

中图分类号: S66 S607<sup>+</sup>1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2006)04-0069-03

果树节水灌溉研究进展

丁三姐 魏钦平 徐凯<sup>1</sup>

中国是世界上13个贫水国之一, 年平均淡水资源总量2.81万亿 m<sup>3</sup>, 居世界第6位; 人均水资源占有量2500 m<sup>3</sup>, 仅为世界人均占有量的1/4, 居世界第109位。预计到本世纪30年代, 我国人口达到16亿高峰时, 在降水总量不减少的情况下, 人均水资源量将下降到1760 m<sup>3</sup>, 逼近国际公认的1700 m<sup>3</sup>的严重缺水警戒线。水资源亏缺已成为制约我国农业和经济社会发展的重要因素。

果树业是我国目前农业种植结构调整中的重要组成成分, 年产值可达1000多亿元, 其效益在种植业中居第三位。据统计, 2003年我国果树栽培面积已达9436.7 hm<sup>2</sup>, 占世界果树面积的18.0%, 总产量7551.5万 t, 约占世界总产量的15.7%。栽培面积和产量均居世界首位。面对严峻的水资源危机和干旱化形势, 传统的果树灌溉栽培必须转向节水栽培, 缓解农业用水

供需矛盾, 实现水资源可持续利用和农业可持续发展。

果树是多年生、根系深而发达的植物, 与草本植物相比, 果树单位面积土壤的根密度低, 根系分布深, 可充分利用土壤深层水分, 故能维持适宜的水势及蒸腾能力, 为果树实施节水灌溉栽培提供了基础。

1 果树节水灌溉方法

节水灌溉是根据作物需水规律和供水条件, 为了充分地利用自然降水和灌溉水, 获取农业的最佳经济效益、社会效益和生态环境效益而采取的多种措施的总称<sup>[1]</sup>。其根本目的是通过水利、农业、管理等方面措施, 最大限度地减少从水源通过输水、配水、灌水直至作物耗水过程中的水资源浪费, 最大限度地提高水的利用率和利用效率, 以实现农作物丰产高效。农业节水技术是一项综合的技术体系, 通常归纳为工程节水技术、农艺节水技术、生物节水技术和节水管理技术四类。现就工程及农艺节水技术在果树上的应用加以综述。

1.1 工程节水技术

主要包括渠道防渗、管道输水、喷灌、微灌(滴灌、微喷灌、渗灌、小管出流等)、膜上灌等技术。果树具有多年生、生命周期长、树体高大和单株占地面积大的特点, 灌溉技术也应有别于大田作物。微灌尤其适用于果树灌溉, 它可使果树

行间保持地面干燥, 便于喷药、修剪或采果等果园管理工作的进行, 另外也不会破坏土壤结构。目前世界上10%以上的果树采用了微灌技术, 比其它灌溉作物多出10倍。

1.1.1 喷灌 我国从20世纪70年代开始发展喷灌技术, 至2001年底喷灌面积已发展到236万 hm<sup>2</sup>, 取得了显著的节水、增产效益。喷灌是一种先进的灌水方法, 是把经过水泵加压(或水库自压)的水通过管道送到田间, 由喷头(水枪)射到空中, 变成雨点洒落到地面进行灌溉。它可以按农作物品种、土壤、气候状况适时适量喷洒, 因每次喷洒水量少, 一般不产生地面径流和深层渗漏, 可避免因灌溉抬高地下水位而引起土壤盐碱化。国内外大量试验资料证明, 喷灌与地面灌溉相比较, 一般可节水20%~30%, 可使大田作物增产20%~30%, 蔬菜增产50%~100%, 从而提高了灌溉水的利用率。喷灌工程对地形的适应性强, 不要求平整土地, 可用于地形复杂、土壤透水性强、进行地面灌溉有困难的山丘和坡地。但喷灌也有一定的局限性, 如作业受风影响, 高温、大风天气不易喷洒均匀, 喷灌过程中的蒸发损失较大等。此外, 喷灌工程需要较多的投资、动力、各种专用材料和设备, 运行成本较高, 因而发展受到一定的限制。

1.1.2 滴灌 现代滴灌技术于20世纪50年代末产生于以色列。它是将具有一定压力的水, 逐滴滴入植物根部附近的土壤。滴灌仅局部湿润作物根部土壤, 滴水速度小于土壤渗吸速度, 不破坏土壤的结构, 灌溉后土壤不板结, 能保持疏松状态, 从而提高了土壤保水能力, 也减少了无效的株间蒸发。因此, 滴灌已成为一项最有效的节水灌溉技术, 在各种地形和土壤条件下都可使用<sup>[2]</sup>。但砂质土不太适合滴灌, 因为水往往向深层渗漏, 而不容易横向扩展。由于滴灌的出水口很小, 滴头易发生堵塞, 对水质要求较高, 须采取一定的净化处理措施。

1.1.3 微喷灌 微喷灌简称微喷, 它是通过低压管路系统与安装在末级管道上的特制灌水器, 将具有一定压力的水, 喷到距离地面不高的空中, 散布成微小的水滴, 均匀地喷洒到农作物上和农作物根区的地面上, 实现节水灌溉的一种新技术。微喷灌是介于喷灌和滴灌的一种局部灌溉技术, 灌溉水仅洒到植物根系活动最活跃部分的地面上, 减少无效灌溉和棵间水分的蒸发, 从而达到更为节水的目的。微喷灌系统还可调节小气候, 霜冻来临时, 若果园里的微喷灌系统连续工作, 则可在一定程度上起到防霜冻保护作用。但采用微喷灌技术, 水会受到大气条件的影响, 如果风速超过2 m/s就会使微喷灌的小水滴产生飘移。温度较高和空气干燥还会增加微喷灌时水的蒸发损失, 这些使得有效实施微喷灌的时间受到限制。与滴灌一样, 微喷灌也易发生堵塞。

1.1.4 渗灌 渗灌又叫地下灌溉, 是利用一种特别的渗水毛管埋入地表以下30~40 cm, 压力水通过渗水毛管管壁的毛细孔以渗流的形式自下而上湿润其周围土壤。其优点是不破坏土壤结构, 能防止根部病害互相传染、灌水质量好、蒸发损失小、占用耕地少且便于机械耕作、灌溉还可与其它田间作业同时进行。缺点是地下管道造价较高、易堵塞、检修难; 透水性强的土壤上渗漏损失较大; 表层土壤湿润较差, 对种子出苗不利; 渗灌促使土壤返盐, 不宜在盐碱地上采用。

1.1.5 小管出流 小管出流也叫涌泉灌, 它是中国农业大学水利与土木工程学院研究开发成功的一种微灌技术。通

第一作者简介: 丁三姐, 女, 1980年生, 2003年毕业于安徽农业大学园艺学院, 获学士学位, 2004年8月~2006年4月在北京市农林科学院林业果树研究所实习, 主要做苹果节水灌溉方面的试验, 期间参与果树生物节水及保肥、有机果品等几个项目的试验。2003年~2006年在安徽农业大学园艺学院攻读硕士学位。

收稿日期: 2006-01-14



过采用超大流道,以直径4 mm的塑料小管代替微灌滴头,并辅以田间渗水沟,解决了国产微灌系统中灌水器易被堵塞的难题,形成一套以小管出流灌溉为主体、符合实际要求的果树微灌系统。小管出流采用了稳流器,适应压力变化的范围宽,能保证5~25 m的水头变化,出流量稳定在允许范围内,可在高原、丘陵山地等地形较复杂的地区应用。小管出流微灌由稳流器来完成调压,稳流器的额定流量分每小时20、30、40、50、60、100和200 L,可根据不同条件选用。

1.1.6 其它节水灌溉技术 膜上灌是我国首创的一种新兴灌溉技术,它是在地膜覆盖的基础上将膜侧水流改为膜上水流,利用地膜进行输水,通过放苗孔和附加孔对果树进行灌溉。其特点是供水缓慢,大大减少了水分蒸发和淋失,提高水分利用效率,可结合进行追肥。可通过调整膜上孔的数量和大小来控制灌水量,以满足不同种类果树和果树不同时期的不同需水要求。膜上灌投资小,操作简便,便于控制水量,可节水40%~60%,有明显的增产效果。在干旱地区可将滴灌放在膜下,或利用毛管通过膜上小孔进行灌溉,称为膜下灌。

## 1.2 农艺节水措施

1.2.1 合理密植,深耕、深松相结合 在少雨缺水的立地条件下,合理密植可减少水分蒸发量,提高降雨或灌溉水的利用率。深耕、深松可以加深耕作层,增强土壤蓄水、保水能力,改善土壤物理性状和作物生长环境,更好的利用降水。

1.2.2 集流技术 在降雨集中且强度大,大雨时往往形成坡面径流,导致降雨水土流失,或降雨量小、蒸发量大,土壤水分以无效蒸发的形式散失,使果园常处于缺水状态的情况下,利用雨水集流技术,将果园修成“回”字形<sup>[3]</sup>的集水面,就地拦蓄径流,增加土壤水分有效供给,提高雨水的利用率,是有效缓解并解决果园干旱、促进果树生长的重要技术途径。集水的同时要进行树穴覆盖,以减少水分的无效蒸发,延长水在土壤中的集蓄时间。任杨俊等<sup>[3]</sup>对梨园和花椒园进行集流+覆盖的试验,测定结果:在6~9月份,花椒园集流面和梨园集流面可分别使土壤含水量提高1%~3%、1%~7.5%,花椒园和梨园中的地膜覆盖可分别使土壤含水量提高1%~3.6%,秸秆覆盖可分别提高3.4%~5.5%,绿色覆盖可分别提高2.1%~2.5%,花椒地径、高生长分别提高0.12~0.53 cm、17~46 cm,梨树新枝生长提高19~38 cm,花芽数量提高3.99~7.77个。通过集流面,把多个地块上的雨水径流叠加在一个地块上,既减少了径流对土壤的侵蚀,同时又可为果树生长提供更多的水分。该技术简单,成本低,实用性强,适宜在生产中大力推广应用。

1.2.3 果园覆盖 利用地膜、秸秆覆盖果园。地膜覆盖是利用厚度为0.002~0.02 mm的聚乙烯塑料薄膜覆盖在地表的一种增温保墒措施。薄膜凝集从土壤蒸发的水量回补土壤水分,形成耕层与地膜的水循环体系,减少土壤无效蒸发。对山地板栗产区实行地膜覆盖<sup>[4]</sup>,试验结果表明:经过覆膜处理的土壤含水量最高,保证了板栗生长中所需水分的供应,具有良好的增产效果。此外,覆膜还对提高土层贮水量具有显著效果,覆膜区比对照区的土层贮水量平均提高31.7%。秸秆覆盖是利用秸秆等作物性物质覆盖土壤表面的一种增温保墒措施。可避免因雨滴的直接冲击在土壤表面形成不易透水透气的土壤板结硬壳,减少径流,增加降雨直接入渗量。覆盖还割断了蒸发层与下层土壤的毛管联系,减少土壤空气与大气的乱流交换,有效抑制蒸发。在丘陵山地杏园进行连续5年秸秆覆盖试验<sup>[5]</sup>,结果较对照园增产202.5 kg/667 m<sup>2</sup>,树冠半径和树高分别大9 cm和30 cm。但

秸秆覆盖需考虑覆盖量和覆盖时间及覆盖可能引起的病虫害滋生。覆盖量应根据当地气候条件、土壤类型而定。如较湿季节或较湿土壤带,覆盖量过多造成土壤过冷或过湿,植株生长不利。干旱季节和地区,加大覆盖量,有利于覆盖保墒。

1.2.4 应用化学抗旱剂 目前应用较多的主要是保水剂。保水剂主要成分为高吸水性树脂,其主要功能是施入保水剂的土壤在降水或灌溉后,保水剂可吸收相当于自身重量数百倍或上千倍的水分,土壤在水分缺乏时所含水分慢慢释放,供作物吸收利用。遇降水或灌溉后再吸水膨胀,在土壤中形成一个具有水分调节能力的“分子水库”,对土壤中的水分含量起到一定的缓冲作用。保水剂的这种吸水保水功能可增加土壤田间持水量,减少地表地下径流,同时一定程度上减缓地面蒸发。抗旱剂,目前广泛应用的是黄腐酸制剂FA旱地龙。旱地龙用于叶面喷施,其主要作用是缩小叶片气孔开度,减缓植株蒸腾;改善植株体内水分状况,增加叶片叶绿素含量,有利于光合作用和干物质积累;增强根系活力,防止早衰。夏阳等对盆栽苹果叶面喷施抗蒸剂,结果表明抗旱剂1号能明显降低树体蒸腾,提高气孔阻力和叶片水势,有效作用期达15 d以上。

1.2.5 增施有机肥,水肥耦合保肥节水技术 旱地土壤一般营养缺乏,施肥后解除了植株生长受到的营养制约,群体郁闭度增大,棵间蒸发变少,群体水分利用效率增大。施肥促进根系扩展,植株吸收更多水分,无机营养对干物质的促进作用大于同时增加的耗水作用,水分利用效率提高。增施有机肥,可改善土壤物理性状,增加土壤中的团粒结构,增大孔隙度,增加降水入渗量及毛管水持水量,实现以肥调水,以水促根,以根抗旱的目的。实行配方施肥,提高水分养分耦合的利用效率。

## 2 果树节水灌溉理论体系

早在20世纪50、60年代我国就对果树节水灌溉技术进行研究。研究主要集中在减少输水渠道的渗漏损失上,如进行渠道衬砌、改进沟畦灌溉技术等工作,提高渠系水的利用率。70年代至80年代初期,国内外学者开始对果树需水规律进行研究,探讨各个生育期不同水分处理对生长发育和产量的影响,取得了显著成果。该阶段的研究主要是不同果树在非充分灌水条件下的生理生化反应。90年代以后,随着世界性水资源危机的日益突出,传统的高产丰水灌溉逐渐转向节水优产灌溉,重点研究非充分灌溉<sup>[7]</sup>。其中调亏灌溉和控制性分根交替灌溉对果树节水灌溉理论研究影响最大。

调亏灌溉是由澳大利亚持续灌溉农业研究所Tatura中心在20世纪70年代中期提出的。其主要理论依据是:植物的生理生化特性受遗传特性或生长激素的影响,在植物生长发育的某些时期人为地施加一定程度的水分胁迫,通过调节光合产物向不同组织器官的分配来提高产量而减少营养器官的生长量和有机合成物质的总量,以达到节水的目的。RDI可达控制作物枝叶长势、减小剪枝工作量、实现矮化密植和降低蒸腾耗水损失的目的,能为一个地区增加灌溉面积、提高总产量创造条件。

调亏灌溉的早期研究主要在果树上进行。RDI理论在20世纪70年代中期提出以后,国外学者对桃树、梨树、苹果等在调亏灌溉下作物的生理生化反应、需水规律和调亏时期、调亏程度等作了大量研究,发现调亏灌溉能明显抑制果树的营养生长,大幅度减少作物需水量和剪枝量,而对于果实的产量则影响甚小。该阶段的研究主要集中在不同果树

对调亏的生理和生化反应及其适宜调亏时期和调亏程度上。20 世纪 80 年代后重点研究 RDI 节水增产的机理。RDI 是通过土壤水的管理来控制植株根系的生长从而操纵地上部分的营养生长及其叶水势;叶水势可以调节气孔开度,而气孔开度则对光合作用和水分利用起着重要作用。在这一系列的生理过程中,根系起着决定性的作用。研究同时表明,同一植株不同的组织和器官对水分亏缺的敏感性不同,细胞膨大(依靠膨压维持)对水分亏缺最敏感,而光合作用和有机物由叶片向果实的运输过程敏感性次之<sup>[7]</sup>。因而在营养生长受抑制时,果实可以累积有机物以维持自身的膨大,使其在调亏期的生长不会产生明显的降低;在果实的快速膨大期,即调亏结束重新复水期,细胞的扩张因在调亏期受到抑制而产生累积的代谢产物,在复水后可用于细胞壁的合成及其它与果实生长有关的过程,使生长得以补偿,以致不会因适度胁迫而引起产量的下降;而如果胁迫程度过大或历时过长,细胞壁可能变得太坚固以致即使复水也不能恢复扩张,引起产量下降<sup>[9]</sup>。20 世纪 90 年代至今,RDI 研究重点由产量的提高转向对品质的改善方面<sup>[7,8]</sup>,并开始向调亏灌溉下肥料的利用效率、咸水灌溉等方面扩展<sup>[9]</sup>,研究的范围也越来越广。

我国对调亏灌溉的研究起步较晚,从 20 世纪 80 年代后期才有学者研究作物水分胁迫后复水出现的生长和光合作用的补偿效应,并开始在果树上进行研究。主要从幼龄和成龄果树、乔化稀植和矮化密植果树、Y 型或中心主干型框架果树以及果树根系的长势、土壤养分淋溶和盐分的淋洗等方面进行了调亏功效的研究<sup>[10]</sup>,而且还结合我国国情,把调亏灌溉这一理论与技术运用于大田常采用的畦灌、波涌灌,在节水增产方面取得了显著的效果。

调亏灌溉只考虑在时间上的调亏和水量的优化分配,没有从空间上考虑植物根系的功能对提高水分利用效率的作用。而在生产实践中,尤其在干旱、半干旱地区因土壤的空间变异性而降水在时间上的分配不均使作物的部分或整个根系在生长发育过程中经常处于阵发性的短暂或长期的水分亏缺情况,即作物的根系不可能总是处于均匀湿润或均匀干燥的状态。为此人们进行了大量的研究。康绍忠等提出了控制性分根交替灌溉<sup>[11]</sup>,它是对目前常规节水灌溉技术的新突破。

控制性分根交替灌溉是人为保持根系活动层的土壤在水平或垂直剖面的某个区域干燥,同时通过人工控制使根系在水平或垂直剖面的干燥区域交替出现,使干燥区的根系产生水分胁迫信号传递到叶气孔从而有效地调节气孔关闭,而处于湿润区的根系从土壤中吸收水分以满足作物的最小生命之需,使对作物的伤害保持在临界限度以内。同时由于土壤表层总是间歇性的处于干燥区,这样既可减少棵间全面湿润时的无效蒸发损失和总的灌溉用水量,又可降低土壤机械强度、改善土壤的通透性,促进根系的补偿生长,提高根系对水分、养分的利用率,提高矿质养分的有效性,以不牺牲作物的光合产物累积而达到节水的目的<sup>[11]</sup>。

控制性分根交替灌溉是通过改变灌水方式与植物根区土壤湿润方式<sup>[12]</sup>,有效刺激根区土壤水分养分有效性、调节根际微生态系统中水分和养分离子的传导性能,诱导根系吸收补偿效应,高效利用根区土壤水分和养分;同时利用植物根冠关系和水分逆境信号传递与气孔最优调节的机制,减少植物奢侈的蒸腾耗水损失,利用给局部根区交替供水减小棵间土壤无效蒸发损失和深层渗漏达到节水优质

高产的效果。在实践中控制性分根交替灌溉可行性方式有隔沟交替灌溉系统、田间移动式控制性分根交替滴灌系统、自动控制性交替滴灌系统以及控制性隔管渗灌系统等。目前果树中主要应用的是控制性交替滴灌模式。

综上所述,果树节水灌溉的发展,经历了从工程节水到生物技术节水、从高产丰水到优产节水的过程。灌溉技术也在不断地提高,重点研究在非充分灌溉条件下,如何提高作物水分利用效率。

3 果树节水灌溉的发展趋势

3.1 用现代节水灌溉技术取代传统的灌溉技术

传统的灌溉方法与技术进步十分缓慢,灌溉水量主要依靠简易设施和经验控制,对水的有效控制能力低。今后要大量使用喷灌、微灌、小管出流、膜上灌等节水灌溉新技术,同时加强对节水灌溉制度的试验与研究,确定果树需水的关键期、灌溉量和灌溉方式对提高灌溉水的有效利用率,用较少的灌水量取得最佳的效益。

3.2 节水灌溉技术向综合发展

目前节水灌溉技术的应用基本是单项性的,单项技术成熟之后必然向综合方向发展。如工程节水技术与农艺节水技术结合、调亏灌溉技术与其它高产栽培技术等结合,形成节水的综合体现和集成技术。

3.3 改进节水灌溉设备

目前我国节水灌溉产品的水力性能及耐用寿命同国外先进技术相比存在较大差距,其主要原因是在材质和加工设备及工艺上。因此,要将新材料、新工艺及高新技术应用到节水灌溉领域,从根本上提高节水灌溉产品质量,改变产品性能。研究开发“适用、成套、可靠、高效”的节水灌溉设备。

参考文献:

[1] 冯广志. 我国节水灌溉发展的总体思路[A]. 科学技术部农村与社会发展司,水利部国际合作与科技司. 中国节水农业问题论文集[C]. 北京:中国水利水电出版社,1999,17-18.  
[2] 张昊. 几种地下滴灌实验研究[J]. 灌溉排水,1999,(4): 11  
[3] 任杨俊,李建牢. 黄土丘陵沟壑区山地果园集流高效利用技术研究[J]. 中国水土保持,2002,(8): 34-36.  
[4] 马庆斌,巴荣. 板栗节水丰产综合配套技术研究[J]. 节水灌溉,2004,(1): 38-40.  
[5] 刘建军,柳小红. 丘陵山地杏园覆草的效益[J]. 落叶果树,2004,(1): 45-50.  
[6] 夏阳. 叶面喷施抗蒸剂对苹果树水分状态的影响[J]. 果树科学,1993,(13): 15-20.  
[7] Ebel R, CandProbsting E, LandEvaans R G. Regulated Deficit Irrigation may alter apple maturity and quality and storage life. Hort Science, 1993, 28(2): 141-143.  
[8] 曾德超,彼得杰里. 果树调亏灌溉密植节水增产技术的研究与开发[M]. 北京:北京农业大学出版社,1994.  
[9] Boland A - M, et al. The effect of saline and non-saline water table on peach tree water use, growth, productivity and ion uptake. Australian Journal of Agricultural Research, 1996, 47(1): 121-139.  
[10] 史文娟,胡笑涛,康绍忠. 干旱缺水条件下作物调亏灌溉技术研究状况与展望[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(2): 84-88.  
[11] 康绍忠,张建华. 控制性分根交替灌溉-一种新的农田节水利调控思路[J]. 干旱地区农业研究,1997,15(1): 1-5.  
[12] 杜太生,康绍忠,胡笑涛,等. 果树根系分区交替灌溉研究进展[J]. 农业工程学报,2005,21(2): 172-178.

(1. 安徽农业大学园艺学院,合肥 230036; 2. 北京市农林科学院林业果树研究所,100093)