

地下滴灌的经济与环境效益研究综述

何 华, 康绍忠

(西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

S275.4

S275.6

[摘 要] 地下滴灌是一种新型的节水灌溉技术, 具有诸多优点, 不仅在技术和经济方面, 而且在生态环境保护方面都是最有发展前途的节水灌溉技术。对地下滴灌技术的发展历史、经济与环境效益进行了综述, 并讨论了存在的问题, 对研究的开展提出了一些建议。

[关键词] 地下滴灌; 节水增产; NO_3^- -N 淋溶

环境效益, 经济效益, 节水灌溉

[中图分类号] S275.4; S275.6

[文献标识码] A

地下滴灌(Subsurface Drip Irrigation, SDI)是一种新型的节水灌溉技术, 是指水通过地埋管上的滴头或滴孔出流, 并在毛细管作用或重力作用下扩散到根层供作物吸收利用。一般地, 埋入土壤的有孔陶管、打孔塑料管、带滴头毛管、滴灌带, 均属于 SDI 系列。

SDI 技术自问世以来, 便以其显著的节水增产效益为业内人士瞩目; 尽管存在一些问题, 如灌水均匀性差, 出水孔易堵塞等, 但瑕不掩瑜; 在资源短缺与环境污染日益严重的今天, SDI 技术产生的经济效益与环境效益使其发展与应用前景十分乐观。本文对 SDI 技术的发展历史作一介绍, 简述 SDI 节水增产的经济效益与减少水分养分深层渗漏的环境效益, 并对相关的问题略加讨论。

1 SDI 的发展历史

1920 年, Charles Lee 因利用一种灌溉瓦管“使瓦管周围的土壤得以湿润”而获得美国专利^[1]。这是 SDI 最早的形式。二战后, 随着塑料工业的出现和滴灌的发展, SDI 作为美国发展滴灌的组成部分, 于 1959 年开始应用^[2]; 进入 60 年代, 地下滴灌管采用聚乙烯或聚氯乙烯制作, 管壁上钻有小孔或切割成狭缝或者将滴头嵌入管壁^[3~5]。70 年代以来, 多种试验用与商用的滴头和管道装配试用, 应用于许多作物上; 使用过程中, 主要问题是均匀度低、系统维持难及滴头堵塞。安装 SDI 系统的设备有所进步, 比如在安置管道时, 有些设备可以直接在管壁上打孔; 有些则将滴头直接嵌入管壁^[5, 6]。80 年代以来, 由于材料、设备的投入降低, 对 SDI 的关注有所增加, 关于 SDI 的研究报道不断涌现^[7~13]。

我国在引进并开始研究滴灌技术的当年, 即 1974 年开始建设 SDI 工程试点^[14]。70 年代末至 80 年代初, 进行了一些试验研究^[15], 为这一技术在我国的发展提供了理论基础和技术要求; 但遗憾的是未能得到进一步的发展和推广应用。1991 年山西农民王高升用塑料管打孔作为地下滴灌管使用, 受益显著, 运城地区农民纷纷仿效^[16, 17]。此后, 由于管道

[收稿日期] 1999-06-17

[基金项目] 国家杰出青年基金资助项目(49725102)。

[作者简介] 何 华(1971-), 女, 助研, 在读博士。

滴孔堵塞问题, 配件设备研制和主要技术参数研究的滞后等客观原因, 限制了 SDI 的发展与应用。

目前, SDI 在美国、法国、日本、澳大利亚等已进入较大面积推广应用阶段; 在一些严重缺水的国家和地区, 如中东地区的部分国家已得到较广泛的应用^[14]; 应用范围集中于果树、蔬菜、花卉、绿化草坪和一些免耕的大田作物^[15]。我国地下滴灌技术水平尚处于初级阶段, 存在一系列急需解决的问题。

2 SDI 的经济效益

2.1 节水增产

SDI 节水增产的机理也是它所具有的优点, 即采用 SDI 技术可以防止作物棵间蒸发, 改善土壤理化性质, 减轻病虫害及抑制杂草生长等。

SDI 的节水与产量效应是在与其他灌溉系统的比较中体现的, 在现有的研究报道中, SDI 的产量效应均等于或大于其他灌溉系统(主要指沟灌、喷灌和地面滴灌)。

对许多作物而言, SDI 的产量比沟灌高。据德克萨斯西部农田统计, 玉蜀黍产量, SDI 较沟灌高 12%~14%^[16]; 大白菜和小胡瓜产量高 35% 以上; 当配以磷酸尿素, 沟灌的产量增加至 SDI(不供肥)的产量^[19]。SDI 的产量效应受土壤质地的影响, 如在粉砂性土壤上进行棉花试验, 以 SDI 灌溉的产量较沟灌为高; 但在沙质土上则产量无差异; 两种土壤 SDI 均节水 40% 左右^[20]。

SDI 与喷灌的产量效应基本相同, 但 SDI 节水; 并且喷灌耗能多, 需要更多的劳力搬运、组装拆卸喷灌系统。在弗吉尼亚玉米试验显示, SDI 与喷灌的产量没有差异, 但 SDI 节水 30%^[21,22]。

关于 SDI 与地面滴灌(DI)的试验研究, 大多数结果显示, SDI 与 DI 的产量差异不大, 如玉米、棉花、高粱、洋葱、胡萝卜、豌豆、西瓜、黄瓜等^[7,23~30]; 也有研究报道 SDI 产量较高, 如在以色列玉蜀黍产量^[8], 在新墨西哥马铃薯产量^[30]及加利福尼亚的番茄^[31], 均是 SDI 大于 DI。张树森等^[31]在日光温室对黄瓜进行地下滴灌技术研究, 结果显示, SDI 比地面滴灌、沟灌分别节水 11.9%, 50.7%; 增产 10.2%, 41.3%。灌水量减少时, SDI 引起的减产幅度比 DI 小许多^[15]。在应用上, DI 比 SDI 容易遭到人为破坏, 所需劳力多, 当以打孔塑料管作为地下滴灌管时, SDI 的设备投入较 DI 低廉许多。

SDI 与其他灌溉系统相比, 除了增产、节水、省工、效益高和不影响地表作业等特点外, 还具备改善土壤理化性质, 减少作物病害及野草生长等优点。

2.2 灌施化肥与农药

应用 SDI 技术的优点之一就是可在作物全生育期内, 适时适量地将营养元素(包括氮、磷、钾与微量元素)和农药精确而直接地灌施于作物根区。这不仅可提高肥料利用率, 减少肥料用量, 并可以节省大量施肥与喷药劳力。现有的试验研究已验证了磷素用量的节约性。当养分随水分一同灌施于作物根区时, 磷素养分由于迁移性差, 不易迁移出根区, 可为作物根系很好吸收, 因而用量较其他灌溉技术节省。在石灰性土壤里施用磷酸尿素, 滴孔周围 20 cm 以内可利用态磷的浓度很高; 分 2 次施用能延长磷的有效性^[19]。另有研究认为, 使用 SDI 系统可以将磷素直接灌施于根区, 流失量明显减少, 因而所需磷肥用量较

其他灌溉系统少^[32]。

而氮素养分灌施于根区,可以减少氨态氮的挥发损失;并且 SDI 实行小定额高频次的灌溉制度,硝态氮随灌溉水渗漏至土壤深层的潜势较其他灌溉技术小,因而亦可以节约氮素用量。在棉花上的试验显示,相同产量时 SDI 降低了氮素用量^[30]。

尽管目前还未见应用 SDI 技术减少钾肥用量的报道;按上理推断,有理由相信钾具有同氮、磷相同的规律性。此外,采用 SDI 技术可以减少病虫害,抑制杂草生长,从而也能减少农药的使用量,使其较其他灌溉方法的农田投入低廉。

3 SDI 与环境效应

SDI 在保护生态环境方面的意义虽然已引起关注,但所进行的研究十分有限,主要是关于 SDI 减少深层渗漏和 NO_3 淋溶方面的试验研究。

管带埋于土壤表面以下,对防止作物棵间蒸发有很好的效果,这一点已得到公认;但 SDI 条件下,是否更易或更不易发生深层渗漏,研究上还有争议。岳兵^[12]认为,SDI 管带埋于土壤中,比其他灌溉技术向下平移数十厘米,产生深层渗漏要比地面滴灌严重;但 SDI 能进行小定额高频次灌水,便于控制水量与水分在土壤中的分布;再进行适时(需水关键期)灌溉,发生深层渗漏的可能性不大。司徒淞等^[11]通过测试 SDI 土壤水分运动,确定应用 SDI 发生渗漏的临界灌水量为 $225 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。Lamm 等^[9]对试验中产生的深层渗漏进行了估算,认为应用 SDI 灌溉可将养分的地表径流损失和深层渗漏损失降至最低程度。冯永平等^[33]对冬小麦进行灌水时间、灌水量及管道埋深的田间试验,结果表明孕穗期每公顷灌水 300 m^3 ,产量效应显著;并以埋深 20 cm 较为合理, $50\sim 100 \text{ cm}$ 土层的含水量比对照(不灌水)仅高 2.14% ; $100\sim 200 \text{ cm}$ 土层的含水量变化不大,说明没有发生渗漏。尽管研究有限,但现有的研究均倾向于支持这样的论点,即 SDI 能减轻农业灌溉所带来的环境污染。

谈及 SDI 的环境效应,不可避免地要涉及 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的淋溶问题。环境污染是一个全球性的严重问题,过量施用氮肥是引起环境污染的重要因素之一。在一些发达国家由于过量施氮,土壤和水质已受到严重污染。我国近几年来,作物产量并未随着施氮量的增加而明显增加,氮肥利用率只有 $30\%\sim 40\%$,大部分氮素从不同途径损失,其中硝态氮的淋溶是氮素损失的重要途径之一,又是导致氮素利用率低和引起地下水污染的主要原因。防止硝态氮淋溶的研究显示,减少肥水投入和采用适宜的灌溉施肥技术是减少硝态氮淋溶的有效方法^[34]。SDI 作为一种节水性极强的灌溉技术,灌溉用水少,化肥用量省,硝态氮随土壤水分运移有限,如果结合合理的灌施方式(如少量多次灌施氮肥)在作物需肥关键期供给,SDI 能够产生良好的环境效应。

4 存在的问题与展望

SDI 是一项节水灌溉技术,在 SDI 的试验研究中,水的研究自然最多。但现代农业生产实质上是化学农业,对 SDI 条件下化肥施用的研究理应得到重视,尤其是用量最大的氮肥在 SDI 条件下的应用状况。如 SDI 系统的管道埋于作物根区,通过 SDI 灌施氮肥,其节氮性如何;同时,也因管道埋于土壤表面数厘米至数十厘米,其产生 NO_3 淋溶污染的潜

势如何;面对环境污染的现实问题,如何在施用氮肥实现增产的前提下减少氮素的损失,降低由于过量施氮或施氮不当引起的硝态氮淋溶对土壤及地下水资源的污染,以及如何将 SDI 节水灌溉工程技术和农业节水综合技术合理结合,通过地下滴灌工程技术参数(埋管深度、进口压力、滴孔孔径、孔距等)来调控水分、养分在土壤中的分布与运移、作物根系的分布与生长,反馈性地影响根系对水分、养分的吸收利用,使水肥的利用率和利用效率均得以提高,都是值得重视和迫切需要解决的问题。

SDI 相对于其他灌溉系统的应用与研究,起步较晚;又因存在许多问题而发展缓慢,我国乃至全世界的 SDI 技术水平与其他灌溉技术相比,尚处于初级阶段。从 SDI 管带、配套设备到技术参数、应用机理,与其他农业生产技术(如供肥)结合等诸多方面均存在一系列急需解决的问题。因此,针对 SDI 的问题进行的研究相对较少,研究成果也很有限;同时由于它所具有的一些无可比拟的优点,SDI 的应用与研究在不断发展,关注将逐渐增加。

[参考文献]

- [1] Camp C R. Subsurface drip irrigation: a review[J]. Transaction of the ASAE, 1998, 41(5): 1353—1367.
- [2] Davis S. Subsurface irrigation-how soon reality[J]? Agriculture Engineering, 1967, 48(11): 654—655.
- [3] Braud H J. Subsurface irrigation in the southeast[J]. In Proc Nat Irrig Symp, 1970, E1—E9. St. Joseph. Mich. : ASAE.
- [4] Hanson E G, Williams B C, Fangmeier D D, et al. Influence of subsurface irrigation on crop yields and water use [J]. In Proc Nat Irrig Symp, 1970, D1—D13. St. Joseph. Mich. : ASAE.
- [5] Zetzsche J B, Newman J S. Sub-irrigation with plastic pipe[J]. Agriculture Engineering, 1966, 47(1): 74—75.
- [6] Whitney L F. Review of subsurface irrigation in the northeast[J]. In Proc Nat Irrig Symp, 1970, F1—F8. St. Joseph. Mich. : ASAE.
- [7] Mitchell W H, Sparks D L. Influence of subsurface irrigation and organic additions on top and root growth of field corn[J]. Agron J, 1982, 74(6): 1084—1088.
- [8] Bar-Yosef B, Sagiv B, Markovitch T. Sweet corn response to surface and subsurface trickle phosphorus fertigation[J]. Agron J, 1989, 81(3): 443—447.
- [9] Lamm F R, Manges H L, Stone L R, et al. Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas[J]. Transaction of the ASAE, 1995, 38(2): 441—448.
- [10] Camp C R, Sadler E J, Busscher W J. A comparison of uniformity measures for drip irrigation system[J]. Transactions of the ASAE, 1997, 40(4): 1013—1020.
- [11] 司徒淞, 葛淑芳, 周子奎. 渗灌条件下土壤水分运动的试验研究[J]. 灌溉排水, 1982, 1(4): 27—33.
- [12] 岳 兵. 渗灌技术存在的问题与建议[J]. 灌溉排水, 1997, 16(2): 40—44.
- [13] 马孝义, 康绍忠, 王凤翔, 等. 果树地下滴灌灌水技术田间试验研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(1): 57—61.
- [14] 王彦军, 沈秀英, 王留运. 一种新型的节水灌溉技术——渗灌[J]. 北京水利, 1996, (6): 45—49.
- [15] 陈仰斗, 段中锁, 卫典臣. 渗灌技术应用浅析[J]. 灌溉排水, 1995, (2): 33—35.
- [16] 李少俊. 大田渗灌立体种植模式及效益[J]. 人民黄河, 1998, (3): 26—29.
- [17] Phene C J, Beale O W. High-frequency irrigation water nutrient management in humid regions[J]. Soil Sci Soc Am J, 1976, 40(3): 430—436.
- [18] Rubeiz I G, Oebker N F, Stroehlein J L. Subsurface drip irrigation and urea phosphate fertigation for vegetables on calcareous soils[J]. J Plant Nutrition, 1989, 12(12): 1457—1465.

- [19] Phene C J, Derar W R, Clark D A. Real-time irrigation scheduling of cotton with an automated pan evaporation system[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 1992, 8(6): 787—793.
- [20] Adamson F J. Irrigation method and water quality effect on peanut yield and grad[J]. *Agron J*, 1989, 81(4): 589—593.
- [21] Adamson F J. Irrigation method and water quality effect on corn yield in the Mid-Atlantic Coastal Plain[J]. *Agron J*, 1992, 84(5): 837—843.
- [22] Camp C R, Sadler E J, Busscher W J. Subsurface and alternate-middle micro irrigation for the southeastern Coastal Plain[J]. *Transactions of the ASAE*, 1989, 32(2): 451—456.
- [23] Howell T A, Schneider A D, Evett S R. Subsurface and surface micro-irrigation of corn-Southern high plains [J]. *Transactions of the ASAE*, 1997, 40(3): 635—641.
- [24] Powell N L, Wright F S. Grain yield of subsurface micro-irrigated corn as affected by irrigation line spacing[J]. *Agron J*, 1993, 85(6): 1164—1169.
- [25] Hiler E A, Howell T A. Grain sorghum response to trickle and subsurface irrigation[J]. *Transactions of the ASAE*, 1973, 16(4): 799—803.
- [26] Bucks D A, Erie L J, French () F, et al. Subsurface trickle irrigation management with multiple cropping[J]. *Transaction of ASAE*, 1981, 24(6): 1482—1489.
- [27] Camp C R, Garrett J T, Sadler E J, et al. Micro-irrigation management for double-cropped vegetables in a humid area[J]. *Transactions of the ASAE*, 1993, 36(6): 1639—1644.
- [28] Oron G, DeMalach J, Hoffman Z, et al. Subsurface micro-irrigation with effluent[J]. *J Irrig Drain Engng*, 1991, 117(1): 25—36.
- [29] Sammis T W. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops[J]. *Agron J*, 1980, 72(5): 701—704.
- [30] Phene C J, Davis K R, Hutmacher R B, et al. Advantages of sub-surface irrigation for processing tomatoes[J]. *Acta Hort*, 1987, 200: 101—114.
- [31] 张树森, 雷勤明. 日光温室蔬菜渗灌技术研究[J]. *灌溉排水*, 1994, 13(2): 30—32.
- [32] Mikkelsen R L. Phosphorus fertilization through drip irrigation[J]. *J Prod Agric*, 1989, 2(3): 279—286.
- [33] 冯永平, 董忠义, 董孟雄, 等. 旱塬麦田渗灌补水技术及经济效益[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(4): 73—78.
- [34] Ferguson R B. Water and nitrogen management in central Platte Valley of Nebraska[J]. *J Irrigation and Drainage Engineer*, 1990, 16(4): 557—655.

The economic and environmental effect of subsurface drip irrigation

HE Hua, KANG Shao-zhong

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In recent years, subsurface drip irrigation (SDI) has provoked interest for its effect of increasing crop yield and saving water. This paper introduces the developmental history of SDI, relates the economic and environmental effect of SDI, raises some existing problems and puts forward proposals.

Key words: subsurface irrigation; water saving and yield increasing; $\text{NO}_3 - \text{N}$ leaching