

低定额畦灌技术参数研究

阳晓原^{1,2,3}, 范兴科^{1,2}, 冯浩^{1,2}, 姜珊^{1,2,3}, 廖凯^{1,2,3}

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 基于有限水资源的农田补充灌溉, 以寻求不产生深层渗漏的节水型地面畦灌灌水定额为目标, 在陕西省杨陵区中壤土玉米地, 开展了畦田规格和灌水技术要素对灌水效率和灌水均匀度影响的田间试验。通过水流推进、消退过程、土壤水分变化的测定, 利用地面灌溉水流运动曲线拟合对畦灌条件下的最佳灌水技术要素组合进行了分析。结果表明: 畦田规格和灌水技术要素对灌水效率和灌水均匀度具有明显影响, 对于试验田块, 田面坡度为 1.5‰ 时, 入畦单宽流量控制在 3~ 6 L/(m·s) 范围内, 畦宽 2~ 3 m, 畦长 50 m 左右, 可达到较高灌水效率 ($Ea > 80\%$) 和灌水均匀度 ($DU > 80\%$), 并能将灌水定额控制在设计范围之内, 实现畦田的小定额灌溉。

关键词: 畦灌; 灌水均匀度; 灌水效率; 灌水定额

中图分类号: S274.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2009)02-0227-04

Study on Technical Parameters of Low Norm Border Irrigation

YANG Xiao-yuan^{1,2,3}, FAN Xing-ke^{1,2}, FENG Hao^{1,2}, JIANG Shan^{1,2,3}, LIAO Kai^{1,2,3}
(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A goal of seeking a low border irrigation quota not causing deep percolation was based on limited water resources supplementary irrigation of farmland. Field experiments were conducted in a medium loam in Yangling district Shaanxi province in the semiarid region to investigate the influences of border dimensions and irrigation variables on Application Efficiency (Ea) and Distribution Uniformity (DU). Study on the best combination of irrigation variables by the flow movement curve fitting of surface irrigation by measuring on soil moisture, the performance of water advance and recession. Results show that the border dimensions and irrigation inflow rate of unit width affected the Application Efficiency and Distribution Uniformity significantly. A low irrigation need the reasonable combination of border dimensions and irrigation variables. The optimization inflow rate of unit width, border wide and border length in field experiments at 1.5‰ border slope are in the rang of 3~ 6 L/(m·s), 2~ 3 m and around 50 m could ensure high efficiency ($Ea > 80\%$), Distribution Uniformity ($DU > 80\%$) and low irrigation quota.

Key words: border irrigation; distribution uniformity; application efficiency; irrigation quota

地面灌溉是目前应用最广泛的一种灌溉方法, 我国灌溉面积的 97% 仍为地面灌溉, 而且在相当长的时间内, 地面灌溉仍将占主导地位^[1-2]。地面灌溉虽是古老的田间施水技术, 但它目前仍是世界上特别是发展中国家广泛采用的一种灌水方法, 约占全世界灌溉面积的 90% 以上。我国在节水灌溉技术

方面, 由于工程设施不配套、管理粗放、与农业设施结合不够等原因, 平均灌溉水利用系数仅为 0.4 左右, 远低于国外发达国家水平^[3-7]。所以在我国水资源不足、农业灌溉用水效率低以及农村经济还比较落后的情况下, 我国农业缺水的问题在很大程度上还是要依靠节水予以解决, 如果采用先进的节水农

* 收稿日期: 2008-11-10
基金项目: 中国科学院重要研究项目“半干旱地区农业高效用水的生物学原理及其应用”(KZCX3-SW-444)
作者简介: 阳晓原(1982-), 男, 湖南邵阳人, 硕士, 主要从事节水灌溉新技术研究。E-mail: xyoyang@163.com
通信作者: 范兴科(1964-), 男, 研究员, 研究方向为节水灌溉新技术。E-mail: gjzfxk@vip.sina.com

业技术, 将全国已建成的灌区灌溉水利用系数增加 0.1~0.2, 则每年可节约灌溉水量 400~800 亿 m³^[8], 这对缓解我国水资源供需矛盾将起到很大的作用。而研究推广节水型地面灌水技术则是实现农业节水的有效途径。

传统地面灌溉存在的最大不足在于难以对灌溉过程进行较为精确的控制, 一般很难按照设计用水量对灌溉水总量进行控制, 特别是畦灌, 难以控制灌溉水在田块内的分布, 由此造成了传统地面灌溉的灌溉效果较差^[9]。根据实际调查, 陕西一些老灌区的畦长 80~100 m 时, 灌水定额一般在 1 200~1 500 m³/hm², 有些甚至更大, 远高于设计灌水定额。近年来随着农业用水资源亏缺日益严重, 有些科学家提出了节水目标更高的有限补充灌溉技术, 为了减少灌溉用水量, 确定与之相适应的灌水定额, 需要针对不同地区的自然、社会经济条件和农业生产状况, 确定畦田大小和相应的灌水技术要素。本试验旨在给定土壤、畦田坡度、单宽流量和改水成数的条件下, 不同畦宽和畦长组合下, 以均匀度和灌水效率为评价指标, 寻求最低均匀灌水定额。

1 评价畦灌质量的几个参数

(1) 评价灌水质量的指标主要有以下三个^[9-10]。田间灌溉水有效利用率 Ea 。表示灌溉水能被作物有效利用的程度, 见下图 1, 即:

$$Ea = A_1 / (A_1 + A_2 + A_3) \times 100\%$$
 (1)

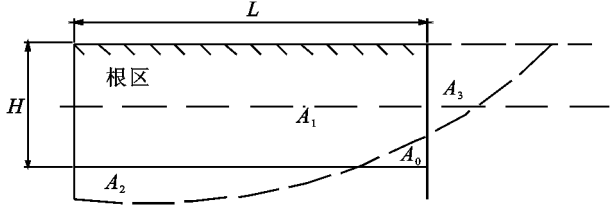


图 1 评价灌溉质量示意图

(2) 田间灌水均匀度 DU 。表示灌水后沿畦长方向入深水量分布的平均蓄水深度, 即

$$DU = (1 - \sum |\Delta H| / H_{avg}) \times 100\%$$
 (2)

(3) 田间灌溉水储存率 Es 。它表示灌溉水对所需水量的满足程度, 即:

$$Es = A_1 / (A_0 + A_1) \times 100\%$$
 (3)

式中: A_0 ——漏浇水量; A_1 ——畦长内所需的有效水量; A_2 ——深层渗漏量; A_3 ——畦尾渗漏量 n 为畦田内的测点数; H_{avg} ——畦田平均入深水深; ΔH ——各测点入深水深与平均入深水深的差值。

以上是灌水质量评价指标理论公式, 式中的各项参数在田间难以获得, 实践中经常采用如下形式

的灌溉水效率与灌水均匀度^[11]:

$$Ea = Z_{so} / D$$
 (4)

其中: $Z_{so} = (\theta_a - \theta_b) D_r$

$$DU = Z_{lq} / Z_{avg}$$
 (5)

式中: Ea ——灌溉水效率; DU ——灌水均匀度; Z_{so} ——入渗并存储在根层土壤内的平均水深 (mm); D ——进入田块的平均灌水水深 (mm); Z_{lq} ——沿田块长度方向上土壤受水最少的 1/4 畦段内的平均入渗水深 (mm); Z_{avg} ——是整个田块上的平均入渗水深 (mm); θ_a, θ_b ——根层内土壤灌水后、灌水前的平均体积含水量 (%); D_r ——根层深度 (mm)。

理想的灌溉要使灌溉水效率 Ea 、灌水均匀度 DU 、灌溉水储存率 Es 三项指标都达到较高的水平, 但由于这三个指标往往存在一定矛盾之处, 其中最关键的是灌水均匀度, 因为灌水均匀度较低必然导致灌水效率和储水效率两项指标不高, 因此生产中可把灌水均匀度作为评价地面灌水技术优劣的关键指标。

2 畦灌试验设计与方法

2.1 试验地概况

试验地选择在关中平原杨陵区多年耕种的田块, 土质基本均匀, 对田块进行平整, 使坡度基本均匀, 根据实际测量, 南北平均坡度 0.5‰, 畦长方向东西平均坡度 1.5‰ (表 1)。

2.2 畦田规格设计

根据畦灌调查结果, 本试验设计畦灌区的畦长分别为 30, 50, 70 m, 根据玉米的种植行距, 畦宽设计为 1.5, 2.8, 3.5 m, 组合成 9 个小区; 在小区之间设置隔离带, 防止侧渗; 畦埂宽为 20 cm; 在畦尾设置防渗板, 防止畦尾水分渗漏。

2.3 入畦流量的测定

用三角形量水堰测量灌溉水流量, 利用公式 $Q = ch^{5/2}$ ^[12] 计算, 式中: c ——堰流系数, 对该堰板取 0.014; h ——堰高, 试验测得平均堰高为 13.5 cm, 可得平均流量为 9.381 L/s。

2.4 畦灌灌水定额设计

试验设计在土壤水分达到田间持水量 60% 左右开始灌水, 取田间持水量的 90%~100% 为灌水上限。计划湿润层深度取 60 cm, 土壤容重为 1.34 g/cm³。利用公式(6)计算。

$$S_{MD} = (\beta_2 - \beta_1) \sqrt{R D}$$

式中: S_{MD} ——灌前土壤水分亏缺值即根区所需灌水量; β_2 ——灌水后的土壤水分 $\beta_{max} = \beta_{田}$ 田间持水

量, 为 24.3% (质量含水量); β_1 ——灌水前土壤水分, 设计为 $\beta_{田}$ 的 60%; γ ——土壤容重; R_D ——计划湿润层深度。由以上公式计算得出本试验的设计灌水定额应该在 684~ 781 m^3/hm^2 之间。

2.5 畦田水流推进过程测定

在畦长为 30, 50, 70 m 的畦田内, 沿畦长方向分别均匀布置 3, 4, 5 个取样点测定土壤含水率, 取样深度为 60 cm。分别于灌水前 1 d 和灌水后 2 天对各畦田用土钻烘干法进行土壤含水率的测定。灌水时进行水流推进和消退过程观测, 自畦田入口开始每隔 10 m 设置 1 个观测点, 记录水流推进和消退时间。对于宽度大于 2 m 的畦田, 沿畦长方向均匀布置两条水流推进与消退观测线, 取两条线的平均值作为水流推进与消退过程线, 本试验中灌水所有畦田的改口成数均为 0.9, 试验结果如下表 1。

表 1 畦灌田间试验分析表

小区 编号	畦长/ m	畦宽/ m	畦坡/ ‰	平均流量/ ($L \cdot s^{-1}$)	单宽流量/ ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)
1	30	1.5	1.7	9.381	6.25
2	30	2.8	1.7	9.381	3.35
3	30	3.5	1.7	9.381	2.68
4	50	1.5	1.5	9.381	6.25
5	50	2.8	1.5	9.381	3.35
6	50	3.5	1.5	9.381	2.68
7	70	1.5	1.3	9.381	6.25
8	70	2.8	1.3	9.381	3.35
9	70	3.5	1.3	9.381	2.68

3 结果分析

3.1 畦田水流推进规律

图 2 描述了灌水各畦田的水流推进过程线。从水流推进图中我们可以看出, 当供水量一定时, 水流推进速度随畦宽的增大而降低, 即随单宽流量的减小而减小; 畦宽相同也即入畦单宽流量相同时, 沿畦长方向相同长度处的水流推进线基本重合, 也即它们的水流推进速率相同, 这与理论上相符合。但其中的 1#、4#、7# 三条线之间间隔较大, 3#、6#、9# 之间的间隔最小, 也就是说随着畦宽的增大、单宽流量的减小, 他们之间的重叠程度变大, 水流推进的时间差距变大, 这可能是由于畦田的微地形对水流推进的影响造成的, 因为当流量一定时, 随畦宽的增大, 单宽流量变小, 水流推进速度也变小, 这样微地形对水流推进的影响也增大, 造成水流推进时间的差距也增大。

3.2 灌水定额与单宽流量、畦长的关系

从表 2 中我们可以明显地看出, 当单宽流量和地面坡度一定时, 灌水定额随畦长的增加而增大, 随畦长的减少而减小。畦长一定时, 灌水定额随着单宽流量的增加而减少, 反之则增加。在本试验的条件下, 畦田平均坡度在 1.5‰左右, 入畦单宽流量在 2.9~ 7 $L/(s \cdot m)$ 之间, 畦长小于 70 m 时, 灌水定额均未超过 1 000 m^3/hm^2 。其中, 畦长 30, 50, 70 m 的灌水定额分别保持在 700, 800, 900 m^3/hm^2 左右。经计算畦长 30 m 的分别要比畦长 50 m、70 m 的平均节水 9%、26% 以上; 畦长为 30 m 和 70 m 的灌水均匀度、灌水效率基本接近但相比畦长 50 m 的而言却普遍要低些。

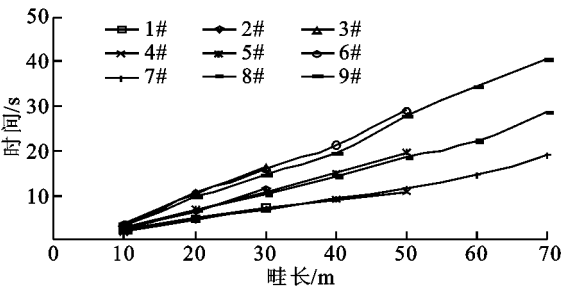


图 2 畦田水流推进过程线

表 2 畦灌灌水质量评价表

小 区	畦长/ m	畦宽/ m	单宽流量/ ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)	灌水定额/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	灌水均 匀度	灌水 效率
1	30	1.5	6.85	674.0	0.86	0.74
2	30	2.8	3.67	682.0	0.83	0.80
3	30	3.5	2.93	754.2	0.79	0.76
4	50	1.5	6.85	741.1	0.90	0.80
5	50	2.8	3.67	785.7	0.88	0.91
6	50	3.5	2.93	815.8	0.82	0.74
7	70	1.5	6.85	862.4	0.89	0.76
8	70	2.8	3.67	893.6	0.87	0.77
9	70	3.5	2.93	936.1	0.78	0.69

由表 2 中我们可以看到, 在本试验条件下, 灌水定额随着单宽流量的增大而有所减小, 但是随着单宽流量的继续增大, 其变化不是很明显, 曲线在后阶段趋于平行。结合设计灌水定额, 单宽流量以 3~ 6 $L/(s \cdot m)$ 为宜, 因为单宽流量太大, 虽然灌水定额相差较小, 但会引起畦田冲刷; 单宽流量太小, 灌水定额会增大。另外, 在流量一定的情况下, 灌水定额随畦长的增大而增大, 其中以畦长 50 m 左右趋于设计灌水定额。结合以上分析及试验地设计灌水定额, 取畦长为 50 m 左右较为合适, 这样灌水定额一般保持在设计灌水定额 781 m^3/hm^2 左右, 在保证

作物水分需求的同时,节省了水量又有较高的灌水均匀度和灌溉效率。

3.3 灌溉质量评价

灌水均匀度是评估一个灌溉工程或一种灌水技术方法质量好坏的重要指标之一,直接影响到作物的生长和产量。按照灌溉技术规范,灌水均匀度一般应达到 80% 以上,本试验通过畦长、畦宽对灌水均匀度、灌水效率影响的试验统计,得出在单宽流量分别为 2.93, 3.67, 6.85 L/(s·m),畦长、畦宽分别为 30, 50, 70 m 和 1.5, 2.8, 3.5 m 时的灌水均匀度和灌水效率见表 2。我们可以明显地看出:当畦长一定时,随着畦宽的增加,灌水均匀度呈减小的趋势,而灌水效率却有先增加后减小的趋势;随着畦长的增加,灌水均匀度却呈现先增大后减小的趋势。畦宽为 1.5 m、2.8 m 的灌水均匀度比畦宽为 3.5 m 的普遍要高,这主要是因为入畦流量、畦长一定时,随着畦宽的增加,单宽流量减小,水流推进速度也变小,这样畦田方向上水分入渗时间差就会变大而导致灌水均匀度的减小;而畦宽为 1.5 m、3.5 m 的灌水效率比畦宽为 2.8 m 的普遍要低些,这主要是因为,入畦流量一定时,如果畦宽较小,水流推进速度就会较大,灌水时间也就会变小,会造成水流冲刷畦田而使灌水效率变小,如本试验中畦宽为 1.5 m 的畦田都存在 2 m 左右的水流冲刷;而如果畦宽较宽,水流在畦首的入渗时间变长,造成深层渗漏,这样也会导致灌水效率较低。从以上可知,为了获得较高的灌水均匀度($DU > 80\%$)和灌水效率($Ea > 80\%$)、以及防止水流冲刷畦面,在入畦流量一定、田面坡度为 1.5% 左右时,畦宽以 2~3 m 为宜。

4 结语

影响畦田灌溉的因素很多,本试验仅结合试验资料进行了初步分析,以影响灌水量的主要因素流量、畦宽、畦长和灌水时间的关系为主,对其他因素如坡度、植被、土壤状况等仅仅是指出了适应的条件,所以本试验是在一定前提条件下得出的结论。

从以上分析,在田面坡度为 1.5% 左右的中壤土地,若采用畦灌技术进行农田灌溉,要想到达较低的灌溉定额,畦宽不宜太宽,一般不超过 3.5 m,以 2~3 m 为宜;畦长不宜过长,一般控制在 50 m 左右,这样在满足设计灌水定额($781 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)的前提下,在具有较高灌水效率和灌水均匀度的同时能保证较低的灌水定额 $785.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。这样既能满足作物水量需求,又达到了节水的目的。为推广节水型地面灌水技术,实现农业节水提供了新的依据。

参考文献:

- [1] 水利部科技司,水利部农水司,等.节水灌溉技术[M].北京:中央广播电视大学出版社,1999:52-53.
- [2] 贾大林.21 世纪初期农业节水的目标和任务[J].节水灌溉,2000(1):9-10.
- [3] 高俊才.以提高效益为中心因地制宜采取综合措施大力发展节水灌溉和旱作农业[C]//翟浩辉.农业节水探索,北京:中国水利水电出版社,2001.
- [4] 段爱旺,张寄阳.中国灌溉农田粮食作物水分利用效率的研究[J].农业工程学报,2000,16(4):44-44.
- [5] Mathew G, Connell L D. Border irrigation field experiment I: Water Balance [J]. Journal of Irrig. and Drain. Eng. ASCE, 2000, 126(2): 85-91.
- [6] 李援农,范兴科.畦田灌溉设计中存在的问题及处理方法[J].水土保持研究,2002,9(2):48-50.
- [7] 莫正涛,刘彦珍,董云德,等.畦田灌溉试验分析[J].中国农村水利水电,2004,9(3):9-11.
- [8] 隋家明.农业综合节水技术[M].郑州:黄河水利出版社,2006:1.
- [9] 史学斌,马孝义,聂卫波,等.地面灌溉的研究现状与发展趋势[J].水资源与水工程学报,2005,16(1):34-40.
- [10] 汪志农.灌溉排水工程学[M].北京:中国农业出版社,2000:5.
- [11] 许迪,蔡林根,王少丽,等.农业持续发展的农田水管理研究[M].北京:中国水利水电出版社,2000.
- [12] 吴持恭.水力学[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [13] 王文焰.波涌灌溉试验研究与应用[M].西安:西北工业大学出版社,1994.