

DOI:10.11937/bfyy.201511045

调亏灌溉技术在果树应用上的研究进展

杨 盛^{1,2}, 宋宇琴¹, 李 洁¹, 陈 冲^{1,2}, 李六林¹

(1. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西省农业科学院 果树研究所, 山西 太谷 030800)

摘 要:随着我国产业结构的调整,水果产业在我国农业发展中的地位愈显重要,但其耗水量较大,且果品的优质产区大多分布在干旱少雨的丘陵或沟壑纵横的山区,为此在果树上实行节水灌溉势在必行。现在综述国内外节水灌溉技术概况的基础上,重点阐述了调亏灌溉理论基础、增产机理及其应用情况,探讨了调亏灌溉研究中存在的问题和进一步需要研究的方向。

关键词:果树;调亏灌溉;水分利用率;果实品质

中图分类号:S 66 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)11-0176-04

我国是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。随着经济的发展,工业用水、居民用水与农田灌溉用水之间的矛盾越来越大,而农业耗水占到总用水的 70%,因此农业上节水的空间最大。通过节水灌溉理论与技术创新,建立节水型农业发展格局已成为发展趋势,是未来农业健康发展的根本途径^[1-3]。

随着我国产业结构的调整,水果产业在我国农业发

展中的地位愈显重要。2012 年,全国水果种植面积 1 320 亿 m²,产量预计将达到 1.51 亿 t,同比增长 6.6%。在我国的山西、河北等地,水果产业已经成为支柱产业。《2014—2018 年中国水果行业市场行行动态及未来发展趋势预测报告》指出,随着经济的发展,水果消费能力和居民对健康消费意识的不断提升,我国居民水果消费量从 20 世纪 80 年代的人均不到 6 kg 发展到现在的人均 46 kg。仍远低于世界平均水平 61 kg。而发达国家的人均消费水平达 83 kg,发展中国家平均水平也达到 55 kg,在美国人均消费已达到 125 kg,这说明我国水果消费潜力巨大。但是,我国果业生产的发展受到农业用水和灌溉技术的制约。如何提高灌溉水有效利用率是我国果业发展中亟待解决的问题^[4-6]。

第一作者简介:杨盛(1983-),男,博士研究生,助理研究员,现主要从事梨树栽培与生理等研究工作。E-mail:ys20080808@163.com.

责任作者:李六林(1970-),男,博士,教授,现主要从事梨树栽培与生理等研究工作。E-mail:tgliulin@163.com.

基金项目:山西省科技攻关资助项目(20130311021-2);山西省基础研究项目青年科技研究基金资助项目(2014021030-1)。

收稿日期:2015-01-26

Effect of Organic Materials on Growth and Leave Enzymes Activity of Grapevine in Replant Soil

ZHANG Li-heng¹, LI Kun², HU Xi-xi³, MA Hai-feng¹, ZHAO Na¹

(1. Dalian Academy of Agriculture Sciences, Dalian, Liaoning 116036; 2. College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161; 3. Branches of Daqing, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing, Heilongjiang 163316)

Abstract: Taking grapevine of *V. riparia* × *V. labrusca* 'Beta' as test material, the effect of different proportions of straw and corn stalk on growth and leave enzymes activity of grapevine was studied using pot experiment. The results showed after applying straw and corn stalk (except for 99.5% replanting soil + 0.5% straw), the plant height, stem diameter, fresh weight of shoot and fresh weight of root in grapevine were increased. Superoxide dismutase (SOD) activity of leave was increased, and malonaldehyde (MDA) content was decreased, the activity of root was first increased and then diseased. Corn stalk treatments were better than straw treatment, among them, the treatment of 98.0% replant soil + 2% corn stalk was the best treatment.

Keywords: grapevine; replant; straw; corn stalk; superoxide dismutase (SOD); malonaldehyde (MDA)

1 国内外节水灌溉技术研究进展

1.1 国内节水灌溉技术发展现状

我国水利部门于 1950 年开始节水农业技术方面的研究,20 世纪 70 年代初开始推广节水技术,逐步实施计划用水,20 世纪 80 年代到 90 年代初开始在全国推广低压管道输水灌溉技术,20 世纪 90 年代进一步将节水灌溉、农艺节水和灌溉管理等技术相融合,逐步集成节水灌溉技术模式。进入 21 世纪以来我国灌溉事业虽然取得长足的进步,但总体来看,与国外先进灌溉技术相比,我国节水灌溉技术还很落后,并且存在一些问题。一是灌溉水利用率较低,灌溉水利用率只有 46%;二是节水灌溉技术发展相对缓慢,在很多地区大水漫灌现象依然严重;三是各地区节水灌溉技术发展不均衡,有的节水灌溉技术推广工作不到位。

1.2 国外先进国家节水灌溉技术发展现状

国外节水农业发达国家都将水资源管理提升到了国家管理层面,一是将水资源列为国家资源,国家统一调配。二是加强立法,从法律上约束用水行为,将节水贯彻到工农业生产的各个方面。

美国农业以现代化灌溉技术研究为支撑,节水农业技术产业化快速发展,节水灌溉技术得到了大面积的推广。目前美国的农田灌溉中沟灌占总灌溉面积的 55.6%,喷灌面积占总灌溉面积的 27%,地下灌溉技术也得到了很好的推广。

以色列是世界上农业节水技术最发达的国家之一,早在 1953—1976 年以色列就耗巨资建成了全国性的输水循环系统,解决了水资源分布严重不均的问题。以色列是最早提出将水分直接输送到作物根部而不是将水分灌溉到田间的节水理念,以此理论为基础,以色列大力研发微灌技术,并在国内大面积推广。该微灌技术能将水分精准、均匀的输送到作物根部,最大限度的提高了水分利用率。同时,由于微灌需要的水压低于喷灌,实现节水的同时也大大降低了对能源的消耗。

近年来,结合果树生理特点对其实施科学、高效的节水灌溉技术,以达到高产、低耗水量的目的为代表的果树调亏灌溉技术成为研究热点。

2 果树调亏灌溉技术的研究

国内外研究表明,节水灌溉可以根据果树生长规律把握作物需水规律,适时、适量、适度地调节灌溉量,这样不仅可以实现单位水的最大生产能力,而且还提高了果品的产量和品质,具有重要的生产应用价值和社会意义。

2.1 调亏灌溉技术的提出

调亏灌溉(Regulated Deficit Irrigation,简称 RDI)是 20 世纪 70 年代中期由澳大利亚维多利亚州持续农业灌

溉研究所首次提出的,指在不影响梨树生长的基础上,依赖植物本身的调节及补充效应,在其生长发育的某些阶段主动施加一定水分亏缺,从而影响其光合产物向不同组织器官的分配,提高经济产量而舍弃营养器官的生长量及有机合成物总量、提高总产量、减少剪枝量、改善果实品质的一种节水灌溉技术,对我国广大缺水地区梨产业发展具有重要意义^[6]。

2.2 调亏灌溉技术的相关研究理论

2.2.1 生长冗余理论 生长冗余理论(Growth Redundancy Theory)指生物有机体在生长发育过程中形成的除自身正常生命活动所需之外的多余和额外的部分,对生物体本身并非必不可少,是可丢弃的,这些部分被称为生长冗余^[7-8]。植物在生长发育过程中,随着辅助能量(如水、肥)的增加,会出现株高、叶面积、分蘖或分枝、繁殖器官、甚至细胞组分和基因结构等大量的冗余。生态学中的最优生活史对策原理指出,植物体内有限的同化能量向某一功能分配的增加,必将导致对其它功能分配的相应减少^[9]。合理的灌水量能调控植物体根系的生长发育,能协调平衡根冠间比例,达到树体各部分的最优生长量,达到增产和提高水分利用率的目的^[6]。植物生长过程中,大量发生的生长冗余会过度消耗能量和营养物质而造成减产。在一定的栽培管理条件下,存在着一个与最高产量相对应的生长冗余度,在生产中通过各种栽培管理措施使植物生长冗余度达到最佳值就能获得高产。

2.2.2 水分亏缺生长补偿效应 水分亏缺补偿效应是树体受到阈值内的水分胁迫后,在有恢复因子(复水)和过程(时间)的条件下表现出有利于作物生长、产量提高和品质改善的能力^[28]。研究表明,水分亏缺具有一定补偿效应,使用得当,可提高树体的产量及品质。具体表现为水分亏缺时植物会表现出积极性的响应;复水后植物表现出生长加快,光合速率、生物量累积提高的响应;提高植物对再次水分胁迫的适应性;前期胁迫延缓后期衰老的后效性反应。研究认为缺水会导致膨压降低限制延伸生长,但光合速率降低较小,当膨压恢复时积累的代谢产物可用于细胞壁合成和其它代谢过程,从而表现为生长补偿^[10]。

2.2.3 气孔调节理论 气孔的开张是由 2 个保卫细胞控制,保卫细胞对水分、光照、湿度、温度和 CO₂ 等环境因子和内源激素等信号反应敏感^[11]。研究表明,气孔开张状态受环境因子、昼夜节律、叶片水分状态和木质部源信号等影响。植物早期亏水时,气孔会在 ABA 调节下关闭,限制叶片生长,来减少水分散失。气孔导度从最大值的适当降低,对光合作用影响较小,但可显著降低蒸腾作用,可达到不影响光合产物积累的情况下实现大量节水^[12-13]。

2.2.4 植物有限水量最优分配理论 如何解决有限水

量在生育期内的最佳分配问题,将有限的灌溉水分配到植物需水关键期,以获得最大的产量和效益,调亏灌溉理论研究的关键问题。调亏灌溉是在达到节水、高产、优质、高效的要求下,舍弃部分产量,最终达到提高整体经济效益的目的。调亏灌溉下寻求植物最优灌溉制度主要包含以下3方面的内容:一是单位面积产量最大;二是单位面积净收益最大;三是整个灌区净效益最大^[14-15]。

2.3 调亏灌溉果树节水增产机理研究

调亏灌溉是通过人为调控土壤含水量,在水分胁迫条件下,植物各器官对水分竞争能力的差异、根系生长发育及生理功能的变化,继而产生根系对树体的调节作用,来提高对水分的利用效率。果树的蒸腾量与果品产量并非直线关系。不同的水分利用效率和蒸发蒸腾,可以达到相同的产量。蒸腾速率很小时,当灌溉水量增大,光合速率会显著增加,但当蒸腾速率增到一定程度后,光合速率增加幅度会逐渐减小,并趋于稳定。另外,根系和木质部中作为一种根源信号的ABA浓度均有提高。ABA浓度的提高,可通过降低气孔开张度来降低蒸腾速率。当根系感应到水分亏缺时,会迅速合成ABA来调节生理过程。胡博等^[16]关于ABA的研究结果表明,气孔导度与木质部ABA浓度呈指数相关关系,而与木质部ABA通量和细胞的膨压无关。在适度的调亏时期内,果实可在水分亏缺导致营养生长受抑制时累积有机物以维持自身的生长,不会对果实产量产生严重影响。关于香梨的研究表明,细胞分裂期的土壤水分亏缺可有效地抑制其营养生长,枝条最终长度可比对照减小15.1%~23.5%,夏季修剪量可比对照减小17.5%~35.3%^[17];鸭梨萌芽期、花期亏水均能显著降低树体营养生长,可使新梢长度降低15%~25%,坐果率均大于85%,对果实发育影响较小。由于生长初期复水后果实生长会出现明显的补偿效应,水分亏缺出现在果树生长初期所产生负面影响较中后期小。香梨从萌芽期到果实膨大前期的亏水对坐果率、产量影响很小^[18]。

2.4 调亏灌溉对果实品质的影响研究

适时、适量的调亏灌溉在香梨上的使用可起到增产,提高灌溉水利用效率的效果。调亏灌溉对库尔勒香梨的果实品质与收获果实体积均无显著影响^[17-18]。在白梨花期前后一段时间出现一定程度的水分胁迫对采收时果实大小影响很小^[19]。早期进行调亏灌溉的桃、梨、葡萄会在在水分胁迫解除后出现生长补偿效应^[20-21]。调亏灌溉可提高苹果可溶性固形物含量,增大果实硬度;在苹果成熟期采取亏水处理可促进果实提早成熟,增加可滴定酸和果实香气成分^[22]。调亏灌溉在小柑橘上的应用,可提高2%~10%的可溶性固形物含量,增加11%~13%的有机酸含量,减小10%的果实直径。

不同品种水果的糖酸比在水分调控下会有不同程度的升高^[23-24]。

2.5 调亏灌溉的应用

20世纪90年代后,研究人员开始对调亏灌溉在不同作物上的应用等进行了研究,研究范围越来越广。当全生育期土壤相对含水量为70%时,冬小麦生物产量最高,但是其籽粒产量和水分利用效率并不是最高。生育后期过多灌水或土壤严重缺水均显著影响冬小麦对土壤水分的利用效率^[25]。玉米拔节期温度高,耗水量大,适度而缓慢的水分亏缺可抑制地上部分旺长,产量下降不明显,如进行合理密植,可增加总产量^[26-27]。冬小麦三叶-返青期适度的水分亏缺,能显著提高冬小麦的产量,而拔节前期适度水分亏缺可提高春小麦产量^[28-30]。大豆苗期中度(土壤含水量为16%~18%)、重度(土壤含水量为13%~16%)调亏灌溉处理对大豆整个生育期的株高、叶面积均有一定影响,均显著低于对照(土壤含水量为23%~26%);重度调亏灌溉处理下,地上重和根重均显著低于对照;重度调亏处理根冠比在整个生育期大于中度调亏和对照处理;苗期中度调亏对大豆产量影响不显著,重度调亏处理对产量影响较大,参试大豆品系辽51064和辽51095分别比对照减产6.69、10.79 g/株;耗水量随着水分胁迫加强而降低,2个参试大豆品系辽51064和辽51095,在中度调亏灌溉处理下水分利用效率(WUE)最高,分别为1.49、1.38 g/kg^[31]。

3 果树调亏灌溉需进一步研究的问题

调亏灌溉可有效抑制过旺的营养生长,在减少修剪工作量的基础上,增强树体通风透光性,起到提高品质、延长储藏期的效果。同时,调亏灌溉技术相对简单、方便操作,是目前使用较多的节水技术。由于不同果树品种具有其自身的发育特点,目前还存在粗放调亏灌溉方式,需要对不同环境条件、栽培密度和施肥情况下,调亏灌溉对树体生长与果实发育等生理生态过程的影响和水分亏缺下如何发掘生长补偿效应的正面效应等方面开展调查研究。将不同果树的亏水时期、程度、时间以及与其相配套的灌水和田间管理技术等集成,逐步实现精确调亏灌溉,以增强调亏灌溉技术在生产中的实践性和有效性。

随着科技的不断进步,信息技术将越来越多的应用于节水灌溉当中,未来将在研究调亏灌溉机理和应用的基础上,建立一种以依据植物需水信号与精确灌溉相结合的新型调亏灌溉技术,最终实现节水、优质、丰产的目标。

参考文献

- [1] 康绍忠,蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [2] 孙宏勇,张喜英,邵立威. 调亏灌溉在果树上应用的研究进展[J]. 中国生态农业学报,2009,11(17):1288-1291.

- [3] 马琼,李英.巴州库尔勒香梨产业化发展现状、问题、对策探讨[J].安徽农业科学,2010,38(19):10314-10315.
- [4] 房玉林,孙伟,万力,等.调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J].中国农业科学,2013,46(13):2730-2738.
- [5] 王开荣,李世诚,扬天仪,等.调亏灌溉对大棚葡萄生长与结实的影响[J].江苏农业科学,2008(4):140-143.
- [6] 崔宁博.西北半干旱区梨枣树水分高效利用机制与最优调亏灌溉模式研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [7] 马守臣,徐炳成,李凤民,等.冬小麦分蘖冗余生态学意义以及减少冗余对水分利用效率的影响[J].生态学报,2008,28(1):321-326.
- [8] Reynolds M P. Yield potential in modern wheat varieties: its association with a less competitive ideotype[J]. Field Crops Research, 1994, 37: 149-160.
- [9] 韩明春,吴建军,王芬.冗余理论及其在农业生态系统管理中的应用[J].应用生态学报,2005,16(2):375-378.
- [10] 郝树荣,郭相平,张展羽.作物干旱胁迫及复水的补偿效应研究进展[J].水利水电科技进展,2009,29(1):81-84.
- [11] 胡梦芸,李辉,张颖君,等.水分胁迫下葡萄糖对小麦幼苗光合作用和相关生理特性的影响[J].作物学报,2009,35(4):724-732.
- [12] Bang H, Sleskovar D I, Bender D A, et al. Deficit irrigation impact on copene, soluble solids, firmness and yield of diploid and triploid watermelon in three distinct environments[J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2004, 79: 885-890.
- [13] Dodd I C. Root-to-shoot signalling: Assessing the roles of up in the up and down world of long-distance signalling[J]. Plant Soil, 2005, 274: 251-270.
- [14] 马福生.梨枣树耗水规律与调亏灌溉模式研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [15] 康绍忠,杜太生,孙景生,等.基于生命需水信息的作物高效节水调控理论与技术[J].水利学报,2007,38(6):661-667.
- [16] 胡博,李玲.脱落酸信号转导研究进展[J].生命科学研究,2007,11(4):52-56.
- [17] 武阳,王伟,雷廷武.调亏灌溉对滴灌成龄香梨果树生长及果实产量的影响[J].农业工程学报,2012,28(11):118-123.
- [18] 徐胜利,陈小青.膜下调亏灌溉对香梨产量和品质的影响[J].新疆农业科学,2003,40(1):6-9.
- [19] 程福厚,李绍华,孟昭清.调亏灌溉条件下鸭梨营养生长、产量和果实品质反应的研究[J].果树学报,2003,20(1):22-26.
- [20] 刘遵春,包东娥,廖明安.层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用[J].西北农林科技大学学报,2006,34(8):125-128.
- [21] 张晓煜,亢艳莉,袁海燕,等.酿酒葡萄品质评价及其对气象条件的响应[J].生态学报,2007,27(2):740-745.
- [22] Bussakorn S M S, Behboudian M H. Production of aroma volatiles in response to deficit irrigation to a crop load in relation to fruit maturity for 'Braeburn' apple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2002, 24: 1-11.
- [23] 刘明池,小岛孝之,陈杭,等.亏缺灌溉对草莓生长和果实品质的影响[J].园艺学报,2001,28(4):307-311.
- [24] 张承林,付子斌.水分胁迫对荔枝幼树根系与梢生长的影响[J].果树学报,2005,22(4):339-342.
- [25] Kang S Z, Zhang L, Liang Y L, et al. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China[J]. Agricultural Water Management, 2002, 55: 203-216.
- [26] 康绍忠,史文娟,胡笑涛,等.调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,1998(4):82-87.
- [27] Turner N C. Plant water relations and irrigation management[J]. Agri Water Manage, 1990, 17(1/3):59-75.
- [28] 孟兆江,贾大林,刘安能,等.调亏灌溉对冬小麦生理机制及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2003,19(4):66-68.
- [29] Meng Z J, Jia D L, Liu A N, et al. Effect of regulated deficit irrigation on physiological mechanism and water use efficiency of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(4): 66-68.
- [30] Zhang B C, Li F M, Huang G B, et al. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area[J]. Agric Water Manage, 2006, 79(1):28-42.
- [31] 白伟,孙占祥,刘晓晨.苗期调亏灌溉对大豆生长发育和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):50-53.

Regulated Deficit Irrigation Technique and Its Application on Fruit Trees

YANG Sheng^{1,2}, SONG Yu-qin¹, LI Jie¹, CHEN Chong^{1,2}, LI Liu-lin¹

(1. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801; 2. Pomology Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taigu, Shanxi 030800)

Abstract: With the readjustment of industrial structure in China, the fruit industry play an increasingly important role in the agricultural development in our country obviously. But it is a heavy water consumer, meanwhile the producing regions of quality fruit in China were mostly distributed in the hilly areas with lack of rain or mountainous regions with full of ravines, therefore it is imperative to carry water saving irrigation in modern fruit culture. The general situation of water-saving irrigation technology domestic and abroad were summarized, and this article focused on the theoretical basis of Regulated Deficit Irrigation (RDI), production mechanism and situation of application, discussed the existing problems in the research of Regulated Deficit Irrigation (RDI) and the direction of further research.

Keywords: fruit tree; regulated deficit irrigation; water use efficiency; fruit quality