分析： $F=10\,523.2>F_{0.01}=5.636$ ，说明处理间差异极显著。

表 1-4 番茄灌溉施肥的经济效益分析

| 处<br>理 | 灌溉施肥方式     | 经济产量<br>(kg/亩) | 经济收入<br>(元/亩) |              | 番茄生产成本<br>(元/亩) |     |     |     |       | 亩纯收入<br>(元/亩) | 与处理 6 相比    |           |
|--------|------------|----------------|---------------|--------------|-----------------|-----|-----|-----|-------|---------------|-------------|-----------|
|        |            |                | 价格<br>(元/kg)  | 亩产值<br>(元/亩) | 肥料              | 农药  | 水费  | 用工  | 总计    |               | 亩增加值<br>(元) | 增幅<br>(%) |
| 1      | 滴灌不施肥 (CK) | 1 095.34       | 1.45          | 1 588.24     | 0               | 75  | 10  | 120 | 205   | 1 383.24      |             |           |
| 2      | 滴灌施肥低水平    | 5 035.12       | 1.65          | 8 307.95     | 54              | 65  | 8.8 | 120 | 247.8 | 8 060.15      | 2 634.74    | 48.56     |
| 3      | 滴灌施肥中水平    | 5 102.8        | 1.65          | 8 419.62     | 71.4            | 60  | 8.6 | 110 | 250   | 8 169.62      | 2 744.21    | 50.58     |
| 4      | 滴灌施肥高水平    | 5 710.64       | 1.65          | 9 422.56     | 88.4            | 70  | 8.9 | 120 | 287.3 | 9 154.76      | 3 729.35    | 68.73     |
| 5      | 滴灌冲肥       | 3 817.46       | 1.65          | 6 298.81     | 71.4            | 75  | 12  | 140 | 298.4 | 5 998.41      | 571         | 10.52     |
| 6      | 沟灌冲肥       | 3 586.55       | 1.65          | 5 917.81     | 71.4            | 100 | 21  | 300 | 492.4 | 5 425.41      |             |           |

资料来源：山东省水肥一体化技术示范项目（2002—2005年），山东省土壤肥料总站提供。

表 1-5 不同灌溉施肥方式对番茄水分生产效率的影响分析

| 处理号    | 施肥方式    | 平均产量<br>(kg/亩) | 灌溉水量<br>(m³) | 腾发量 (ET)<br>(m³) | WUE<br>(kg/m³) | 生产效益<br>(元/m³) |
|--------|---------|----------------|--------------|------------------|----------------|----------------|
| 1 (CK) | 滴灌      | 1 095.34       | 120          | 310.52           | 3.50           | 3.50           |
| 2      | 滴灌施肥低水平 | 5 035.12       | 108.25       | 310.52           | 16.21          | 26.75          |
| 3      | 滴灌施肥中水平 | 5 102.8        | 106.43       | 310.52           | 16.43          | 27.11          |
| 4      | 滴灌施肥高水平 | 5 710.64       | 109.79       | 310.52           | 18.39          | 30.24          |
| 5      | 滴灌冲肥    | 3 817.46       | 140.77       | 310.26           | 12.30          | 20.30          |
| 6      | 沟灌冲肥    | 3 586.55       | 230          | 332.48           | 10.79          | 17.80          |

资料来源：山东省水肥一体化技术示范项目（2002—2005年），山东省土壤肥料总站提供。

表 1-6 不同灌溉方式对棚内温、湿度及病害发生程度的影响分析

| 灌溉方式  | 温度 (°C) |      |      | 湿度 (%) |      |      | 地温 (°C) |       |       | 病害发生程度 (%) |
|-------|---------|------|------|--------|------|------|---------|-------|-------|------------|
|       | 8 点     | 12 点 | 20 点 | 8 点    | 12 点 | 20 点 | 8 点     | 12 点  | 20 点  |            |
| 滴灌    | 10      | 21   | 18   | 78     | 73   | 76   | 13.04   | 15.12 | 15.45 | 2.6        |
| 沟灌    | 9.3     | 20.5 | 17   | 83     | 75   | 80   | 11.54   | 14.80 | 15.00 | 4.5        |
| 滴灌比沟灌 | +0.7    | +0.5 | +1   | -5     | -2   | -3   | +1.50   | +0.32 | +0.45 | -1.9       |

资料来源：山东省水肥一体化技术示范项目（2002—2005 年），山东省土壤肥料总站提供。

## 2. 果树的微灌施肥技术应用及效果

传统种植中，果树大部分种植在丘陵坡地上受自然条件影响很大，一般依靠自然降水，少数进行提水灌溉。由于种植结构调整，许多水源条件较好的缓坡地和平原区果树发展很快，而山区也兴建集雨设施进行补充灌溉，这就为果树微灌施肥技术应用提供了可行条件。一般根据不同的地形和水源质量，适用于果树微灌的设备有滴灌、微喷和小管出流三种模式。近几年在我国荔枝、芒果、香蕉、柑橘、苹果、梨、葡萄等种植中微灌施肥技术应用实践证明：果树微灌施肥技术应用有利于控制果树树势、开花和结果，有利于统一收获、减少裂果、减弱果树大小年等，一般南方果树可提高产量 10% 以上，北方果树可提高产量 15% 以上，并且明显提高果品质量和商品率。表 1-7、表 1-8、表 1-9 显示了我国北方果树微灌施肥应用的效果。

表 1-7 北京市顺义区农科所科技园葡萄微灌施肥技术效果分析

| 处 理  | 灌水量 (m³/亩) | 耗水量 (m³/亩) | 耗水系数 (m³/kg) | 水分生产效率 (kg/m³) |
|------|------------|------------|--------------|----------------|
| 对 照  | 125        | 515.2      | 0.601        | 1.66           |
| 灌溉施肥 | 70         | 457.4      | 0.415        | 2.41           |

资料来源：北京市水肥一体化示范项目 2003—2005 年，北京市土肥工作站提供。

表 1-8 北京市顺义区农科所科技园桃树微灌施肥技术效果

| 处 理  | 灌水量 (m³/亩) | 耗水量 (m³/亩) | 耗水系数 (m³/kg) | 水分生产效率 (kg/m³) |
|------|------------|------------|--------------|----------------|
| 对 照  | 160        | 456        | 0.378        | 2.65           |
| 灌溉施肥 | 100        | 349        | 0.244        | 4.10           |

资料来源：北京市水肥一体化示范项目 2003—2005 年，北京市土肥工作站提供。

表 1-9 山西省稷山县红提葡萄灌溉施肥技术效益分析

| 项 目<br>处理 | 施肥量<br>(kg/亩) | 单产<br>(kg/亩) | 产值<br>(元/亩) | 投入<br>(元/亩) | 纯收益<br>(元/亩) | 产投比      |
|-----------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------|
| 常规灌溉施肥    | 73.3          | 900          | 3 150       | 1 090       | 2 070        | 1 : 2.89 |
| 滴灌施肥方案 1  | 66.0          | 1 100        | 3 850       | 1 081       | 2 769        | 1 : 3.56 |
| 滴灌施肥方案 2  | 58.7          | 950          | 3 325       | 1 053       | 2 272        | 1 : 3.16 |
| 滴灌施肥方案 3  | 51.4          | 880          | 3 080       | 1 025       | 2 055        | 1 : 3.08 |

资料来源：山西省棉花膜下滴灌试点项目 2003—2005 年，山西省土壤肥料工作站提供。

### 3. 大田作物微灌施肥技术应用及效果

大田作物的微灌施肥最成功的例子是新疆的棉花膜下滴灌。1996 年新疆引进了滴灌技术, 经过 3 年的试验研究, 成功地研究开发了适合在大面积农田应用的低成本滴灌带。1998 年开展了干旱区棉花膜下滴灌综合配套技术研究与示范, 形成了一套比较成熟的技术模式。据调查, 在新疆棉花上应用膜下滴灌技术一般可节水 50%, 节肥 30%, 减少用工 10%, 提高棉花产量 20%。经过几年探索, 这项技术不仅在新疆大面积推广, 而且在甘肃、山西、宁夏、内蒙古、河北等省(自治区)也得到推广应用。2005 年达到 700 多万亩。表 1-10、表 1-11 显示了在山西省应用棉花膜下滴灌施肥的技术效果。

表 1-10 山西省永济县棉花滴灌施肥技术效益分析

| 项 目<br>处 理 | 施肥量<br>(kg/亩) | 单产<br>(kg/亩) | 产值<br>(元/亩) | 投入<br>(元/亩) | 纯收益<br>(元/亩) | 产投比      |
|------------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|----------|
| 常规灌溉施肥     | 29.5          | 79.2         | 1 188       | 418.1       | 769.9        | 1 : 2.84 |
| 滴灌施肥方案 1   | 26.5          | 81.7         | 1 226       | 406.6       | 819.4        | 1 : 3.02 |
| 滴灌施肥方案 2   | 23.5          | 78.4         | 1 176       | 392.2       | 783.8        | 1 : 3.00 |
| 滴灌施肥方案 3   | 20.5          | 75.0         | 1 125       | 382.8       | 742.2        | 1 : 2.94 |

资料来源: 山西省棉花膜下滴灌试点项目 2003—2005 年, 山西省土壤肥料工作站提供。

表 1-11 山西棉花微灌施肥技术效果分析

| 项 目<br>处 理 | 生育期灌水量<br>(m <sup>3</sup> /亩) | 生育期降水量<br>(mm) | 水分利用率<br>(%) | 水分生产效率<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 水分生产效益<br>(元/m <sup>3</sup> ) |
|------------|-------------------------------|----------------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 常规种植       | 165.0                         | 261.7          | 46.60        | 0.16                           | 2.40                          |
| 滴灌施肥       | 61.3                          | 261.7          | 63.65        | 0.23                           | 3.45                          |

资料来源: 山西省水肥一体化项目示范 2005 年, 山西省土肥站提供。

## 第四节 微灌施肥的发展前景与技术推广

随着国民经济的快速增长, 我国农业水资源已呈零增长趋势, 但是我国对农产品的需求是刚性增长趋势。据测算, 到 2030 年, 我国人口将达到 16 亿, 粮食需求 6.2~6.9 亿 t, 农业灌溉用水需求量将增长到 6 650 亿 m<sup>3</sup>。而根据水利发展规划, 农业灌溉用水将实现零增长, 挖掘农业节水技术潜力是缓解水资源紧缺的重要措施。近 6 年间, 农业种植结构调整的速度加快, 经济作物种植面积增长了 4 倍, 已经占到农作物种植比例的 30% 左右。设施栽培蔬菜面积已经达到 170 多万 hm<sup>2</sup>, 果树种植面积达到 900 多万 hm<sup>2</sup>。据测算, 我国适于应用微灌技术的农作物、经济作物、花卉、林果及草场面积约有 4 000 万 hm<sup>2</sup>, 适于应用微灌施肥技术的蔬菜、果树、棉花等经济作物面积约 400 万 hm<sup>2</sup>, 而现实微灌的应用面积却不足灌溉总面积的 2%, 微灌施肥技术应用面积更少, 这也表明微灌施肥技术潜在需求前景巨大。

微灌施肥技术应用将促进农业种植技术的革命。根据国内外的研究和应用效果显示, 微灌施肥技术使单位面积灌水、肥料施用都大幅度减少, 在农业种植技术体系中引进微灌

和施肥的新理念和新概念。在微灌条件下,灌溉的目的是为作物提供适量的水,提供一个和谐的微生态环境,以作物的生物特性决定需要供应的水量,需要在每次灌溉时进行精确地计算,在水的利用模式转变过程中,土壤水环境也发生了变化。一般来说,微灌的土壤湿润比在50%~90%。从水与施肥的关系看,作物生长发育需要的养分元素只有在溶解态才能被植物根系吸收利用,养分元素在土壤中随水移动。在微灌条件下,因为水量有限,水能溶解的肥料的量有限,作物养分供应也是精密地计算出来的,过多的水会使养分元素淋失。因此,微灌施肥技术实际上使农业生产的每一个环节都体现了很强的技术性,构成了一个新的技术体系。

微灌施肥技术的研发将为农业提供更加适用的产品。我国微灌材料和设备生产厂家已发展到300多家,国外主要厂商均在我国设有设备代销机构。目前产品价格比以前有大幅下降,各种类型的产品门类、规格较齐全,系统配套较完整。灌溉施肥技术的研究与应用方面取得了一定的成效,通过农业技术推广人员以及科研人员的共同努力,初步建立了主要经济作物品种的微灌施肥技术模式和水肥管理规范。但是,与拥有先进的微灌施肥灌溉技术的以色列、美国等国家相比,我国微灌施肥技术发展存在许多问题,例如施肥装置品种规格少,质量参差不齐;缺乏对国内常用施肥装置(施肥罐和文丘里装置)水力性能和运行参数的生产性试验,至今尚未形成施肥装置的生产和运行标准,严重影响了施肥装置的生产、滴灌施肥精度和质量;缺乏作物滴灌施肥灌溉制度方面的生产性试验研究成果,缺少系统的滴灌水肥高效利用模式供用户选择;缺少滴灌施肥灌溉系统运行操作规程;缺乏微灌施肥专用肥料等。随着生产的发展,农民将不再欢迎低质低价的微灌产品,代之以可以一次投资多年应用的设备。从生产需求看,一是需要开发抗堵塞(泥沙、盐分、菌藻等)能力强、灌水均匀度高、运转成本低、设备运行稳定性、耐久性好的产品。二是需要研究不同作物、不同区域的微灌—施肥、微灌—栽培、微灌—品种应用的实用集成技术。三是需要建立不同作物的需水规律和灌溉制度、施肥体系及可溶性肥料的开发。四是在自动化控制、网络信息服务、技术效益评价等方面需要建立与农户的协作体制。

加强培训是推进微灌施肥技术应用的重要措施。我国大部分是小农户管理。从1984年开始,中国实施了农业承包责任制,农户按当地耕地总面积进行了土地承包,人均耕地面积在1~5亩,一个农户耕地面积在5~15亩,甚至更少。农民是否能够在有限的土地上获得高产量和高收入,成为推进微灌施肥技术应用的重要因素。受到各种制约因素的影响,农民对微灌施肥技术的认知程度还很低。微灌施肥技术具有较强的综合性和专业性,特别是在灌溉设备应用条件下的灌溉制度、施肥制度和栽培管理的技术性很强,因此,迫切需要建立一支以基层农技人员为核心的微灌施肥技术人员队伍,以便有效地对农民进行技术指导。我国有近40万农业技术推广人员,在县级以下的基层农技人员占到四分之三,根据微灌施肥技术推广应用发展需求,平均每县至少需要有2~3个经过初级水平培训、1个中级水平培训的农技人员。

微灌施肥技术应用还应突出农产品产出效益目标。微灌施肥技术将是未来蔬菜、瓜果等经济作物生产中非常重要的技术体系,具有管理模式化、技术标准化的农产品质量优质率高和商品化程度高的特点,为我国农产品参与国际市场竞争、建立优质优价的市场价格体系和产品销售体系提供了技术基础。但是这种生产需要规模化发展,一家一户的农户,