

微灌施肥技术在华南果园中的应用

华南农业大学资源环境学院作物营养与施肥研究室 张承林

一、概述

华南地区包括广东、广西、海南三省和福建省南部地区，地处热带亚热带气候区，是我国热带亚热带果树的重要产区。栽培面积较大的有香蕉、柑桔、荔枝、龙眼、菠萝、芒果、杨桃、木瓜、番石榴、杨梅等（表 1）。一些果树成为一些县市的重要经济来源，如广东高州的龙眼，梅州的沙田柚，海南东方县的香蕉等。华南地区属丘陵地带，果园绝大部分位于丘陵坡地、河滩地头。土壤主要是红壤、赤红壤和砖红壤。缺乏氮磷钾镁等营养元素成为普遍的养分问题。大部分果园没有完善的灌溉设施。地面漫灌、沟灌、拖管淋施是主要的灌溉方式。华南地区总体来讲雨量充沛（年降雨在 1800 毫米左右），

表 1 2002 年华南地区主要果树的产量及面积

产地	柑桔橙柚	香蕉	菠萝	荔枝	龙眼	柑桔橙柚	香蕉	菠萝	荔枝
	产量（千吨）					栽培面积（千公顷）			
福建	1910	764	38	147	192	163	29	3.8	40
广东	1232	2717	462	977	382	105	110	29	256
广西	1372	1073	70	361	355	118	54	5.1	218
海南	16.5	853	227	29	6.4	2.6	34	14	32

*: 引自《2002 年全国农业统计提要》，www.agri.gov.cn/sjzl/nongyety.htm

但分布并不均匀，季节性干旱（如秋冬季）和局部干旱（如广东雷州半岛、韶关、海南岛东部地区等）现象非常明显。近两年来，一些地方连续 8 个月滴雨未降。一些地区因无水可浇果树死亡（如雷州半岛的徐闻县）。目前大部分果园都处于粗放管理阶段，水肥管理计划凭经验决定。大量人力的投入是果园管理的普遍情况。以香蕉为例。香蕉是需水肥较多的作物，频繁的灌溉和施肥（一些果园年施肥次数达 18 次）耗费大量的人工。由于无法每次开沟施肥，肥料直接撒在土壤表面。对移动性差的磷来讲，多次施肥后大量磷滞留土壤表层不被利用，施肥效益低下。

良好的灌溉设施是现代果园管理中保持丰产稳产的重要措施。设施灌溉不单解决果园水的需求，同时还为一种新的高效施肥方法提供必备的条件，这种新的施肥方法叫做“加肥灌溉”。在果园普遍应用的设施灌溉方式为滴灌和微喷灌，这两种方式统称为微

灌。微灌施肥就是将灌溉和施肥结合起来的一项农业措施，即通过灌溉设备进行施肥。和沟灌、喷灌等相比，微灌是一种局部灌溉和精确灌溉。微灌不但可以与施肥结合，也可以和农药、除草剂、土壤消毒剂一起使用。微灌施肥技术在上世纪 70 年代得到迅速发展。其中美国、以色列、澳大利亚、墨西哥、新西兰、塞浦路斯等国微灌施肥技术非常普遍。以色列 90% 以上的园艺作物都采用微灌施肥技术。我国的微灌面积只占总灌溉面积的 0.5%，但现有 90% 以上的微灌面积都没有和施肥结合。

二、微灌施肥技术的优点和不足

（一）优点

微灌施肥技术在华南果园中的应用有着广阔的前景和有利条件。除了微灌施肥本身的优点外（如节水、节肥、省工），微灌施肥技术还有下列优点：

1. 提高果品产量和品质，提高果实的商品等级。
2. 方便集约化栽培果园的水肥管理，有利于实现标准化栽培。
3. 高效快速，可以在很短时间内完成灌溉和施肥任务。这对果树栽培有重要意义，可以保证树体生长一致，有利于其它措施（如施药、修剪等）的实施。
4. 保证果树的丰产稳产，提高抵御不良天气的能力。
5. 对热带亚热带果树来讲，保持土壤均衡的水分状况，有利于减少裂果。
6. 由于良好的水肥管理，一些果实可以提前成熟，从而获得较好的收益。
7. 开发边缘土壤（如沙地、海南火山灰土壤）种植果树。

（二）不足

1. 灌溉施肥是一种设施施肥，需要购买必须的设备。其最大局限性是一次性投资较大。根据近几年的灌溉设备和施肥设备市场价格估计，大田采用灌溉施肥一般每公顷设备投资在 4500~15000 元，而温室灌溉施肥的投资比大田高。

2. 除投资外，灌溉施肥对管理有一定要求，管理不善，容易导致滴头堵塞。如磷酸盐类化肥，在适宜的 pH 值条件下易在管内产生沉淀，使系统出现堵塞现象。在南方一些井水灌溉的地方，水中的铁质引致的滴头铁细菌堵塞常会使系统报废。

3. 施肥通常只湿润部分土壤，根系的生长可能只局限在灌水器的湿润区，有可能造成限根效应，致植株矮小。这在干旱半干旱地区只依赖滴灌供水的地区可能会出现这种情况。但在华南地区有较丰富的降水，设施灌溉并不是水分的唯一来源，在此情况下限根效应较小。

4. 长期应用微灌施肥，特别是滴灌施肥，容易造成湿润区边缘的盐分累积。但在降雨充沛的地区，雨水可以淋洗盐分。在我国南方地区田间应用灌溉施肥，不存在土壤盐分累积的问题。

三、华南地区应用微灌施肥的有利条件

1. 大部分果园位于丘陵山地，传统的灌溉施肥操作非常困难，对节省劳力的灌溉施肥技术用户迫切需要。
2. 许多果园为集约化栽培，面积几十公顷以上。经营者大部分为来自台湾、香港、新加坡、珠江三角洲等经济发达地区的个体商人或公司。他们有投资能力，对新技术接受快。特别是海外经营者，会自觉地去使用这些技术。
3. 南方相对来讲有充足的降雨，可以淋洗微灌施肥可能带来的盐分累积，基本不存在盐害问题。
4. 灌溉水的硬度小，钙镁含量低，与肥料间的相互作用小。化学沉淀造成的管道和滴水器的堵塞问题不严重。
5. 大部分情况下可以应用重力滴灌和重力微喷灌，管理简单化。
6. 因无严寒，田间管道埋深较浅，节省安装费用。同时也不用担心冬季管道内结冰而爆管。

四、华南地区应用微灌施肥要考虑的技术问题

（一）系统的设计

1. 灌溉系统

灌溉系统的设计不但关系到系统能否良好运作，同时关系到系统使用寿命和用户投资的大小。微灌施肥系统是一个综合技术，涉及到农田灌溉、作物栽培、土壤肥料等多学科知识。由于果园在土壤、果树、水源、地形、交通等方面千差万别，每一个具体果园都有不同的设计方案。具体的设计内容的介绍已超出本文的范围，但有相当多的专业书籍介绍此专门知识。目前我国在灌溉施肥方面设计人员奇缺，许多公司都是边干边学，用户也无法比较和挑选。总体来讲，在设计过程中要了解土壤质地、地形变化、果树栽植规格、水源、电力等基本情况，确定合理的管道系统，有效湿润区的面积和土层深度、滴头间距、毛管大小及最大铺设长度。在高差较大的果园，采用重力滴灌系统更方便管理，轮灌区面积可大可小，灌溉和施肥的

灵活性大。

2. 施肥系统

果园施肥一般为定量施肥，不要求肥料以稳定的浓度施入土壤，因此复杂而昂贵的施肥设备（如施肥泵，施肥机等）极少在果园应用。目前在华南地区果园应用的施肥设备主要有压差式施肥罐、文丘里施肥器。另外自重力施肥法、泵前水侧施肥法也有应用。选择果园最佳的施肥设备要考虑设备寿命、抗腐蚀性能、施肥的精确性、操作的简易性等。

在管道有足够压力或电力可以保证的情况下，可选用压差式施肥罐和文丘里施肥器。文丘里施肥器可实现按浓度施肥。在南方丘陵果园，很多水源处于比果园高的位置（如山泉），但压力差又较小（几米至十几米水压），最适合采用自压滴灌或微喷系统。此时上述施肥装置由于对压力的特殊要求都不适用。在山顶建蓄水池的情况下，可以在蓄水池顶部或比蓄水池高的位置建一混肥池，并将两者出口管道连接。当需要施肥时，先打开蓄水池阀门，再打开混肥池阀门，肥料则被带入管道。实践证明，这种施肥方法非常适合有自压水源的丘陵果园，操作简单，设备简易。如调控得当，可控制施肥浓度，做到精确施肥。

（二）系统的安装和调试

田间管道系统的铺设，即要照顾系统的保护（如防日晒 PVC 管要求埋入土中），又要干扰日常的农事操作。安装好后要对系统压力进行调试，保证田间出水的均匀性。华南地区果园高差较大，为了使每株树得到相同的水量，建议使用压力补偿式滴头。另外丘陵果园果树株行距通常是不均一的，现场安装滴头的情况更常见。内置滴头因其间距固定应用较少。对施肥的调试主要是确定施肥时间，特别是通过密闭施肥罐施肥。调试的方法可以监测开始施肥后出水器处电导率的变化。当电导率与灌溉水相同时表明施肥完成。也可用 2% 四苯硼钠试剂来检测水中钾和铵离子的变化，但该法只适合钾肥和铵态氮肥。

五、适合灌溉施肥的肥料

（一）肥料种类

适合灌溉施肥的肥料应该满足以下要求：1、肥料中养分浓度较高。2、在田间温度条件下完全并快速溶于水。3、含杂质少，不会阻塞过滤器和滴头。4、能与其它肥料混合，与灌溉水的相互作用很小。5、不会引起灌溉水 pH 的剧烈变化。6、对控制中心和

灌溉系统的腐蚀性小。下表列出了目前华南地区市场容易购买到且适于灌溉施肥的肥料种类。

表2. 用于灌溉施肥的肥料种类

肥 料	养分含量 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	分子式
尿素	46-0-0	CO(NH ₂) ₂
硝酸钾	13-0-46	KNO ₃
硫酸铵	21-0-0	(NH ₄) ₂ SO ₄
硝酸铵	34-0-0	NH ₄ NO ₃
磷酸一铵	12-61-0	NH ₄ H ₂ PO ₄
磷酸二铵	21-53-0	(NH ₄) ₂ HPO ₄
硝酸钙	15-0-0	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O
磷酸二氢钾	0-52-34	KH ₂ PO ₄
氯化钾	0-0-60	KCl
硫酸钾	0-0-50	K ₂ SO ₄
硫酸镁	0-0-0	MgSO ₄ ·7H ₂ O

1、市场上销售的作为复合肥使用的磷酸一铵和二铵，外观为颗粒状。其中含有造粒用的粘结物质，它们在水中不溶解。不宜作为灌溉施肥原料。如果要用，要先将肥料在大桶内溶解，利用上面的澄清液。用于制造复合肥的磷酸一铵和磷酸二铵原料（外观为灰白色、粉状）可直接作灌溉用肥料。

2、氯化钾仅指白色粉状氯化钾，主要用于做复合肥的钾原料，如约旦、以色列产氯化钾。加拿大产红色氯化钾因含有铁质等不溶物，不宜直接用于灌溉施肥。如要用，必须先在大桶内溶解，取上清液施用。

适于灌溉用的氮肥和钾肥在市场上容易买到，但磷肥的情况比较特殊。在华南地区水的硬度较低，通过微灌系统施磷肥而引致的化学沉淀导致滴水器堵塞的现象大幅减少。但是由于磷在土壤中的难移动性，通过滴灌滴入的磷肥主要积聚在滴头附近几厘米范围，根系不能有效吸收。目前适合微灌的磷肥在市场上不易买到。磷酸呈强烈腐蚀性，使用存在安全问题。磷酸二氢钾价格昂贵，主要作叶面肥使用。磷酸一铵和二铵市场上主要是肥料级，灌溉专用的也难于买到。鉴于这些情况，通常在果园建议通过土壤施用

磷肥，可以在果树定植或改良土壤时与有机肥一同施用。

据我们的田间调查，缺镁是华南果园非常普遍的缺素问题。通过微灌系统施用硫酸镁可以有效解决果园缺镁问题。硫酸镁价格低，溶解性好，腐蚀性小。微量元素肥料基本通过叶面喷施。

在山区果园施用有机肥是改良土壤和提供养分的常规措施。但施用有机肥耗工费时，劳动强度大。在有设施灌溉的果园通过灌溉系统施用有机肥一直是一个存在争论的问题，问题核心是有机肥对灌溉系统的堵塞。我们在滴灌系统中应用花生麸和鸡粪的沤腐液，通过石英砂池过滤，应用于黄皮果树上，效果良好。纯鸡粪沤腐后残渣很少，绝大部分可通过滴灌使用。但花生麸残渣比例很高，不宜在滴灌中应用。连续一年的应用并不存在系统堵塞问题。关键是每次滴施完有机肥液后要滴 15~20 分钟清水。

（二） 施肥过程

果园微灌施肥操作上非常简单，只要将肥料（固体或液体）倒入施肥罐或其它施肥装置，按操作说明进行即可。果园微灌施肥对每种肥料单独进行，基本不存在肥料之间的直接反应。如施完尿素施氯化钾，施完硫酸镁施磷酸二铵等。施肥后保证足够时间冲洗管道，是防止系统堵塞的重要措施。冲洗时间与灌溉区的大小有关，滴灌一般为 15~30 分钟，微喷 5~10 分钟。华南一些微灌施肥示范点的失败大部分与施肥后不冲洗而致的堵塞有关。

六、 果园灌溉和施肥计划的制定

虽然文献中有无数的灌溉计划制定的研究数据，但能够直接应用的很少。绝大部分果农是根据经验指导灌溉。可通过观察树体的水分状况及挖开土壤察看，确定灌溉的开始时间。根据土壤的湿度变化，确定灌溉停止的时间。经过几次的观察和比较，一般果农都能凭经验做到“精确灌溉”。用张力计监测土壤水分状况也是一种简易而实用的办法。张力计使用的理论指导是土壤水分特征曲线。但针对具体土壤的水分特征曲线测定较复杂，不易获得。用户可以在田间根据经验摸索出读数和土壤水分的关系。我们多年的实践证明，张力计价格低廉、实用耐用，其精确度可满足生产水平的要求。其它监测土壤水分的方法如中子探测器和时域反射仪（TDR）法因设备过于昂贵在当前情况下无法推广。

合理施肥计划的内容是确定肥料的种类、用量和肥料在各个生长季节的分配。在实行精确施肥的果园，施肥量是根据土壤养分分析、叶片分析、树势、目标产量等因素决定的。对果园来讲，土壤化学分析和叶片分析结果是制定施肥计划的重要参考依据。其

分配根据具体果树的生长特点而定。一些国家有专门的公司从事土壤分析和叶片分析并作出施肥建议。我国有关此方面的工作主要在一些大学和研究机构进行。对常规施肥条件下且获得高产的果园，在没有土壤和叶片分析的条件下，微灌施肥的用量可以按常规用量的 40~50% 确定（假定微灌施肥的利用率提高约 1 倍）。由于微灌施肥肥料利用率较高，对初次应用此技术的果园，要防止施肥过多而导致的过旺营养生长。为保险起见，可采取少量多次的原则。具有设施灌溉条件的果园，同样可以用传统方法施肥。如在大雨前撒施尿素、氯化钾、硫酸镁等。氮肥主要为尿素及其它铵态氮肥，长期施用会导致土壤酸化。我们的研究表明，滴灌施肥后土壤越往深层酸度越大。pH 可降低 1.5~2.0 单位。撒施石灰可以解决果园浅层土壤的酸度，但降低深层土壤的酸度在管理上仍然是一个问题。

七、微灌施肥的效益

微灌施肥是借助微灌设备进行的。主要的投资是灌溉设备。一套完善的滴灌系统每亩投资约 300~1000 元不等。其价格决定于国产设备还是进口设备、设备规格、设备寿命、果园规模（首部枢纽是必备的，大小果园都要一个，则分摊费用不同）、果树种类（密植和稀植）、系统的复杂程度（自动化、半自动化、人工操作）、灌水器的种类（如压力补偿式或非压力补偿式）、果园地形的复杂程度（山地或平地）、果园设计水平（如规划和未规划）、水源工程的复杂程度等。现在市场上有满足各种要求的灌溉设备。有些投资少适合山地果园，如微重力滴灌系统。在计划投资果园灌溉设施前，最好经专业的灌溉设备公司或研究机构进行规划设计。他们会根据果园的实际情况选择相应的设备。如前所述，微灌施肥技术可以节省劳力、节省肥料、提高产量和品质。由此而产生的效益是可观的。有些果园裂果和大小年现象造成很大损失，良好的灌溉设施可以尽量避免这种损失。灌溉设备可以应用多年。从长远的效益分析，这种投入的回报是显著的。我们在西丽果场连续四年分析滴灌施肥的成本和效益，综合考虑水、电、劳力、肥料、人工、增产等因素，使用滴灌施肥后投入产出比为 1: 9.2。

八、华南果园灌溉施肥存在的问题

1. 认识问题 华南地区降雨量充沛，年降雨量在 1800~2000 毫米左右。这是很多人认为南方不需发展设施灌溉的根据。如上所述，微灌施肥不单是解决灌溉问题，同时还有多方面的优点。劳动力和化肥价格的不断升高，促使果农寻找省工低耗的生产技术。

2. 技术缺乏 即使果农意识到微灌施肥技术的重要性，到哪里去寻找技术援助仍是一大问题。目前在华南地区，灌溉施肥技术人才奇缺。一些研究单位或灌溉公司的农业

工程技术人员可以设计单纯的灌溉系统，但对施肥部分不熟悉。培养灌溉施肥技术方面的人才当务之急。目前只有极少的人员在做适合华南地区果园的灌溉施肥技术的研究和示范工作。

3. **推广体系不健全** 由于没有完善的推广体系或协会组织来传播技术和信息，使得灌溉施肥技术在华南推广速度极慢。零星的示范点发挥的作用极有限。

4. **没有当地企业参与推广** 企业的参与是推动灌溉施肥技术发展的重要力量。新疆棉花膜下滴灌施肥技术的快速推广，新疆天业集团功不可没。但华南地区目前还没有一家当地有实力的企业在从事这一工作。由于设施灌溉没有大面积应用，与之配套的灌溉用肥料也无从谈起。

九、田间示范工作

自 2000 年以来，我们在多种作物上进行了灌溉施肥的研究和示范，推广面积近 3000 公顷，取得了显著的经济效益。许多农户和科技推广人员正是从示范点第一次接触灌溉施肥的概念，然后再在自己的土地上应用该技术。做好田间示范工作，是灌溉施肥技术推广的重要环节。下表列出了我们建立的示范点的基本情况。

表 3、灌溉施肥技术的示范作物

作物	灌溉方式	施肥方式	自动化	面积 (ha)	地点
荔枝	压力补偿式滴灌	施肥罐	自动化控制	52	深圳西丽果场
茶叶	滴灌	施肥罐	手动	7	广东增城
龙眼	重力滴灌	自压式施肥	手动	25	广东电白、深圳
黄皮	重力滴灌	自压式施肥	手动	20	广东郁南
杨桃	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	2	深圳西丽果场
香蕉	重力滴灌	施肥罐	手动	4	广东中山
台湾青枣	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	2	深圳西丽果场
番石榴	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	1.5	深圳西丽果场
柑桔育苗	大棚微喷	文丘里施肥器	自动化	0.8	广东四会
砂糖桔	重力滴灌	文丘里施肥器	手动	7.8	广东清新
番木瓜	微喷灌	施肥罐	手动	12	海南澄迈
芒果	微喷灌	施肥罐	手动	5	海南澄迈
胡椒	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	15	海南澄迈

上述示范试验表明，微灌施肥技术可以显著节水、节肥、省工，促进作物的生长，提高产品品质。在华南地区有相对丰富的降雨，节水效益往往被忽视。但节肥省工效果非常明显。对荔枝自动化滴灌施肥连续 3 年的调查表明，节省肥料 70% 以上，节省人工 95% 以上。荔枝大果和商品果比例增加。荔枝大年时，滴灌施肥区可显著增产。荔枝小年时，滴灌施肥区能保持一定产量，并获得很高的价格，经济效益显著。对胡椒和黄皮的调查也表明，滴灌施肥区比对照区（传统灌溉和施肥）植株生长量大 1 倍以上，叶片数量多，叶大而肥厚，抽梢快。各种施肥方法有利有弊，但都能满足示范区作物施肥要求。我们使用的肥料品种有尿素、氯化钾、磷酸二氢钾、硫酸镁、液体冲施肥、鸡粪沤腐液等。施肥原则是“少量多次”及基施（主要磷肥）、撒施（雨前进行）和灌溉施肥结合。

在 1800 毫米左右），但分布并不均匀，季节性干旱（如秋冬季）和局部干旱（如广东雷州半岛、韶关、海南岛东部地区等）现象非常明显。近两年来，一些地方连续 8 个月滴雨未降。一些地区因无水可浇果树死亡（如雷州半岛的徐闻县）。目前大部分果园都处于粗放管理阶段，水肥管理计划凭经验决定。大量人力的投入是果园管理的普遍情况。以香蕉为例。香蕉是需水肥较多的作物，频繁的灌溉和施肥（一些果园年施肥次数达 18 次）耗费大量的人工。由于无法每次开沟施肥，肥料直接撒在土壤表面。对移动性差的磷来讲，多次施肥后大量磷滞留土壤表层不被利用，施肥效益低下。

良好的灌溉设施是现代果园管理中保持丰产稳产的重要措施。设施灌溉不单解决果园水的需求，同时还为一种新的高效施肥方法提供必备的条件，这种新的施肥方法叫做“加肥灌溉”。在果园普遍应用的设施灌溉方式为滴灌和微喷灌，这两种方式统称为微灌。微灌施肥就是将灌溉和施肥结合起来的一项农业措施，即通过灌溉设备进行施肥。和沟灌、喷灌等相比，微灌是一种局部灌溉和精确灌溉。微灌不但可以与施肥结合，也可以和农药、除草剂、土壤消毒剂一起使用。微灌施肥技术在上世纪 70 年代得到迅速发展。其中美国、以色列、澳大利亚、墨西哥、新西兰、塞浦路斯等国微灌施肥技术非常普遍。以色列 90% 以上的园艺作物都采用微灌施肥技术。我国的微灌面积只占总灌溉面积的 0.5%，但现有 90% 以上的微灌面积都没有和施肥结合。

二、微灌施肥技术的优点和不足

（一）优点

微灌施肥技术在华南果园中的应用有着广阔的前景和有利条件。除了微灌施肥本身的优点外（如节水、节肥、省工），微灌施肥技术还有下列优点：

8. 提高果品产量和品质，提高果实的商品等级。
9. 方便集约化栽培果园的水肥管理，有利于实现标准化栽培。
10. 高效快速，可以在很短时间内完成灌溉和施肥任务。这对果树栽培有重要意义，可以保证树体生长一致，有利于其它措施（如施药、修剪等）的实施。
11. 保证果树的丰产稳产，提高抵御不良天气的能力。
12. 对热带亚热带果树来讲，保持土壤均衡的水分状况，有利于减少裂果。
13. 由于良好的水肥管理，一些果实可以提前成熟，从而获得较好的收益。
14. 开发边缘土壤（如沙地、海南火山灰土壤）种植果树。

（二）不足

1. 灌溉施肥是一种设施施肥，需要购买必须的设备。其最大局限性是一次性投资较大。根据近几年的灌溉设备和施肥设备市场价格估计，大田采用灌溉施肥一般每公顷设备投资在 4500~15000 元，而温室灌溉施肥的投资比大田高。

2. 除投资外，灌溉施肥对管理有一定要求，管理不善，容易导致滴头堵塞。如磷酸盐类化肥，在适宜的 pH 值条件下易在管内产生沉淀，使系统出现堵塞现象。在南方一些井水灌溉的地方，水中的铁质引致的滴头铁细菌堵塞常会使系统报废。

3. 施肥通常只湿润部分土壤，根系的生长可能只局限在灌水器的湿润区，有可能造成限根效应，致植株矮小。这在干旱半干旱地区只依赖滴灌供水的地区可能会出现这种情况。但在华南地区有较丰富的降水，设施灌溉并不是水分的唯一来源，在此情况下限根效应较小。

4. 长期应用微灌施肥，特别是滴灌施肥，容易造成湿润区边缘的盐分累积。但在降雨充沛的地区，雨水可以淋洗盐分。在我国南方地区田间应用灌溉施肥，不存在土壤盐分累积的问题。

三、华南地区应用微灌施肥的有利条件

6. 大部分果园位于丘陵山地，传统的灌溉施肥操作非常困难，对节省劳力的灌溉施肥技术用户迫切需要。
7. 许多果园为集约化栽培，面积几十公顷以上。经营者大部分为来自台湾、香港、

新加坡、珠江三角洲等经济发达地区的个体商人或公司。他们有投资能力，对新技术接受快。特别是海外经营者，会自觉地去使用这些技术。

8. 南方相对来讲有充足的降雨，可以淋洗微灌施肥可能带来的盐分累积，基本不存在盐害问题。
9. 灌溉水的硬度小，钙镁含量低，与肥料间的相互作用小。化学沉淀造成的管道和滴水器的堵塞问题不严重。
10. 大部分情况下可以应用重力滴灌和重力微喷灌，管理简单化。
6. 因无严寒，田间管道埋深较浅，节省安装费用。同时也不用担心冬季管道内结冰而爆管。

四、华南地区应用微灌施肥要考虑的技术问题

（一）系统的设计

1. 灌溉系统

灌溉系统的设计不但关系到系统能否良好运作，同时关系到系统使用寿命和用户投资的大小。微灌施肥系统是一个综合技术，涉及到农田灌溉、作物栽培、土壤肥料等多学科知识。由于果园在土壤、果树、水源、地形、交通等方面千差万别，每一个具体果园都有不同的设计方案。具体的设计内容的介绍已超出本文的范围，但有相当多的专业书籍介绍此专门知识。目前我国在灌溉施肥方面设计人员奇缺，许多公司都是边干边学，用户也无法比较和挑选。总体来讲，在设计过程中要了解土壤质地、地形变化、果树栽植规格、水源、电力等基本情况，确定合理的管道系统，有效湿润区的面积和土层深度、滴头间距、毛管大小及最大铺设长度。在高差较大的果园，采用重力滴灌系统更方便管理，轮灌区面积可大可小，灌溉和施肥的灵活性大。

2. 施肥系统

果园施肥一般为定量施肥，不要求肥料以稳定的浓度施入土壤，因此复杂而昂贵的施肥设备（如施肥泵，施肥机等）极少在果园应用。目前在华南地区果园应用的施肥设备主要有压差式施肥罐、文丘里施肥器。另外自重力施肥法、泵前水侧施肥法也有应用。选择果园最佳的施肥设备要考虑设备寿命、抗腐蚀性能、施肥的精确性、操作的简易性等。

在管道有足够压力或电力可以保证的情况下，可选用压差式施肥罐和文丘里施

肥器。文丘里施肥器可实现按浓度施肥。在南方丘陵果园，很多水源处于比果园高的位置（如山泉），但压力差又较小（几米至十几米水压），最适合采用自压滴灌或微喷系统。此时上述施肥装置由于对压力的特殊要求都不适用。在山顶建蓄水池的情况下，可以在蓄水池顶部或比蓄水池高的位置建一混肥池，并将两者出口管道连接。当需要施肥时，先打开蓄水池阀门，再打开混肥池阀门，肥料则被带入管道。实践证明，这种施肥方法非常适合有自压水源的丘陵果园，操作简单，设备简易。如调控得当，可控制施肥浓度，做到精确施肥。

（三）系统的安装和调试

田间管道系统的铺设，即要照顾系统的保护（如防日晒 PVC 管要求埋入土中），又要干扰日常的农事操作。安装好后要对系统压力进行调试，保证田间出水的均匀性。华南地区果园高差较大，为了使每株树得到相同的水量，建议使用压力补偿式滴头。另外丘陵果园果树株行距通常是不均一的，现场安装滴头的情况更常见。内置滴头因其间距固定应用较少。对施肥的调试主要是确定施肥时间，特别是通过密闭施肥罐施肥。调试的方法可以监测开始施肥后出水器处电导率的变化。当电导率与灌溉水相同时表明施肥完成。也可用 2% 四苯硼钠试剂来检测水中钾和铵离子的变化，但该法只适合钾肥和铵态氮肥。

五、适合灌溉施肥的肥料

（一）肥料种类

适合灌溉施肥的肥料应该满足以下要求：1、肥料中养分浓度较高。2、在田间温度条件下完全并快速溶于水。3、含杂质少，不会阻塞过滤器和滴头。4、能与其它肥料混合，与灌溉水的相互作用很小。5、不会引起灌溉水 pH 的剧烈变化。6、对控制中心和灌溉系统的腐蚀性小。下表列出了目前华南地区市场容易购买到且适于灌溉施肥的肥料种类。

表2. 用于灌溉施肥的肥料种类

肥 料	养分含量 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)	分子式
尿素	46-0-0	CO(NH ₂) ₂
硝酸钾	13-0-46	KNO ₃
硫酸铵	21-0-0	(NH ₄) ₂ SO ₄

硝酸铵	34-0-0	NH_4NO_3
磷酸一铵	12-61-0	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
磷酸二铵	21-53-0	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
硝酸钙	15-0-0	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
磷酸二氢钾	0-52-34	KH_2PO_4
氯化钾	0-0-60	KCl
硫酸钾	0-0-50	K_2SO_4
硫酸镁	0-0-0	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

1、市场上销售的作为复合肥使用的磷酸一铵和二铵，外观为颗粒状。其中含有造粒用的粘结物质，它们在水中不溶解。不宜作为灌溉施肥原料。如果要用，要先将肥料在大桶内溶解，利用上面的澄清液。用于制造复合肥的磷酸一铵和磷酸二铵原料（外观为灰白色、粉状）可直接作灌溉用肥料。

2、氯化钾仅指白色粉状氯化钾，主要用于做复合肥的钾原料，如约旦、以色列产氯化钾。加拿大产红色氯化钾因含有铁质等不溶物，不宜直接用于灌溉施肥。如要用，必须先在大桶内溶解，取上清液施用。

适于灌溉用的氮肥和钾肥在市场上容易买到，但磷肥的情况比较特殊。在华南地区水的硬度较低，通过微灌系统施磷肥而引致的化学沉淀导致滴水器堵塞的现象大幅减少。但是由于磷在土壤中的难移动性，通过滴灌滴入的磷肥主要积聚在滴头附近几厘米范围，根系不能有效吸收。目前适合微灌的磷肥在市场上不易买到。磷酸呈强烈腐蚀性，使用存在安全问题。磷酸二氢钾价格昂贵，主要作叶面肥使用。磷酸一铵和二铵市场上主要是肥料级，灌溉专用的也难于买到。鉴于这些情况，通常在果园建议通过土壤施用磷肥，可以在果树定植或改良土壤时与有机肥一同施用。

据我们的田间调查，缺镁是华南果园非常普遍的缺素问题。通过微灌系统施用硫酸镁可以有效解决果园缺镁问题。硫酸镁价格低，溶解性好，腐蚀性小。微量元素肥料基本通过叶面喷施。

在山区果园施用有机肥是改良土壤和提供养分的常规措施。但施用有机肥耗工费时，劳动强度大。在有设施灌溉的果园通过灌溉系统施用有机肥一直是一个存在争论的问题，问题核心是有机肥对灌溉系统的堵塞。我们在滴灌系统中应用花生麸和鸡粪的沤腐液，通过石英砂池过滤，应用于黄皮果树上，效果良好。纯鸡粪沤腐后残渣很少，绝

大部分可通过滴灌使用。但花生麸残渣比例很高，不宜在滴灌中应用。连续一年的应用并不存在系统堵塞问题。关键是每次滴施完有机肥液后要滴 15~20 分钟清水。

（三） 施肥过程

果园微灌施肥操作上非常简单，只要将肥料（固体或液体）倒入施肥罐或其它施肥装置，按操作说明进行即可。果园微灌施肥对每种肥料单独进行，基本不存在肥料之间的直接反应。如施完尿素施氯化钾，施完硫酸镁施磷酸二铵等。施肥后保证足够时间冲洗管道，是防止系统堵塞的重要措施。冲洗时间与灌溉区的大小有关，滴灌一般为 15~30 分钟，微喷 5~10 分钟。华南一些微灌施肥示范点的失败大部分与施肥后不冲洗而致的堵塞有关。

六、 果园灌溉和施肥计划的制定

虽然文献中有无数的灌溉计划制定的研究数据，但能够直接应用的很少。绝大部分果农是根据经验指导灌溉。可通过观察树体的水分状况及挖开土壤察看，确定灌溉的开始时间。根据土壤的湿度变化，确定灌溉停止的时间。经过几次的观察和比较，一般果农都能凭经验做到“精确灌溉”。用张力计监测土壤水分状况也是一种简易而实用的办法。张力计使用的理论指导是土壤水分特征曲线。但针对具体土壤的水分特征曲线测定较复杂，不易获得。用户可以在田间根据经验摸索出读数和土壤水分的关系。我们多年的实践证明，张力计价格低廉、实用耐用，其精确度可满足生产水平的要求。其它监测土壤水分的方法如中子探测器和时域反射仪（TDR）法因设备过于昂贵在当前情况下无法推广。

合理施肥计划的内容是确定肥料的种类、用量和肥料在各个生长季节的分配。在实行精确施肥的果园，施肥量是根据土壤养分分析、叶片分析、树势、目标产量等因素决定的。对果园来讲，土壤化学分析和叶片分析结果是制定施肥计划的重要参考依据。其分配根据具体果树的生长特点而定。一些国家有专门的公司从事土壤分析和叶片分析并作出施肥建议。我国有关此方面的工作主要在一些大学和研究机构进行。对常规施肥条件下且获得高产的果园，在没有土壤和叶片分析的条件下，微灌施肥的用量可以按常规用量的 40~50% 确定（假定微灌施肥的利用率提高约 1 倍）。由于微灌施肥肥料利用率较高，对初次应用此技术的果园，要防止施肥过多而导致的过旺营养生长。为保险起见，可采取少量多次的原则。具有设施灌溉条件的果园，同样可以用传统方法施肥。如在大雨前撒施尿素、氯化钾、硫酸镁等。氮肥主要为尿素及其它铵态氮肥，长期施用会导致土壤酸化。我们的研究表明，滴灌施肥后土壤越往深层酸度越大。pH 可降低 1.5~2.0

单位。撒施石灰可以解决果园浅层土壤的酸度，但降低深层土壤的酸度在管理上仍然是一个问题。

七、微灌施肥的效益

微灌施肥是借助微灌设备进行的。主要的投资是灌溉设备。一套完善的滴灌系统每亩投资约 300~1000 元不等。其价格决定于国产设备还是进口设备、设备规格、设备寿命、果园规模（首部枢纽是必备的，大小果园都要一个，则分摊费用不同）、果树种类（密植和稀植）、系统的复杂程度（自动化、半自动化、人工操作）、灌水器的种类（如压力补偿式或非压力补偿式）、果园地形的复杂程度（山地或平地）、果园设计水平（如规划和未规划）、水源工程的复杂程度等。现在市场上有满足各种要求的灌溉设备。有些投资少适合山地果园，如微重力滴灌系统。在计划投资果园灌溉设施前，最好经专业的灌溉设备公司或研究机构进行规划设计。他们会根据果园的实际情况选择相应的设备。如前所述，微灌施肥技术可以节省劳力、节省肥料、提高产量和品质。由此而产生的效益是可观的。有些果园裂果和大小年现象造成很大损失，良好的灌溉设施可以尽量避免这种损失。灌溉设备可以应用多年。从长远的效益分析，这种投入的回报是显著的。我们在西丽果场连续四年分析滴灌施肥的成本和效益，综合考虑水、电、劳力、肥料、人工、增产等因素，使用滴灌施肥后投入产出比为 1：9.2。

八、华南果园灌溉施肥存在的问题

1. 认识问题 华南地区降雨量充沛，年降雨量在 1800~2000 毫米左右。这是很多人认为南方不需发展设施灌溉的根据。如上所述，微灌施肥不单是解决灌溉问题，同时还有多方面的优点。劳动力和化肥价格的不断升高，促使果农寻找省工低耗的生产技术。

2. 技术缺乏 即使果农意识到微灌施肥技术的重要性，到哪里去寻找技术援助仍是一大问题。目前在华南地区，灌溉施肥技术人才奇缺。一些研究单位或灌溉公司的农业工程技术人员可以设计单纯的灌溉系统，但对施肥部分不熟悉。培养灌溉施肥技术方面的人才是当务之急。目前只有极少的人员在做适合华南地区果园的灌溉施肥技术的研究和示范工作。

3. 推广体系不健全 由于没有完善的推广体系或协会组织来传播技术和信息，使得灌溉施肥技术在华南推广速度极慢。零星的示范点发挥的作用极有限。

4. 没有当地企业参与推广 企业的参与是推动灌溉施肥技术发展的重要力量。新疆棉花膜下滴灌施肥技术的快速推广，新疆天业集团功不可没。但华南地区目前还没有一家当地有实力的企业在从事这一工作。由于设施灌溉没有大面积应用，与之配套的灌溉

用肥料也无从谈起。

九、田间示范工作

自 2000 年以来，我们在多种作物上进行了灌溉施肥的研究和示范，推广面积近 3000 公顷，取得了显著的经济效益。许多农户和科技推广人员正是从示范点第一次接触灌溉施肥的概念，然后再在自己的土地上应用该技术。做好田间示范工作，是灌溉施肥技术推广的重要环节。下表列出了我们建立的示范点的基本情况。

表 3、灌溉施肥技术的示范作物

作物	灌溉方式	施肥方式	自动化	面积 (ha)	地点
荔枝	压力补偿式滴灌	施肥罐	自动化控制	52	深圳西丽果场
茶叶	滴灌	施肥罐	手动	7	广东增城
龙眼	重力滴灌	自压式施肥	手动	25	广东电白、深圳
黄皮	重力滴灌	自压式施肥	手动	20	广东郁南
杨桃	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	2	深圳西丽果场
香蕉	重力滴灌	施肥罐	手动	4	广东中山
台湾青枣	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	2	深圳西丽果场
番石榴	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	1.5	深圳西丽果场
柑桔育苗	大棚微喷	文丘里施肥器	自动化	0.8	广东四会
砂糖桔	重力滴灌	文丘里施肥器	手动	7.8	广东清新
番木瓜	微喷灌	施肥罐	手动	12	海南澄迈
芒果	微喷灌	施肥罐	手动	5	海南澄迈
胡椒	压力补偿滴灌	施肥罐	手动	15	海南澄迈

上述示范试验表明，微灌施肥技术可以显著节水、节肥、省工，促进作物的生长，提高产品品质。在华南地区有相对丰富的降雨，节水效益往往被忽视。但节肥省工效果非常明显。对荔枝自动化滴灌施肥连续 3 年的调查表明，节省肥料 70% 以上，节省人工 95% 以上。荔枝大果和商品果比例增加。荔枝大年时，滴灌施肥区可显著增产。荔枝小年时，滴灌施肥区能保持一定产量，并获得很高的价格，经济效益显著。对胡椒和黄皮的调查也表明，滴灌施肥区比对照区（传统灌溉和施肥）植株生长量大 1 倍以上，叶片数量多，叶大而肥厚，抽梢快。各种施肥方法有利有弊，但都能满足示范区作物施肥要

求。我们使用的肥料品种有尿素、氯化钾、磷酸二氢钾、硫酸镁、液体冲施肥、鸡粪沤腐液等。施肥原则是“少量多次”及基施（主要磷肥）、撒施（雨前进行）和灌溉施肥结合。