

调控亏水度灌溉对成龄桃树 生长和产量的影响

雷廷武^① 曾德超^① 王小伟^② 彼得·杰里(P.Jerie)^③
李蔼铿^① 彼得·米切尔^③(P. Mitchell)
曾佩三^② 许一飞^① 阎·古德温^③ 许炳华^①

提 要 自1988到1990年,在北京市林业果树研究所桃园17年生的桃树上进行了调控亏水度灌溉法(RDI-Regulated Deficit Irrigation)的试验研究。试验设有3个灌溉水平,即在果实细胞分裂完成后至快速膨大前的一段时间内果实的缓慢生长阶段(RDI期间),分别按80%(对照),40%,20%美国A级皿蒸发量补给。测得的各处理桃树的叶水势情况为:在RDI期间供水量少(处在水应力状态)的桃树,其叶水势较对照低(负的量值大);当RDI结束后各处理同样充分灌水,结果表明,此间曾经受过水应力作用的桃树的叶水势较对照(80%)高(负的量值小)。这种水应力作用的结果表现在对桃树生长量的影响上为:RDI期间,枝条的生长量明显为水势的降低所抑制;而在后期桃果实快速膨大时,经受过RDI的桃树上的果实因水势较高而膨大更快,收获时单果重更大,成熟果实略多,从而提高了产量。另外经受过RDI的果树用水量明显减少,从而大幅度提高了水的利用效率。

关键词 调控亏水度灌溉 叶水势 桃树生长 桃果实生长

一 前 言

我国是一个水资源缺乏的国家,人均年占有可利用水资源量仅 1000m^3 ^[1]。我国主要水果桃、梨、苹果产区位于华北地区,该地区属半干旱地区,平均降雨不足600mm,而年蒸发量却在1800mm以上,而且降雨在时间的分布上很不均匀,多集中在7~9月。所以,要使水果高产稳产,发展节水的灌溉非常重要。

传统的观点一直认为,应在果树(作物)生长的各个阶段给予充足的水分,使果树在什么时候都不感受到水分不足的影响。即保证果树(作物)在任何情况下具有尽可能低的水势和最大的蒸腾量,这样才能得到最高的产量。从而,常常采用超出果树(作物)需要的水量进行灌溉。这样做浪费了宝贵的水资源,在井灌区因地下水超采而地下水位连年下降,在引黄灌区和地下水含盐地区地表土壤盐碱化日益加速。同时,果树也因过量的灌溉而造成枝叶徒长,过分消耗养料,影响果实的长大,从而影响产量和品质,也增加了果树冬夏季修剪的用工。灌溉的不科学对华北地区水果平均产量仅 $15\text{t}/\text{ha}$ 的极低水平是有一定责任的。

不同作物在其不同的生长阶段对水的响应是不同的。其机制是,不同的特定组织与器官

①北京农业工程大学 ②北京市林业果树研究所 ③澳大利亚维多利亚州持续农业研究所

对植物体内水势降低的反应不同。在不同的水势下，各种生理生化过程在竞争中取得平衡。这样就提出了用不同生长阶段使作物经受一定的水应力（胁迫）作用，即经受水分不足的处理，达到限制无效生长，增加收获物产量的新的学术问题。由此产生的水的补给方法就称之为调控亏水度灌溉法

(RDI)。这种思想在许多果树上进行了试验，并有了很多成功的例子，如在澳大利亚

维多利亚州灌溉与盐碱研究所，科学工作者们用调控亏水度灌溉法减少了果树的营养（枝条）生长，促进了生殖生长，从而提高了水果的产量^[2, 3, 4, 5]。就许多核果（如桃）、梨等而言，其枝条和果实的生长曲线如图 1 所示。调控亏水度灌溉方法就是根据由不同的果实干重（或鲜重）生长量划分的生长阶段及其与枝条（营养）生长间竞争的机制调节控制水的供给^[6]，桃果实根据干重（或鲜重）的增长速率，其生长曲线可分为三个阶段。在第 I 阶段和第 III 阶段桃的干重生长速度很快，而在第 II 阶段（中晚熟品种大约延续 40 天，从 5 月 20 日前后开始至 7 月初结束）生长较慢。第 I 阶段生长较快主要是由于细胞分裂的结果，而第 III 阶段生长很快是由于细胞膨大所致。在第 III 阶段的生长量占收获时果实重量的 75% 以上，而第 I、II 阶段的生长量占总生长量的比重较少，从而在果实生长的第 I、II 阶段，限制水的供给，使树体内产生一定程度的水分亏缺度，这样可明显地控制枝条（营养）生长，而在第 III 阶段充分供给水分，有利于果实以比没有限制水分供给者更快的速度增长，达到增加产量的同时，节约用水量的目的。

本文讨论在北京气候及典型土壤条件下进行上述 RDI 试验的情况和 RDI 对桃树生长的影响，及其增加桃果实产量和节约用水的效果。

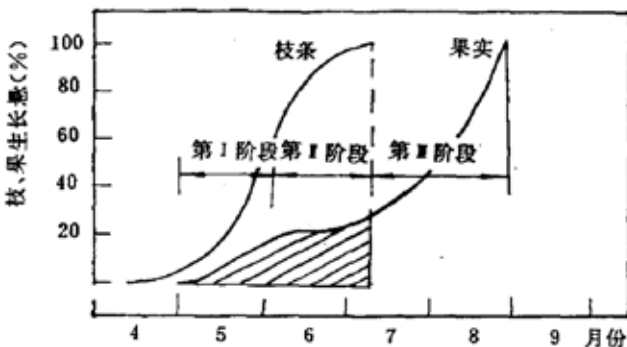


图 1 不同生长阶段果实枝条生长量曲线

二 试验材料和方法

1. 试验地

试验地在北京市林业果树研究所试验场果园内。其桃树是 1976 年种植的中晚熟品种，种植规格为北京老果园传统（稀植）形式：5.5×5.5m，即每棵占地面积为 30m²。选用 4 行（每行一个品种）作为试验材料。田间土壤经颗粒分析按国际分类标准为粘壤土。

2. 灌溉系统

对于所有的试验树及其保护行均采用微喷或滴灌。每行（品种）均设 3 个灌溉处理，每处理 6~7 棵树，中间 3 棵为试验观测树，其余为保护树，这 3 个处理分别设计成在第 II 阶段（RDI）期间，按美国 A 级蒸发皿自由水面蒸发量的 80%（对照）、40%、20% 和果树所占种植面积进行水量的计算和补给。在第 III 阶段之前，这些处理的目的是要产生不同灌水水平，由调节水量来控制枝条（营养）生长而不影响收获时果实大小或产量。在 RDI 期间，按比例减少 40%、20% 处理的供水量，而在果实生长的第 III 阶段所有处理均按皿蒸发量的 80% 灌水。各品种喷灌的三个灌溉水平分别由不同的毛管控制，各品种 20%、40%、

80%水平的毛管分别均接在20%、40%、80%电磁阀控制的支管上。从而各处理可通过采用不同的运行时间来达到不同的灌水水平。而滴灌则是在一行内使用两条毛管，其中一条是在不同处理上安装不同流量和数量的滴头，以实现RDI期间内在同样长的灌溉时间内给出不同的灌水水平；而在RDI开始前和结束后同时使用两条毛管，实现各处理供水量相同(80%)。实现灌溉水平的管道系统如图2所示。

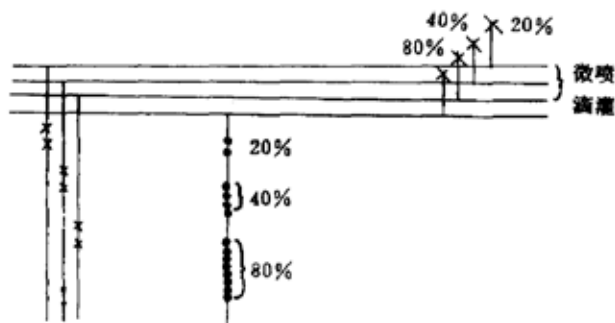


图2 灌溉管道系统

3. 测量

在四个品种的每个灌溉处理的3棵树上共选择果实及枝条各10个(根)，由5月份起每周测量一次果的大小(直径)和枝条长度，直到收获为止。树干横断面积于RDI过程结束(第Ⅲ阶段开始前)和收获后，由树干周长的测量值计算得出。对试验树的修剪量(冬剪、夏剪)进行称重记录。尽管修剪是靠人眼观测进行的，但所需的修剪量与枝条的生长量成正比，通常整个生长季的累积修剪量不致因判断失误而产生过大的误差。每个处理中，土壤含水量的变化由埋在距树干约1.5m处，深度分别为15, 30, 60, 90cm深处的四个石膏块进行非扰动测量。

桃树叶水势用Schollander水势仪进行测量。测量选在特定日期的清晨进行。所谓特定日期是指土壤水势的变化可能会引起各处理内和各处理间果树叶水势的显著变化或差异的时间。选择早晨进行测量的理由是：①清晨叶水势的绝对量值较低，因而各处理间的叶水势如有差异将更易于准确显著地表示出来，因而更有利于不同灌溉水平间果树水势的比较，②因早晨叶水势的绝对量值较低因而测量过程较短，测量较快，有利于提高准确度，同时也节约氮气消耗量。测定叶水势时，选择树上受环境因素影响一致的叶片，这种在环境方面最可能一致条件下的叶片是处于未受光照的叶片，常选取枝条中部的单叶片。测量时，每处理叶片样本数为3，按每处理1次1片轮换进行。

三 试验结果

1. 灌溉处理间叶水势(ψ)的变化

不同处理叶水势测量结果如表1所示、图示于图3。在RDI期间，减少灌溉用水量的40%、20%处理，其叶水势明显低于对照组，又因为40%、20%处理是否进行灌溉依两处理桃树的叶水势是否出现差异而定，而灌溉的量以皿蒸量的百分数进行计算。两者间由于不应时的降雨影响在RDI期间未出现叶水势上的差异均未进行灌溉。从而两者实际上为同一

表1 灌溉处理对桃树叶水势的影响 (-0.1 MPa)

处理 \ 日期	29/5	16/6	18/6	22/6	25/6	2/7	28/7	4/8
80%	3.60	8.1	3.38	9.60	3.53	4.26	7.87	9.86
40%	3.87	9.6	4.35	14.6	4.93	6.33	7.20	7.23
20%	3.83	10.6	4.55	13.0	5.13	4.87	6.93	7.2

处理, 从而测到的叶水势处于同一显著水平。在 RDI 期间, 20%或 40%处理桃树的叶水势较 80%处理桃树的叶水势低 (负得较多), 低 30~40%。

在果实生长的第Ⅲ阶段, 各处理均进行充分灌溉 (按皿蒸发的 80%补给), 前期用 40%和 20%灌溉的叶水势在其后的生长阶段显著高于 (负得较少) 80%灌溉 (对照) 树的叶水势, 高出约 0.10~0.25MPa, 依测定时间不同而异。

2. 枝条的生长:

20%和 40%处理的累积夏季修剪量为 5646.8 g, 80%处理的累积修剪量为 7433.3。

80%处理的夏剪量比 20%和 40%处理多 32%, 这一结果表明, 多灌水会增加桃树的营养 (枝条) 生长量。即灌水量控制在一定限度内可以显著减少枝条的生长量。40%, 20%处理间无显著差异, 而 20%和 40%与 80%处理间则有 5%信度下的显著差异。

3. 果实的生长

果实生长的测量表明, 在第Ⅲ阶段前, 补给蒸发量 80%处理树上的果实生长略快于 20%及 40%处理树上的果实; 而在第Ⅲ阶段则相反, 20%或 40%处理树上果实生长较 80%处理树上的果实快得多。这种灌溉的影响也反映在随机取样的果的大小上, 收获时证实了 20%或 40%处理树的果实长得比 80%处理树上的果实大 (如表 2 第 4 列)。将单株产量, 果数和单果重 (大小) 等列入表 2。

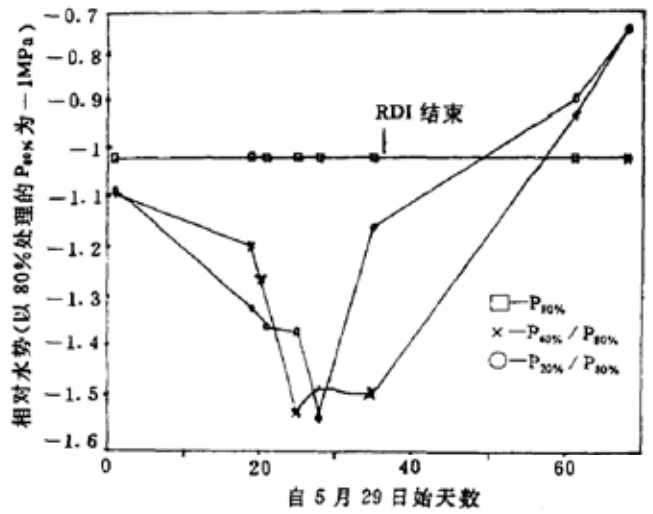


图 3 不同处理各生育阶段叶水势的变化

表 2 收获情况分析表

处 理	产量 (kg/棵) (t/ha)	果数/棵	平均单果重 (g)	负载量 (kg/cm ² 树干)
20%	126.2a (41.72)	709a	178.2a	0.3a
40%	129.0a (43.34)	722a	178.6a	0.33a
80%	104.6b (34.58)	685a	153.3b	0.26b

由表 2 可见, 尽管所有处理单株树的坐果量间无显著差异, 即为同一水平 (a) (约 700 果/株), 但 20%或 40%处理在同样疏果留果情况下, 趋于较 80%处理有更多果成熟。且 20%或 40%处理树上果实的平均单果重 (178.2g 或 178.6g, 两者处于同一水平) 却显著大于 80%处理树上的果实 (153.3g)。并由表中可见, 20%或 40%处理的单棵树 (单位面积) 产量在 5%信度下显著高于 80%处理的产量, 高出量分别为 21%和 23%; 单位树干横截面积的负载量, 20%或 40%处理的也显著高于 80%处理的, 高出量分别为 15%和 27%。

4. 灌溉用水

从 1989 年 10 月 1 日起, 试验地的灌溉降雨 (自由水面) 蒸发过程如图 4 所示, 各处理

的总灌溉用水量如表3。

水的利用效率及不同处理之间,不同处理与漫灌之间的比较结果列于表4。

由表3和表4可见,20%和40%处理较80%处理的灌溉用水量少得多,减少量达70%~80%。而微喷/滴灌的三个处理较传统漫灌节水达87%以上。不同处理之间,20%和40%处理每生产1公斤桃所用的总水量(等于一年耗水量的毫米数,乘以一棵树所占面积的平方米数,除以单棵树的产量公斤数),较80%处理少30%以上。三个微喷滴灌处理较传统漫灌节水达60%以上。

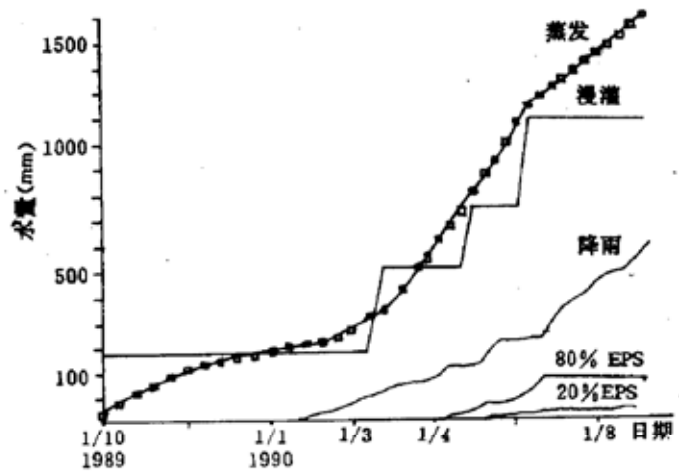


图4 灌溉、降雨、蒸发量

表3 全年灌溉水量 mm (1989.10.1~1990.9)

处 理	20%	40%	80%	漫 灌*
灌水量 (mm)	26.4	37.1	150.7	1173.0
占漫灌的百分比	2.2%	2.7%	12.9%	100%
占80%的百分比	17.5%	24.6%	100%	—

* 传统灌溉记录。

表4 用水效率

处理种类	产量 (kg/株)	用水量 (mm)			水的利用效率			节水(m ³ /ha)	
		有效降雨*	灌水量	总用水量 (m ³ /ha)	水量(kg/水果产量 kg)	与80%处理比较	与漫灌处理比较	与80%处理比较	与漫灌比较
20%	126.2a (41.72)	470a	26.4	496.4 (4964.0)	114.2	64%	24.0%	1443.0	116660
40%	129.0a (43.34)	470a	37.1	507.1 (5071.0)	117.0	65%	24.6%	1136.0	11359.0
80%	104.6b (34.58)	470a	150.7	620.7 (6207.0)	179.5	100%	37.8%	0.0	10223.0
漫灌	104.6b (34.58)	470a	1173	1643.0 (16430.0)	475.1	264.7%	100%	-10223.0	0.0

* 平均有效降雨系数取为0.7。

四 结果讨论

该项试验研究根据桃(核果)树生长的生理特点,采用不同灌水水平处理进行果实生长第II阶段的调控亏水度灌溉,以观察不同水平的灌溉对枝条和果实生长的影响,三年的初步结果似乎表明了:

1. 枝条的生长量在RDI(减少灌溉量)期间有了一定程度的抑制,相反果实的生长却未

受到水分亏缺的不利影响。枝条生长量一定程度的限制的可能好处是：限制过快的营养生长对土壤中养分和树体存储养分、能量的不恰当过分消耗，同时减少管理（如修剪）用工；降低果园幽蔽程度，提高冠层的透光性能，对营养生长的明显抑制机能将有助于不采用矮化砧建立高密度果园。

2.如果桃果实其生长的第Ⅱ阶段，受到水分亏缺的一定程度的抑制生长量略有减少的话，也一定比枝条受到的抑制轻微得多（因为此间其生长量与枝条生长量相比非常小）。而在后期，即第Ⅲ生长阶段恢复充分灌水以后，RDI处理能刺激果实的生长，这种响应导致RDI处理产量显著高于对照的产量。这与叶水势的高低的变化十分一致。尽管第Ⅱ阶段水分亏缺（RDI）轻微减慢了此间果实的生长速度，但却使得RDI果树在果实快速生长阶段恢复充分灌水后，体内水分状况得到了改善。不同处理果树上果实的液胞水势，在不考虑果实处于果树不同部位而在位置水头上存在的相对微小（在0.01MPa量级）差别的情况下应与果树的叶水势成正比。从而，具有较高叶水势的RDI果实能较对照果实以更快的速度膨大的结果似可说明，RDI果树叶水势较高，则RDI果实具有较对照果实更高的液胞水势，从而更有利于果实的膨大。这即是说第Ⅱ阶段的水应力作用，优化了果树体内的生理生化过程，从而更有利于后期果实的膨大。

又因为树干横截面积正比于树的地上部分的大小^[7]，所以单位横断面积上的负载量即为单位树体大小的负载量的一个度量，是树产出率的一个指标，所以根据该项试验，从树的单位横截面积或单位树体大小的负载量的角度来看（表2），该果园采用RDI的增产潜力幅度在27%以上。

并且由于RDI的作用，增产的原因主要是由于单果重增大所致，而果实的增大意味着桃品质一个方面的提高。

由此可见，用RDI技术改造现有（桃）果园，可以大幅度提高果树单位面积的产量及果品质量。

3.从水的利用效率来看，在北京地区采用微喷/滴灌可比传统漫灌节约灌溉用水80~90%，RDI处理较对照处理可节约灌溉用水70%以上，较传统漫灌节约灌溉用水95%以上。

单位水果产量的总用水量，采用微喷/滴灌时，不到传统漫灌的1/3；而当微喷滴灌结合RDI时，可比同样微喷/滴灌的80%处理（对照）节水35%以上。较传统漫灌节水75%以上。

参 考 文 献

[1] Chalmers, D. J., P. D. Mitchell, and P. H. Jeric, 1984. The Physiology of Growth Control of Peach and Pear Trees Using Regulated Irrigation. *Acta. Hort.* 146: 143~149.

[2] Chalmers, D. J., P. D. Mitchell and L. van Heek, 1981. Control of Peach Tree Growth and Productivity by Regulated Water Supply, Tree Density and Summer Pruning. *J. Amer. Soc. Hort.* 106: 307~312.

[3] P. D. Mitchell, D. J. Chalmers, 1982. The Effect of Reduced Water Supply on Peach Tree Growth and Yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sc.* 107: 853~856

[4] P. D. Mitchell, P. H. Jerie and D. J. Chalmers, 1984. Effects of Regulated Water Deficit on Pear Tree Growth, Flowering, Fruit Growth and Yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 604~606.

[5] Chalmers, D. J., R. L. Conterford, P. H. Jerie, T. R. Jones and T. D. Ugalde, 1975. Photosynthesis in Relation to Growth and Distribution of Fruit in Peach Trees. *Australia J. Plant Physiol.* 2: 635~645.

[6] Westwood, M. W. and A. N. Roberts, 1970. The Relation between Cross Sectional Area and Weight of Apple Trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95: 28~30.

Experimental Investigation on the Influence of RDI on Peach Tree and Fruit Growth

Lei Tingwu* Zeng Dechao* Wang Xiaowei** Peter Jerie*** Li Aikeng*
Peter Mitchell*** Zeng Peisan** Xu Yifei* Ian Goodwin*** Xu Binghua*

* — *Beijing Agricultural Engineering University, Beijing 100083, PRC*

** — *Beijing Horticultural Research Institute, Beijing 100093, PRC*

*** — *Institute for Sustainable Agriculture, Tatura Vio. 3616, Australia*

Abstract

Filed experimental investigations on the influence of RDI (Regulated Deficit Irrigation) were conducted in a 17 year-old peach orchard at Beijing Institute for Horticultural Research from 1988 to 1990. Irrigation treatments were so designed that 80%, 40% and 20% of evaporation from U.S. Class A Pan could be replenished during the period of RDI. Measured leaf water potentials of different treatments showed that stressed trees had more negative leaf water potentials during the period of RDI and less negative potentials after ending RDI, i.e. restarting full irrigation than the control, which were fully Irrigated at all times. Shoot growth of 40% and 20% treatment trees was significantly depressed as compared with that of 80% treatment (control) trees. Growth of fruits on 40% and 20% treatment trees was slightly slower during RDI period and significant faster after restarting full irrigation than that on 80% treatment. As results, yields of fruit on both 40% and 20% treatments trees were of 20% higher than those on 80% treatment trees with 95% significancy together with a substantial saving in irrigation water.

Key words Regulated deficit irrigation Leaf water potential(s) Peach tree growth Peach fruit growth