

新疆膜下滴灌技术应用现状及展望

余 姣¹, 周和平²

¹新疆维吾尔自治区塔里木河流域喀什管理局, 新疆 喀什

²新疆水利厅水利管理总站, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年6月30日; 录用日期: 2023年7月26日; 发布日期: 2023年8月1日

摘 要

膜下滴灌是干旱区新疆农业节水灌溉主要模式, 为农业节水增产水资源高效利用管理发挥了重要作用, 本文在回顾总结微灌技术应用实践及取得成效的基础上, 分析农业灌溉系统多要素投入对于产出综合效应, 结果表明, 化肥施用对农业产出贡献率38.7%, 节水灌溉及水资源利用贡献率61.3%远大于农业施肥技术, 但其中: 膜下滴灌技术应用贡献率占比10.2%, 低于灌溉水资源贡献率占比54.5%和渠道防渗及低压管灌贡献率占比35.3%。这一结果说明, 农业灌溉投入产出系统尚处不和谐状态, 间接反映了膜下滴灌引起灌水周期短、灌水频繁、用时长能耗高、定额小、土壤湿润层浅, 地膜白色污染农田生态环境恶化, 针对这些问题, 本文提出了节水增效节能降耗环保型渗灌研究发展方向, 为农业节水高质量发展提供支撑。

关键词

灌溉系统, 应用现状, 投入产出, 效应分析, 展望

Current Situation and Prospects of Application of Underfilm Drip Irrigation Technology in Xinjiang

Jiao Yu¹, Heping Zhou²

¹Kashgar Administration Bureau of Tarim River Basin, Kashgar Xinjiang

²Xinjiang Water Resources Department Water Resources Management Station, Urumqi Xinjiang

Received: Jun. 30th, 2023; accepted: Jul. 26th, 2023; published: Aug. 1st, 2023

Abstract

Underfilm drip irrigation is the main mode of agricultural water-saving irrigation in arid areas of

文章引用: 余姣, 周和平. 新疆膜下滴灌技术应用现状及展望[J]. 农业科学, 2023, 13(8): 719-728.

DOI: 10.12677/hjas.2023.138100

Xinjiang, playing an important role in the efficient utilization and management of water resources for agricultural water-saving and yield increase. Based on a review and summary of the application practice and achievements of micro irrigation technology, this article analyzes the comprehensive effect of multiple factor inputs in agricultural irrigation systems on agricultural output. The results show that the contribution rate of fertilizer application to agricultural output is 38.7%, the contribution rate of water-saving irrigation and water resource utilization is 61.3%, which is much higher than that of agricultural fertilization technology. However, the contribution rate of the application of drip irrigation under film technology is 10.2%, which is lower than the contribution rate of irrigation water resources, which is 54.5%, and the contribution rate of channel anti-seepage and low-pressure pipe irrigation is 35.3%. This result indicates that the input-output system of agricultural irrigation is still in a disharmonious state, indirectly reflecting the short irrigation cycle, frequent irrigation, high energy consumption, small quota, shallow soil moisture layer, and deterioration of farmland ecological environment caused by white pollution of plastic film. In response to these problems, this article proposes the research and development direction of water-saving, efficiency increasing, energy saving, consumption reducing, and environmental protection infiltration irrigation, providing technical support for the high-quality development of agricultural water-saving.

Keywords

Irrigation System, Application Status, Input Output, Effect Analysis, Expectation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

新疆近 70 年气象数据显示[1], 灌区年均气温 8.4℃, 其中南疆、东疆、北疆灌区为 10.7℃、10.1℃ 和 6.6℃; 日照时数 7.7 h, 其中南疆、东疆、北疆灌区为 7.6 h、8.8 h 和 7.5 h, 气温高日照时间长。灌区年均降水量 138.4 mm, 仅为全国年均降水量 20% [2]。降水南疆东疆北疆灌区分别为 81.9 mm、57.3 mm 和 193.0 mm。用水期 3~10 月降水量占比 84%, 有效降水量仅 41% [3], 因此, 灌区年均有效降水量不足 50 mm。灌区年均蒸发量 1938.3 mm, 其中南疆东疆北疆灌区分别为 2177.0 mm、2375.6 mm 和 1644.7 mm, 气象干旱指数 9~41 跨度之大。灌区降水稀少、蒸发强烈、气候干旱、生态脆弱, 是我国典型沙漠绿洲纯灌溉农业。新疆水资源量十分有限, 供需不平衡日益加剧, 大力发展农业高效节水技术提升水资源利用效率尤显重要。本文基于国内外滴灌及膜下滴灌技术应用研究进展, 总结回顾了农业节水技术应用探索实践, 分析了膜下滴灌应用规模成效及存在的问题, 对微灌技术应用发展方向进行了展望, 为新疆节水技术应用可持续发展提供依据。

2. 节水灌溉技术方法应用历程

新疆 20 世纪 70 年代以来, 开始不同节灌技术方法试验示范应用。20 世纪 70 年代, 渠道衬砌防渗输水节水技术贯穿农田水利建设。复合材料、U 型渠、弧形 + 梯形断面混凝土预制板防渗等技术不断出现。80 年代初自压加压半固定式喷灌技术, 先后试验示范应用[4] [5], 目前应用主要为加压半固定式喷灌及微喷灌。90 年代至 2000 年地下滴灌[6]、大畦改小畦灌、覆膜灌[7]、低压管道输水灌、滴灌及膜下滴灌[8]、低压软管及小白龙灌溉[9]等多种节水技术试验应用相继展开。进入 21 世纪改进式地面波涌灌

[10]、果树园艺类作物涌泉灌[11]蓄流式灌溉[12][13]技术、农田表层浅埋式滴灌[14][15]以及新型滴灌灌水器进行地下渗灌[16]等节水方法试验应用。由此看出,新疆农业节水灌溉 40 年尤其是近 20 年,历经了不同形式节水技术方法试验示范探索实践应用。

3. 节灌技术应用探索实践及成效

3.1. 膜下滴灌技术的形成

干旱新疆农业节水技术格局是基于渠道防渗管网输水李生微灌结合,形成从常规地表裸露滴灌向膜下滴灌转变,成为现阶段农业节水主模式。1974 年我国从墨西哥引进滴灌技术,在此基础上探索研究适合国情灌溉设备,1980 年至 1990 年改进研究出了管式滴头、可调式滴头、孔口滴头等产品。“九五”至“十一五”,我国在引进消化基础上[17][18]加大研发力度,通过技术集成创新滴灌技术得到了快速发展。在灌水器流体机理、结构设计、抗堵塞性能等方面取得了成效,标致性成果是灌水器毛管一体化滴灌带,如薄壁软管内镶式滴灌带、迷宫式滴灌带,为滴灌大面积推广应用创造了条件。为保持农田土壤墒情,将地膜覆盖与滴灌有机结合,形成膜下滴灌技术方法[19]是农业节水灌溉的重大发展。多年来一次性薄壁滴灌带改进,内镶式、迷宫式、压力补偿式滴灌带产品相继生产应用,解决了产品仿制阶段出现灌水不均、滴头堵塞、滴灌带破裂、管道漏水等问题[20]。膜下滴灌具有节水增产、灌水定额和田间蒸发量小,灌水次数多等特点,避免了灌水深层渗漏提高了水资源利用效率。膜下滴灌技术管网布置、作物耗水强度、土壤湿润比、灌水均匀度设计[21][22]方面日益成熟,实现了铺管、铺膜、播种一体机作业,推进了膜下滴灌规模化应用。

3.2. 膜下滴灌推广应用及成效

3.2.1. 膜下滴灌发展规模

新疆地方系统[23]总灌面积由 2000 年的 338.80 万 hm^2 发展到 2020 年的 480.88 万 hm^2 ,年递增 1.68%;渠道防渗节水面积由 2000 年 118.20 万 hm^2 减至 2020 年 33.87 万 hm^2 ,年递减 5.78%呈现逐年下降状态;低压管道输水灌溉由 2000 年 1.06 万 hm^2 增至 2020 年 15.14 万 hm^2 ,年递增 13.50%逐年增加但发展基数不大;喷灌由 2000 年 5.58 万 hm^2 减至 2020 年 2.60 万 hm^2 ,年递减 3.57%表现明显下降状态;膜下滴灌面积由 2000 年的 0.31 万 hm^2 发展到 2020 年 244.94 万 hm^2 年递增 37.40%,占总灌面积的 50.9%成为农业节水灌溉主要模式。

3.2.2. 不同节水灌溉模式应用效应

表 1 为新疆地方系统 1999~2020 年农业投入要素与农业产值信息,系列数据综合考虑了与农业产值(W)相关的 7 种水利投入要素:渠道防渗面积(X_1)、低压管道输水灌面积(X_2)、常规地面灌面积(X_3)、喷灌面积(X_4)、膜下滴灌面积(X_5)、农业用水量(X_6)、化肥施用量(X_7),由柯布-道格拉斯[24]模型拟合方程为:

$$\begin{cases} W = 9272384x_1^{0.07368}x_2^{0.16263}x_3^{-1.44928}x_4^{-0.43029}x_5^{0.06807}x_6^{0.36612}x_7^{0.11594} \\ R_{[n-2=19]} = 0.997 \geq [R_{0.05} = 0.433, R_{0.01} = 0.549] \\ F_{[21, 7]} = 338.56 \geq [F_{0.05} = 2.49, F_{0.01} = 3.64] \end{cases} \quad (1)$$

经统计检验拟合方程 R 和 F 均达极显著水平,方程与实际数据相对误差 $\pm 0.7\% \sim 15.1\%$,总体相差 0.1%,回归效果代表性较好。由式(1)分析农业水利投入要素对农业产值影响效应表明,每增 1 hm^2 渠道防渗面积 X_1 ,农业产值 W 提升了 0.1165,每增 1 hm^2 低压管灌面积 X_2 ,W 提升 3.1719。但每增 1 hm^2 常规灌溉面积 X_3 ,W 却下降了 0.6228,每增 1 hm^2 喷灌面积 X_4 ,W 却下降了 10.4696。每发展 1 hm^2 膜下滴灌面积

X_5 , W 提升 0.0924, 每增 1 m^3 农业用水量 X_6 , W 提升 1.2903, 每增 1 吨化肥施用量 X_7 , W 提升了 0.9297。

由投入因素对产出正负效应来看, 对产出具有负效应投入因素, 是常规地面灌溉和喷灌用水方式, 说明常规灌溉和喷灌已不能有效适应干旱区节水发展, 这与新疆喷灌和常规地面灌逐年减少, 膜下滴灌微灌节水技术逐年增加态势相一致。对农业产出具有正效应的投入因素及大小为: 低压管道输水灌 > 农业用水量 > 化肥施用量 > 渠道防渗 > 滴灌节水面积, 表明农业节水灌溉系统是基于渠道防渗管道输水孪生的。

Table 1. Agricultural water resources input factors and agricultural output value of Xinjiang local system over the years
表 1. 新疆地方系统历年农业水利投入要素与农业产值

年份	农业产值 /亿元	渠道防渗 /千 hm^2	低压管灌 /千 hm^2	常规灌溉 /千 hm^2	喷灌 /千 hm^2	膜下滴灌 /千 hm^2	农业用水 /亿 m^3	化肥施用量 /万吨
代码	W	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1999	461.2	1176.0	8.5	3292.2	47.9	1.5	328.8	78.3
2000	487.2	1182.0	10.6	3329.1	55.8	3.1	329.0	79.2
2001	496.8	1145.0	16.0	3338.0	78.0	7.0	367.0	83.3
2002	457.7	1138.5	13.8	3401.4	87.2	12.4	354.3	83.8
2003	482.8	1131.5	20.6	3404.3	92.1	22.0	351.7	90.7
2004	515.0	1173.7	25.0	3395.0	95.1	36.8	357.1	99.2
2005	596.4	1236.9	35.1	3372.8	101.7	54.0	377.3	107.7
2006	638.6	1262.4	36.6	3385.0	90.3	100.4	352.4	118.0
2007	736.4	1310.4	45.7	3403.8	89.8	167.6	352.4	131.5
2008	784.2	1233.4	46.7	3372.7	71.5	349.6	377.7	148.9
2009	898.6	1186.9	60.0	3237.1	62.2	634.3	383.0	155.0
2010	1376.9	1087.8	64.8	3090.4	56.3	884.6	386.3	167.6
2011	1437.9	1034.1	73.0	2997.8	45.7	1140.9	404.6	183.7
2012	1677.9	374.1	84.6	3396.4	21.7	1260.0	417.1	192.3
2013	1806.1	370.4	93.0	3197.6	22.7	1572.5	425.0	203.2
2014	1955.1	367.9	104.9	3056.8	25.8	1775.0	410.1	237.0
2015	2005.4	335.8	117.0	2944.1	26.5	1939.7	409.2	248.1
2016	2163.1	315.9	124.9	2775.2	25.8	2138.6	398.4	250.2
2017	2313.2	278.1	122.1	2664.7	28.6	2275.8	406.9	250.7
2018	2541.2	568.0	104.0	2557.5	28.6	2431.0	386.2	251.0
2019	2616.3	338.7	148.6	2434.3	28.5	2400.4	382.4	252.0
2020	2936.3	338.7	151.4	2333.5	26.0	2449.4	381.0	253.0

投入产出系统总体弹性模量 $E = -1.0931$, 其中: 正效应投入 X_1 、 X_2 、 X_5 、 X_6 的 $E_1 = 0.6705$, 总体弹性模量占比 61.3%, 化肥施用量 X_7 的 $E_2 = 0.1159$, 总体弹性模量占比 38.7%; 负效应投入 X_3 、 X_4 的 $E = -1.8796$, 总体系统占比 -171.9%。可以看出, 总体弹性模量明显小于报酬递增临界度 1, 说明影响农业灌溉投入产出系统处于递减不和谐状态, 主要是由系统常规地面灌和喷灌引起的。产生正效应为化肥施

用量, 对农业产值有 38.7% 的贡献率, 最多表现为水利灌溉贡献率 61.3%, 其中: 渠道防渗 X_1 、低压管灌 X_2 、滴灌 X_5 和农业用水 X_6 因素, 在贡献率中的占比分别为 11.0%、24.3%、10.2% 和 54.5%, 可以看出, 农业用水量对产出影响最大, 其次是低压管灌和渠道输水灌, 但膜下滴灌的占比相对最小, 由此分析可知, 在水利投入与农业产出系统中, 膜下滴灌相对渠道和低压管道输水及农业用水量发挥作用相对小。分析结果提示, 新疆农业灌溉投入产出系统尚处不可持续状态, 膜下滴灌并不肯定认为是系统最佳节灌方式, 水资源有效利用及灌溉用水高质量发展尚有较大探索研究空间。

3.3. 膜下滴灌应用现状问题

新疆膜下滴灌从 1996 年试验示范推广至今已走过了 24 年历程, 为新疆水资源高效利用, 推进节水型农业发挥了重要作用。随着膜下滴灌推广应用一些问题陆续出现: 膜下滴灌小定额、灌水频次高, 灌水周期短, 灌溉运行能耗高, 耕作层以下水分贮量少, “土壤水库”效能未充分发挥[25] [26] [27]。实施较大灌水定额、减少灌次, 但由于膜下滴灌水由地表至下方式, 就会出现农田地表湿润面增大地表径流, 田间土壤水分蒸发和水资源过量消耗状况。膜下滴灌具有节水增产效应, 但大田机械耕作地膜破损回收率不高。地膜残留严重影响土壤水分分布, 造成作物根系生物量、根质量密度、根长密度等根系构型减小, 影响植株吸收水分及养分, 植株生长受限, 抗性弱, 易早衰, 作物产量及水分利用效率降低[28] [29] [30]。地膜覆盖保墒节水、减少杂草生长、促进作物提早成熟[31] [32], 但地膜聚乙烯类物质分子结构稳定, 长期积累土壤理化性质恶化及土壤水肥气热协调性下降。调研表明, 新疆地膜残留率高达 24%, 仅棉田每年就有 18 kg/hm^2 地膜残留土壤, 覆膜 20 年后土壤平均残膜量高达 300 kg/hm^2 [33] [34], 当地膜残留达 2000 kg/hm^2 时土壤碱解氮、速效磷含量下降 55% 和 60% [35], 残膜对作物产量负效应持续 16 年可抵消地膜覆盖增温保墒带来的全部增产效应[36]。针对地膜污染问题, 国内研究降解膜与普通地膜都有增温保墒、提升产量作用性能接近, 但降解地膜成本大完全降解技术风险使其应用不广泛[37]。现状农田真实情况是地膜破损严重, 采用机械回收田残膜含杂量较高, 残膜清理及再加工设备缺乏且技术不够成熟, 存在残膜清理加工企业较少等问题, 影响农田残膜资源化利用进程[38]。从长远看, 膜下滴灌地膜及残留问题不经济环保, 克服地膜污染、净化土壤、维护农田土地生产能力面临新探索。

4. 膜下滴灌改进发展方向

4.1. 渗灌独特的技术优势

渗灌是世界公认最具节水潜力发展前景灌溉方法[39] [40], 我国 80 年代引进渗灌技术, 21 世纪初进行过较多研究[41] [42], 渗灌主要问题是出流孔堵塞直接影响灌水均匀度、系统运行效益和使用寿命[43]。为此, 我国科研单位进行了多年研究取得了渗灌抗负压堵塞、流量均匀性和压力补偿性能较好的技术设计; 节水生产企业, 自主创新研制一些渗灌产品, 主要产品是将传统渗灌管改成渗灌带, 在防止淤堵、水流入渗、埋置深度方面改进, 为渗灌应用提供了条件。渗灌显著优势在于改善调节土壤水、肥、气、热状态, 为作物生长创造良好微循环条件[44] [45], 渗灌出流在农田耕作层 35 cm 及以下, 可减少地面土壤水分蒸发, 作物耗水层不同于地面自流灌和膜下滴灌, 主要集中在耕作层及以下, 根系分布深度集中在 30~60 cm [46] [47]; 土壤湿润体与作物根系协调有利于节水高产, 渗灌这一优势为无膜种植创造了条件。雷成霞等人[48]渗灌不同灌水定额无地膜棉花试验表明, 较大灌水定额有利于产量增加, 渗灌较大灌水定额与深层土壤贮水溶合, 减少灌水次数和灌溉定额, 有利于节水节能降耗。

4.2. 制约渗灌推广应用瓶颈问题

最具节水潜力渗灌技术应用萎缩不前, 制约推广应用发展主要瓶颈: 1) 渗灌装置部件埋在农田地表

以下, 长年运行时常发生毛管及灌水器堵塞(水质、负压或根系扰动)损坏问题, 一旦出现难以检修[49] [50] [51]。目前国内渗灌防堵塞技术已有改进, 但适应长期埋设耕作层环境滴头出水正常运行要求, 目前世界没有一劳永逸的渗灌滴头技术。2) 由于渗灌滴头难以多年使用, 毛管铺设量多工作难投入大施工复杂影响使用。3) 渗灌灌水器埋于耕层 30~40 cm, 渗灌水分在耕层自下而上浸润土壤, 表层 5 cm 左右土壤水分较少, 影响作物出苗生长[52]。由于生物学特性绝大部分种子播深 3 至 10 cm [53] [54], 种子需适宜深播满足种子萌发出苗对水分需要[55] [56] [57]。由此可见, 现有渗灌技术状态难以适应推广应用需要。国内外对渗灌研究更多集中在渗灌作物灌溉制度、生长指标、生理指标及土壤水分、环境适用性等方面[58] [59] [60], 尚未实施推广应用成熟技术。

4.3. 对不同灌溉模式的再认识思考

膜下滴灌灌水周期短、灌水频繁、用时长能耗高、定额小、土壤湿润层浅, 易形成地膜白色污染, 现有渗灌技术装备尚不能适应推广应用, 这需从现有灌溉技术方法中再认识思考探寻获得启发。由不同灌溉模式水分运行特征看出, 常规地面灌(沟畦灌; 波涌灌等)和微灌(喷灌; 滴灌; 膜下滴灌; 滴头埋农田 5 cm 左右浅埋式滴灌), 灌水及土壤水分运行遵循由地表至下路径和达西定律。虽然灌溉模式不同, 但田间灌溉水供给地表式、由表至下水分入渗本质未变。常规地面灌溉垂直和水平方向, 土壤水分深层渗漏和侧向湿润锋面宽速率快。喷、滴灌(膜下或浅埋式滴灌)局部湿润浅层灌垂直和水平方向, 灌溉水分入渗速率小耕层水分保持, 裸露土壤水分蒸发快, 铺膜层下积水土壤湿润锋小面窄。滴灌尤其是膜下或浅埋式滴灌, 耕层以下水分经土壤毛管上升至膜下凝结, 上部土层水分多于下层。常年使用膜下滴灌, 地膜残留土壤孔隙度降低, 土壤水分下渗速度减缓水分有效性减少[61] [62]。渗灌耕层渗透且非地表径流, 耕层及以下土壤水分点面发散运移, 土壤水分运行为达西定律与渗流湿润交互[63] [65]渗透速率平稳湿润面均匀, 表土相对干燥阻碍水分蒸发, 因此, 渗灌具有自身独特土壤水分“渗墒效应” [65]内涵: 1) 灌溉水耕层渗透调控不至于地表径流, 助于驱动少灌水频次, 增灌水周期, 适宜灌水定额, 减少灌溉运行时长, 以获得节水节能降耗效果; 2) 耕层及以下土壤水分点面发散式渗流湿润交互机制土壤贮水性, 助于作物根系深扎汲水生长; 3) 耕层及以下土壤水分渗透速率平稳、湿润面均匀利于作物水肥耦合; 4) 渗灌农田表土相对自然干燥减小土壤导水扩散及水分无效蒸发, 增加了土壤贮水保墒利于无地膜种植。由此形成“土壤贮水 - 水分转化 - 无膜种植 - 种子深播 - 少灌次大定额 - 节水节能降耗”综合效果, 为大田渗灌作物非地膜种植创造了重要条件。

5. 渗灌应用的关键技术架构

膜下滴灌与渗灌系统主题基本类同, 由水源取水首部(过滤器、施肥罐、控制设备)→供水管网(地埋主干管和分干管及工程设施)→田间灌溉设施(给水栓、地面支管、毛管滴头等)组成。膜下滴灌田间支管毛管和滴头为地表式, 渗灌为田间耕作层埋入式, 这是两者根本区别。膜下滴灌田间地表毛管及滴头一次性铺设回收作业技术成熟, 渗灌应用主要问题是田间灌溉设施为传统埋入方式, 架构渗灌田间灌溉设施埋入配套技术是关键问题。

5.1. 地表插入式渗灌方法

针对渗灌技术应用实际, 提出农田地表插入式渗灌方法(图 1): 1 为插入式渗灌农田地表输水毛管; 2 为作物种子播种深度及播种间距; 3 为渗灌插入式灌水器上部的出水滴头; 4 为渗灌插入式灌水器下部出水滴头。由图 2 看出, 将传统渗灌毛管及灌水器全部埋入农田耕作以下, 变成大田地表铺设方式, 集播种、施肥、毛管及灌水器一体化一次性农机作业完成。

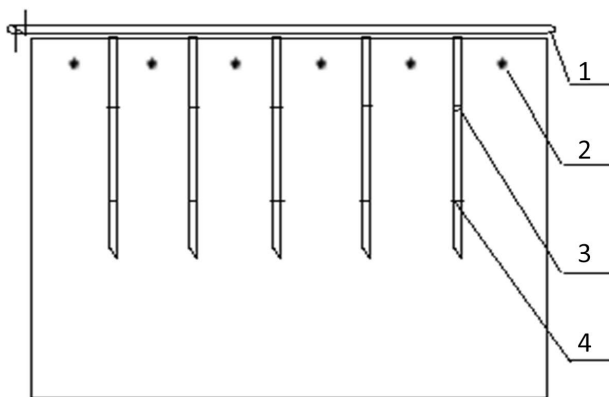


Figure 1. Insertion infiltration irrigation method for farmland surface
图 1. 农田地表插入式渗灌方法

由于渗灌毛管连接灌水器竖直插入土壤均为地表方式铺设，当年作物收后毛管及插入式灌水器可方便实施回收工厂再利用，有效解决了毛管及灌水器长期埋于地下运行出现堵塞损坏、检查处理、管理维护、材料回收及工程投入大等问题。渗灌插入式灌水器设有上、下两个出水滴头，上出水滴头位于插入式灌水器中部(地表以下) 15 cm，滴头流量较小 1.0~1.8 L/h，专门适于种子吸水萌发正常发芽出苗设计，且在种子发芽出苗滴水一次完成后，该出水滴头自动闭合。下出水滴头位于插入式灌水器下部，滴头流量较大 2.8~3.2 L/h。这样完全解决了种子发芽出苗生长，充分发挥渗灌水分深贮保墒、根系深扎汲取土壤水肥节水增效综合效能。

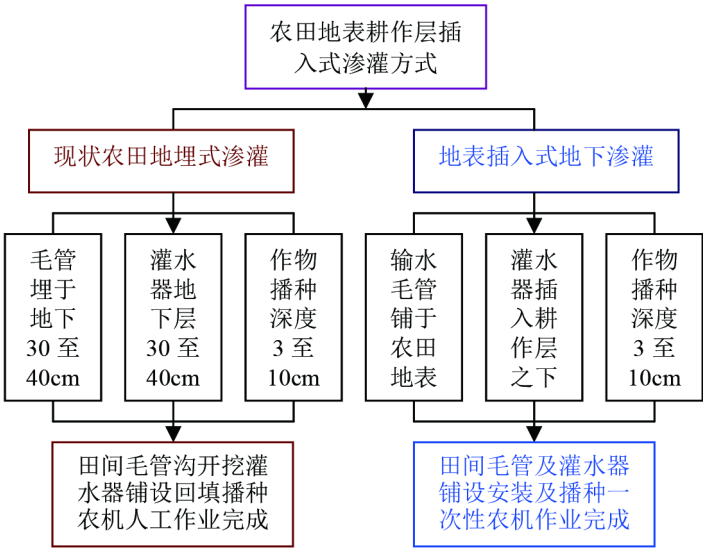


Figure 2. Comparison of buried and inserted infiltration irrigation in the field
图 2. 田间埋式及插入式渗灌对比

5.2. 插入式渗灌农机作业方式

渗灌毛管地面铺设及灌水器插入农田、播种一次性完成，关键是农机作业配套。地表插入式渗灌需解决 2 个问题：1) 铺设毛管及灌水器插入应全部为农机作业，从根本上解决人力投入大工作效率低问题。2) 协同处理解决好渗灌管材回收可持续利用问题。地表插入式渗灌整体考虑农机作业 3 个装置：田间输

水毛管地表铺设、毛管连接灌水器插入土壤、作物播种, 三种功能装置组合一次性完成毛管及灌水器铺设、播种作业。同时, 由于田间输水毛管铺设在农田地表, 输水毛管相连接灌水器插入安装土壤, 因此, 作物收获灌溉结束后, 毛管及插入灌水器一次性回收再利用, 从根本上解决现有全埋式渗灌管材回收不便和浪费污染等问题。

6. 结论

本文针对膜下滴灌灌水周期短、灌水频繁、用时长能耗高、定额小、土壤湿润层浅, 农田地膜白色污染生态环境恶化问题, 基于渗灌“土壤贮水-水分转化-无膜种植-种子深播-少灌次大定额-节能降耗”综合效应, 提出了农田地表插入式渗灌及农机配套技术, 为农业节水增效节能降耗环保高质量可持续发展找到了解决路径。

参考文献

- [1] 新疆气象局. 新疆气象资料 1950-2019 统计汇编[Z]. 2020.
- [2] 王忠, 周和平, 张江辉. 新疆农业用水定额技术研究应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- [3] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报[R]. 中国水利部网站, 2020.
- [4] 朱振锁. 自压喷灌主管的经济直径[J]. 喷灌技术, 1985(1): 4-7.
- [5] 周和平. 甜菜喷灌节水高效技术研究[J]. 节水灌溉, 1997(3): 15-18.
- [6] 张志新. 新疆微灌发展现状问题和对策[J]. 节水灌溉, 2000(1): 8-10.
- [7] 冯广志. 我国节水灌溉技术研究与推广[J]. 水利水电技术, 1998(10): 51-56.
- [8] 韩梅荣. 屯垦必须走节水型道路——访新疆生产建设兵团基建局副局长顾烈峰[J]. 中国水利, 1994(11): 45-47.
- [9] 赵云涛, 王新建. 膜下低压软管灌田间试验[J]. 石河子科技, 2002(3): 1-2.
- [10] 彭立新, 周和平, 白东明, 等. 波涌灌溉节水增产效果分析[J]. 节水灌溉, 2001(3): 22-23.
- [11] 谭明. 涌泉灌技术应用[J]. 节水灌溉, 2003(6): 24-26.
- [12] 周和平, 张江辉, 等. 蓄流分离式灌溉技术理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [13] 周和平, 张胜江, 赵春艳. 蓄流分离式灌溉新技术研究[J]. 中国科学(技术科学), 2009, 39(4): 814-820.
- [14] 张友良, 晁斌. 棉田浅埋式滴灌带铺设技术及产量效益[J]. 新疆农业科技, 2005(4): 2-3.
- [15] 马铁成. 不同灌水定额对准格尔盆地东北缘浅埋式滴灌苜蓿生长和产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2019(5): 127-130.
- [16] 周和平, 赵经华, 等. 渗墒灌溉节水降耗应用试验[J]. 中国科学(技术科学), 2019, 49(1): 76-86.
- [17] 李云开, 杨培岭, 任树梅, 等. 滴灌灌水器迷宫式流道内部流体流动特性分析与试验研究[J]. 水利学报, 2005(7): 886-890.
- [18] 王新端, 白丹, 宋立勋, 等. 基于流量对泥沙沉积敏感度的滴灌灌水器水力性能动态评价[J]. 农业工程学报, 2018, 34(15): 85-91.
- [19] 周和平, 徐小波, 兰玉军. 膜下滴灌条件下土壤水盐运移研究综述[J]. 节水灌溉, 2006(4): 8-10.
- [20] 袁寿其, 李红, 王新坤. 中国节水灌溉装备发展现状、问题、趋势与建议[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(1): 78-92.
- [21] 新疆水利水电勘测设计研究院, 等. DB65/T 3055-2010, 新疆维吾尔自治区大田膜下滴灌工程规划设计规范[S]. 乌鲁木齐: 新疆质量技术监督局, 2010.
- [22] 温浩军, 李亚雄, 陈学庚. 2BMD-20 膜下滴灌铺管铺膜播种机[J]. 新疆农机化, 2001(2): 23.
- [23] 新疆维吾尔自治区水利厅. 新疆水利统计汇编[R]. 2020.
- [24] 王雅鹏, 凌远云, 龙文军. 农业技术经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 58-65.
- [25] 孟春红, 夏军. “土壤水库”储水量的研究[J]. 节水灌溉, 2004(4): 8-10.
- [26] 冯江, 李道西, 陈思翌. 滴灌土壤水分运动研究进展[J]. 节水灌溉, 2011(9): 36-38.

- [27] 李全起, 刘孟雨, 董宝娣, 等. 农田深层土壤水利用现状与研究趋势[J]. 中国农学通报, 2007(9): 599-602.
- [28] 李显激, 石建初, 左强. 新疆棉花膜下滴灌技术存在的问题及改进措施——双层可降解膜覆盖与地下滴灌技术结合应用探讨[J]. 农业工程, 2012, 2(10): 29-35.
- [29] 林涛, 汤秋香, 郝卫平, 等. 地膜残留量对棉田土壤水分分布及棉花根系构型的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(19): 117-125.
- [30] 胡灿, 王旭峰, 陈学庚, 等. 新疆农田残膜污染现状及防控策略[J]. 农业工程学报, 2019, 35(24): 223-234.
- [31] Mahajan, G., Sharda, R., Kumar, A., *et al.* (2007) Effect of Plastic Mulch on Economizing Irrigation Water and Weed Control in Baby Corn Sown by Different Methods. *African Journal of Agricultural Research*, **1**, 19-26.
- [32] Mbah, C.N., Ezeaku, P.I., *et al.* (2007) Tillage and Plastic Mulch Effects on Soil Properties and Growth and Yield of Cocoyam (*Colocasia esculenta*) on an Ultisol in Southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, **93**, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.04.007>
- [33] 梁志宏, 王勇. 我国农田地膜残留危害及防治研究综述[J]. 中国棉花, 2012, 39(1): 3-8.
- [34] 严昌荣, 王序俭, 何文清, 等. 新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J]. 生态学报, 2008(7): 3470-3474.
- [35] 董合干, 刘彤, 李勇冠, 等. 新疆棉田地膜残留对棉花产量及土壤理化性质的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 91-99.
- [36] 毕继业, 王秀芬, 朱道林. 地膜覆盖对农作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008(11): 172-175.
- [37] 李文昊, 韩冬梅, 胡松可. 干旱绿洲区可降解地膜覆盖对滴灌棉田土壤水分和温度的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2020, 38(1): 63-68.
- [38] 梁荣庆, 陈学庚, 张炳成, 等. 新疆棉田残膜回收方式及资源化再利用现状问题与对策[J]. 农业工程学报, 2019, 35(16): 1-13.
- [39] 李向明, 杨建国. 微孔混凝土灌水器形状及其尺寸对流量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 130-136.
- [40] 蔡耀辉, 吴普特, 张林, 等. 无压条件下微孔陶瓷灌水器入渗特性模拟[J]. 水利学报, 2017, 48(6): 730-737.
- [41] 吕谋超, 彭贵芳, 杨跃辉. 地下滴灌应用试验研究[J]. 中国农村水利水电, 1999(1): 3-5.
- [42] 岳兵, 王留运. 国内首部《渗灌管企业标准》通过审定批准正式发布实施[J]. 节水灌溉, 2000(1): 1.
- [43] 李云开, 周博, 杨培岭. 滴灌系统灌水器堵塞机理与控制方法研究进展[J]. 水利学报, 2018, 49(1): 103-114.
- [44] Helms, T.C., Deckard, E.L., Goos, R.J., *et al.* (1996) Soil Moisture, Temperature, and Drying Influence on Soybean Emergence. *Agronomy Journal*, **88**, 662-667. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800040027x>
- [45] 王建东, 龚时宏, 马晓鹏, 等. 地下滴灌条件下水热运移数学模型与验证[J]. 水利学报, 2010, 41(3): 368-373.
- [46] 刘洪光, 郑旭荣, 王振华, 等. 地下滴灌不同灌水量对棉花耗水量和产量影响研究[J]. 节水灌溉, 2009(2): 11-13.
- [47] 王振华, 旭荣, 安俊波, 等. 新疆棉花地下滴灌应用发展对策[J]. 节水灌溉, 2008(10): 16-18.
- [48] 雷成霞, 王振华, 何新林, 等. 不同灌水次数对地下滴灌无膜移栽棉花生长发育和产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2010(8): 21-25.
- [49] 张增志, 王晓健, 薛梅. 渗灌材料制备及导水性能分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 74-81.
- [50] 高胜国, 张祖新, 齐学斌, 等. 新型抗堵塞地下灌溉系统技术方案[J]. 节水灌溉, 2001(4): 21-22.
- [51] 蔡耀辉, 吴普特, 朱德兰, 等. 粘土基微孔陶瓷渗灌灌水器制备与性能优化[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 183-188.
- [52] Yescas, C.P., *et al.* (2015) Yield and Quality of Forage Maize (*Zea mays* L.) with Different Levels of Subsurface Drip Irrigation and Plant Density. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, **84**, 272-279. <https://doi.org/10.32604/phyton.2015.84.272>
- [53] Sanusan, S., Polthanee, A., Seripong, S., *et al.* (2009) Seedling Establishment and Yield of Direct-Seeded Rice under Different Seeding Depths. *Khon Kaen Agriculture Journal*, **37**, 15-22.
- [54] Rebetzke, G.J., Bruce, S.E. and Kirkegaard, J.A. (2005) Longer Coleoptiles Improve Emergence through Crop Residues to Increase Seedling Number and Biomass in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and Soil*, **272**, 87-100. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-4040-8>
- [55] 岳丽杰, 文涛, 杨勤, 等. 不同播种深度对玉米出苗的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(5): 88-93.
- [56] 彭云玲, 杨芳林, 赵小强, 等. 不同玉米自交系耐深播能力的差异分析[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(1): 25-33.

-
- [57] 关小康, 杨明达, 白田田, 等. 适宜深播提高地下滴灌夏玉米出苗率促进苗期生长[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 75-80.
- [58] Valentín, F., Nortes, P.A., Domínguez, A., *et al.* (2020) Comparing Evapotranspiration and Yield Performance of Maize under Sprinkler, Superficial and Subsurface Drip Irrigation in a Semi-Arid Environment. *Irrigation Science*, **38**, 105-115. <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00657-z>
- [59] Fan, W. and Li, G. (2018) Effect of Soil Properties on Hydraulic Characteristics under Subsurface Drip Irrigation. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, **121**, Article No. 52042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/5/052042>
- [60] Irmak, S., Djaman, K. and Rudnick, D.R. (2016) Effect of Full and Limited Irrigation Amount and Frequency on Subsurface Drip-Irrigated Maize Evapotranspiration, Yield, Water Use Efficiency and Yield Response Factors. *Irrigation Science*, **34**, 271-286. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0502-z>
- [61] 周始威, 胡笑涛, 王文娥, 等. 春玉米不同生育期土壤湿润层深度调控的稳产节水效应[J]. 农业工程学报, 2016, 32(21): 125-132.
- [62] 张建军, 郭天文, 樊廷录, 等. 农用地膜残留对玉米生长发育及土壤水分运移的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(1): 100-102.
- [63] 李红, 罗金耀. 地下滴灌条件下土壤水分研究概况[J]. 节水灌溉, 2005(3): 26-28.
- [64] 孙连宝, 罗金耀, 李小平. 流量对地下滴灌土壤水分运动的影响研究[J]. 节水灌溉, 2012(9): 41-44.
- [65] 马雪琴, 吴淑芳, 郭妮妮. 农田覆膜对冬小麦土壤水热的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 342-347.