

17-22
农田灌水方法及灌水技术的质量评估*林性粹¹ 王 智¹ 孟 文² 赵 莉² 范文智³ 沈清林³

(1 西北农业大学水利与建筑工程学院, 陕西杨凌 712100)

(2 甘肃省水利管理局, 甘肃兰州 730000)

(3 甘肃省武威地区农水处, 甘肃武威 733000)

摘 要 正确设计和实施灌水方法及灌水技术必须制订一套完整的质量指标和经济指标体系。目前分析评估和优化设计它们的常用质量指标均有缺点。本文依据对常用的三个田间灌水质量指标及其构成因素的分析, 提出了一个新的评估指标, 即田间灌水质量综合有效利用率, 可以代替原指标。阐明了其间的关系, 分析了新指标在各种灌水情况下的评估特征, 并于畦块灌水技术试验中予以验证。结果表明, 该新指标具有通用性、科学性及可操作性。

关键词 灌水方法, 灌水技术, 田间灌水质量评估, 优化设计, 田间灌水质量指标

中图分类号 S275.3

国外一些学者曾提出了多个分析评估农田灌水方法、灌水技术的田间灌水质量指标, 其中最常用的有: 田间灌水有效利用率、田间灌水贮存率和田间灌水均匀度^[1~5]。实践表明, 这些指标在生产实际应用中均存在一定的缺陷。本文依据对三个田间灌水质量指标及其构成因素的分析, 提出一个新的评估指标, 即田间灌水质量综合有效利用率, 以完善和改进现有分析评估和优化设计农田灌水方法、灌水技术的田间灌水质量指标。

1 目前常用 3 个田间灌水质量指标^[1~5]1.1 田间灌水有效利用率(E_e)

其定义为贮存于作物根系土壤区内的水量与灌入田间的总水量的比值, 即

$$E_e = (V_1 + V_4)/V = (V_1 + V_4)/(V_1 + V_2 + V_3 + V_4) \quad (1)$$

式中: V_1 为作物有效利用水量, 即作物蒸腾量; V_2 为深层渗漏水量; V_3 为田间灌水径流流失量; V_4 为蒸发量和漂移损失水量; V 为输入田间总水量, 单位为 m^3 或 mm 。见图 1。

1.2 田间灌水贮存率(E_s)

其定义为贮存于作物根系土壤区内的水量与该区所需要的总水量的比值, 即

$$E_s = (V_1 + V_4)/(V_1 + V_4 + V_0) \quad (2)$$

式中: V_0 为灌水量不足区域所欠缺的水量, 单位为 m^3 或 mm ; 其余符号意义同前。

1.3 田间灌水均匀度(DU 或 E_d)

其定义为田间灌溉水湿润作物根系土壤区或灌溉计划湿润土层深度的均匀程度, 或表征为田间灌溉水在田间分布的均匀程度, 通常用 Christiansen 均匀系数表示。

$$DU = 1 - \left[\sum_{i=1}^N |x_i - M| \right] / (NM) \quad (3)$$

$$\text{或 } E_d = 1 - \Delta\bar{Z}/M = 1 - (V_2 + V_0)/(V_1 + V_2) = (V_1 - V_0)/(V_1 + V_3 + V_4) \quad (4)$$

收稿日期: 1994-10-04

* 国家自然科学基金及甘肃省水利科学基金资助项目

式中: M 为 N 个测点的入渗水量平均值;
 X_i 为等面积测点的入渗水量; ΔZ 为灌水
 后各测点入渗水量离差绝对值的平均值;
 V'_1 和 V'_2 分别为田间平均入渗湿润深度
 以上区域的土壤贮水量及欠缺水量; V'_2
 为田间平均入渗湿润深度以下区域的土
 壤贮水量, 单位 m^3 或 mm . 其余符号意义
 同前。

如图 1 所示, $V'_1 + V'_2 = V_1 + V_2 + V_4$;
 若 $Z_d = \bar{Z}$, 则 $V'_1 = V_1 + V_4$, $V'_2 = V_2$, $V'_0 =$
 V_0 ; 式中, Z_d 为根系土壤区内所需要的入
 渗水量; $\bar{Z}$ 为田间实际灌水的平均入渗水
 量; 单位为 m^3 或 mm .

上述三项指标虽共同反映了灌溉对
 作物产量和水资源利用程度的影响, 但它
 们必须同时使用才能较全面地分析和评估某灌水方法、灌水技术或某田间灌水过程的灌
 水效果, 而其中的任一项指标都不能单独用作评估田间灌水质量优劣的标准。

目前, 农田灌水方法都选用 E_a 或 E_d 作为设计标准, 而实施田间灌水则采用三个指标
 评估。应用多项指标评估灌水质量的缺点是, 难以得到判断田间灌水优劣的清晰概念, 甚
 至指标间相互矛盾。为此, Blair 等人^[5]提出用一个专门作为地面灌水方法评估的指标。
 即

$$E_{d/e} = (V_1 + V_4) / (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_0) \\
= \left[\int_0^L Z dx - \int_0^{L_d} (Z - Z_d) dx \right] / \left[\int_0^{L_d} Z dx + \int_{L_d}^L (Z_d - Z) dx \right] \quad (5)$$

式中: $E_{d/e}$ 为地面灌水方法的田间灌水有效利用率, 表示贮存于作物根系土壤区内的水量
 占输入田间的总水量与欠缺水量之和的比值; Z 为入渗水量, 是沿田块长度 x 和宽度 y 的
 函数; Z_d 为根系土壤区内所需要的入渗水量, 当 $Z = Z_d$ 时, 作物生长发育最佳; 参见图 1。
 该指标在超量灌水时仍不能判别和区分蒸腾与蒸发两种作用的有效性。

2 田间灌水质量指标的构成因素

2.1 作物有效水量

主要指作物蒸腾和蒸发两部分水量。蒸腾直接影响作物产量, 实际上是作物主要的有
 效水量部分, 可通过田间试验或数学模型分析估算得到。虽然作物产量也可用蒸腾蒸发量
 估算, 但其中蒸发部分对作物产量形成的作用现还很难确定, 因此不宜笼统地用蒸腾蒸发
 量作为作物的有效水量因素。

2.2 深层渗漏水量

它在作物生长后期或可被作物再利用, 但因会造成肥料淋失和地下水位抬高, 而对作
 物和农业土地持续开发不利, 对合理灌溉可能产生误导影响, 因此视为田间灌水损失因
 素。

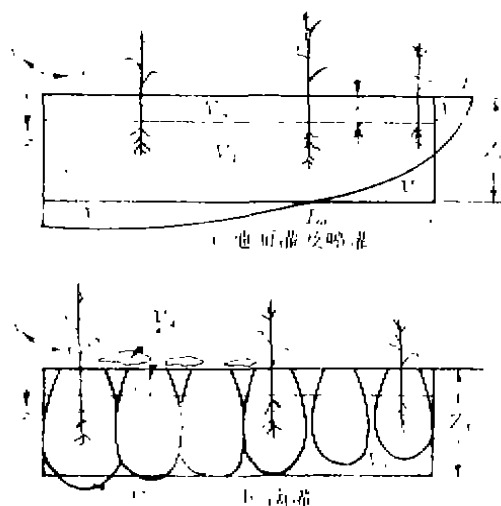


图 1 入渗剖面示意图^[3]

2.3 田间灌水径流流失量

指从田面流出灌水田块的水量。对该田块,它不能重复再利用,故是损失水量因素。

2.4 蒸发量和漂移损失水量

当叶面积指数较低时,土壤蒸发可占蒸腾蒸发量的很大比例,尤其是在土壤表面经常潮湿的情况下。灌溉水的蒸发和漂移(包括植株和叶面截留)一般都不能为作物所利用,且还随灌水方法、灌水技术的不同而变化显著。

3 田间灌水质量综合有效利用率及其分析

3.1 田间灌水质量综合有效利用率(E_e)

E_e 指标是:有效入渗水量(即蒸腾量)与有效入渗水量、深层渗漏量、田间灌水径流流失量、蒸发量和漂移损失量以及欠缺水量的总和的比值,

即 $E_e = V_1 / (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_0)$

$$= \int_0^B \left[\int_0^L Z dx - \int_0^{L_d} (Z - Z_d) dx - Le \right] dy / \int_0^B \left[\int_0^{L_f} Z dx + \int_{L_d}^L (Z_d - Z) dx \right] dy \quad (6)$$

式中: Z 为田块内任意点入渗水量, m^3 或 mm ; L 为田块长度, m ; L_d 为到 $Z = Z_d$ 点处的距离, m ; L_f 为水流推进长度, m ; e 为蒸发量和漂移损失量, m ; B 为田块宽度, m ; 见图 1。

式(6)中,若田块宽度 B 很小时,也可不对 B 进行积分,以使计算更简化。

式(6)与式(5)相比较,其优点在于蒸腾量是灌水期间和灌水后作物最主要的有效利用水量,蒸腾量可用下式计算^[6]:

$$V_1 = \alpha(V_2 + V_4) \quad (7)$$

式中: α 为蒸腾因子,即蒸腾量占蒸腾蒸发量与漂移损失量之和的比值。

将(7)式代入(6)式,可得到

$$E_e = \int_0^B \alpha \left[\int_0^L Z dx - \int_0^{L_d} (Z - Z_d) dx \right] dy / \int_0^B \left[\int_0^{L_f} Z dx + \int_{L_d}^L (Z_d - Z) dx \right] dy \quad (8)$$

式中符号意义同前。 E_e 指标可用于不同种类灌水方法、灌水技术间的比较与评估。但是,若用于地面灌水方法与喷灌法设计时, α 应取 1.0。因为,在确定它们的设计变量时应同时计及蒸腾量和蒸发量。对于滴灌设计,应取 $V_0 = 0$, 因为滴灌灌水频繁,而且如图 1b 所示的欠缺水量区并非发生作物水分胁迫的原因。对于既无深层渗漏又无径流流失和欠缺水量的理想灌水情况, E_e 指标是定值。当然,若无蒸腾量,则 $E_e = 0$, 即是裸地的情况。

3.2 E_e 指标与 E_a 、 E_i 、 E_d 等指标间的关系

将式(1)、(2)代入式(8),整理后有如下关系

$$(\alpha/E_e) = (1/E_a + 1/E_i - 1) \quad (9)$$

$$E_e = (\alpha E_a E_i) / (E_a + E_i - E_a E_i) \quad (10)$$

由式(9)、(10)可知:①若无欠缺水量区,即 $V_0 = 0$, 则 $E_i = 1$ 。表明,在充分供水的情况下,径流流失量和深层渗漏量均属有效水量时,其 $E_e = \alpha E_a$; 而且当 $\alpha = 1$ (意味着既无蒸发量,也无漂移损失量)时,则其 $E_e = E_a$; ②在不产生径流流失和深层渗漏的小定额灌水情况下,其 $V_3 = 0$, $V_2 = 0$, 即 $E_a = 1$, 则 $E_e = \alpha E_i$; 或用下式表示

$$E_e = \alpha(V_1 + V_i) / (V_1 + V_i + V_0) = \alpha[1 - V_0 / (V_1 + V_i + V_0)] = \alpha(1 - \Delta Z_d / Z_d) \quad (11)$$

式中: ΔZ_d 为根系土壤区所需要的入渗水量的平均偏差, 其余符号意义同前。

该式的 E_s 与式(4)的 E_d 性质完全相同。若 V_z 和 V_0 不为 0 时, E_s 与 E_d 也具有同样性质, 因为式(4)的 E_d 与式(8)的 E_s 均随 V_z 和 V_0 的减小而相应地增大, 反之亦然。若全部田块都有超量灌水(即 $V_0=0$)时, 用 E_s 或 E_d 表征田间灌水的均匀度将毫无意义, 此时应分析并找出产生超量灌水的原因, 以及由于灌水超定额可能产生的不良后果。③若无蒸腾量, 即 $\alpha=0$, 则 $E_s=0$, 是为裸地情况。④若 $E_s=E_d=1$, 且 $\alpha=1$, 属理想灌溉情况, 则其 $E_r=1$ 。

对应于各种灌水状态下的作物生长发育状况及其指标 E_s , E_d 和 E_r 值如图 2 所示。图 2a, 2b 和 2c 表示灌水不完全满足情况, 其 $E_s=100\%$, 故 $E_s=E_d$ 。图 2d, 2e 和 2f 表示合理的灌水情况, 此时 E_s 可用式(10)计算。图 2g, 2h 和 2i 表示超量灌水情况, 其 $E_s=100\%$, 所以 $E_s=E_d$ 。可见, E_r 是一个表征田间灌水质量与作物生长状况的优良田间灌水质量评估指标。

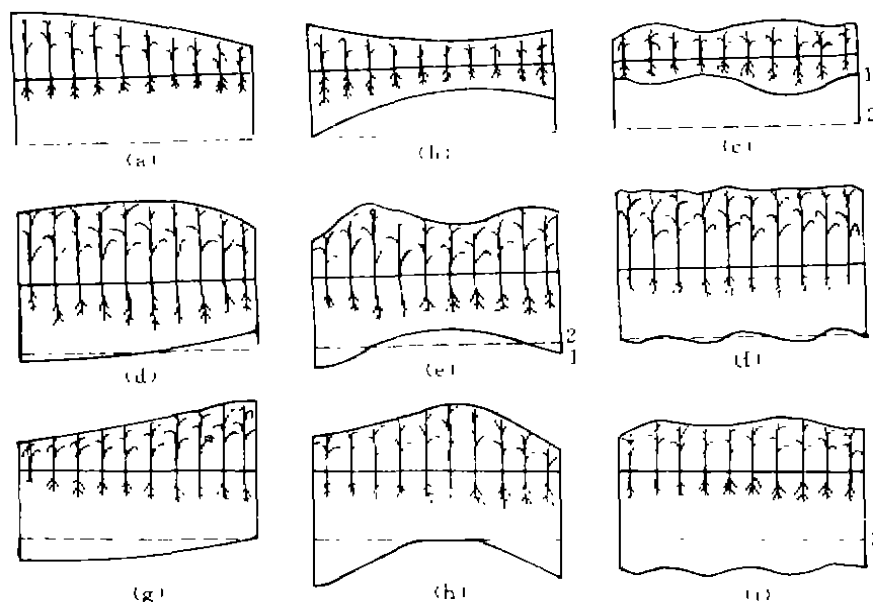


图 2 不同入渗剖面类型的 E_s , E_d 和 E_r 值 ($\alpha=1.0$)

1. 实际入渗水量线; 2. 计划需要的入渗水量线

指标(%)	a	b	c	d	e	f	g	h	i
E_s	100	100	100	80	85	95	80	75	60
E_d	80	50	40	90	80	95	100	100	100
E_r	80	70	60	85	75	95	90	75	95
E_s	80	50	40	73.5	70.1	90.5	80	75	60

3.3 蒸腾因子 α 和作物产量对指标 E_r 的影响

在充足供水条件下, α 主要受气候、作物及土壤等因素的影响, 其日变化值可通过田间试验或选用类似地区已有资料得到。据文献[7]报道, α 与 E_r 的关系, 为正相关关系。例如, 在作物生长初期, 采取土壤保水措施, 以提高 α 值, 同时可获得较大的 E_r 指标值。

由于 E_r 涉及深层渗漏量和欠缺水量, 且土壤蒸发不是作物的有效利用水量, 只有直

接影响产量和 E_s 的蒸腾量才是作物的有效利用水量,蒸腾量大, E_s 值高,则产量高,反之同理。因此, E_s 指标可应用于灌水方法、灌水技术设计和实施中,作为优化的目标函数。

3.4 E_s 指标在畦块灌灌水技术中的应用

据甘肃武威灌溉试验站有坡块灌灌水技术正交试验结果分析,各处理的 E_s 、 E_i 、 E_d 和 E_r 指标值如表1所示。由表1看出:①9个处理中,1处理的 E_s 值最高,与正交试验极差分析和方差分析结果相同。②在1,2($E_i=1.00$)和4,6($E_i=0.95$)处理中,1处理的 E_s 和 E_d 最大,其对应的 E_r 值也最高,说明用 E_s 指标可替代 E_s 、 E_i 和 E_d 三个指标。③4处理虽 E_d 值在9个处理中最大,但并非最优处理,而 E_s 正可表明这一结果。④处理1和5,3和9比较, E_s 指标可明确判明处理1和9比处理5和3稍优,避免了多指标判别中发生矛盾时难以评估的缺点。

表1 有坡块灌正交试验的 E_s 、 E_i 、 E_d 和 E_r 值

处 理	E_s	E_i	E_d	E_r	优劣顺序
1	0.81	1.00	0.97	0.81	1
2	0.73	1.00	0.95	0.73	4
3	0.67	0.80	0.95	0.57	7
4	0.78	0.95	0.98	0.75	2
5	0.82	0.88	0.93	0.74	3
6	0.69	0.95	0.88	0.67	5
7	0.56	0.87	0.86	0.52	9
8	0.71	0.67	0.89	0.53	8
9	0.67	0.93	0.90	0.64	6

又据甘肃古浪河灌区畦灌灌水技术试验处理分析可得到同样结果(见表2):①在12个处理中,处理1的 E_s 、 E_i 和 E_d 值最小,而处理6的各指标值最大,表明处理1最差,处理6最优,说明用 E_s 一个指标可以替代上述三个指标。②各处理灌水质量的优劣,完全可以用 E_s 值排序判别,而无需再繁琐的进行各指标间的相互比较。③处理10与处理7的 E_d 值相近,但处理10的 $E_s >$ 处理7,而其 $E_i <$ 处理7,相互矛盾,难以判别优劣。但由 E_s 值可明确判别处理7优于处理10。

表2 甘肃古浪河灌区畦水畦灌灌水技术试验结果

编号	E_s (%)	E_i (%)	E_d (%)	E_r (%)	优劣顺序
1	79.9	83.3	59.5	68.8	11
2	88.1	86.6	70.9	77.5	10
3	91.4	90.1	73.0	83.1	8
4	94.6	94.4	86.0	89.6	5
5	96.4	94.1	84.8	90.9	4
6	99.1	99.1	97.8	98.2	1
7	97.9	99.3	95.8	97.2	2
10	98.7	97.8	95.9	96.6	3
11	91.8	91.0	81.8	84.1	7
12	91.7	96.3	84.9	88.6	6
13	93.4	94.5	86.2	88.6	6
14	87.1	91.0	75.2	80.2	9

应当指出,对于良好的田间灌水,一般要求 E_s 、 E_i 、 E_d 均 >0.8 ,此时 $E_s=0.67$,也即

当 $E_s \geq 0.67$ 时,田间灌水质量是符合要求的。但是,如表处理 2,其 $E_s = 1.00$, E_d 仅为 0.73, $E_a = 0.95$,此时的 $E_s = 0.73 > 0.67$;表明该处理可能有深层渗漏或属超量灌水情况,此时应特别注意分析其 E_s 值的大小和 E_d 及 E_s 值的计算中是否包含有超量灌水或深层渗漏水因素影响在内。

参 考 文 献

- 1 林性粹.旱区农田节水灌溉技术.北京:农业出版社,1991
- 2 Hansen V E. *et al.* Irrigation principles and practices. 4th ed. New York: Wiley, 1980
- 3 Bos M G. Summary of ICID definitions on irrigation efficiency. *International Commission on Irrigation and Drainage*, 1985, 34(1): 28~31
- 4 Holzapfel E A, Marino M A, Chavez-Morales J. Performance irrigation parameters and their relationship to surface-irrigation design variables and yield. *Agricultural Water Management*, 1985, 10: 159~174
- 5 Walker R W, Skogerboe G V. Surface irrigation: Theory and practice. New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1987
- 6 Blair A W, Smerdon E T. Unimodal surface irrigation efficiency. *J of Irrig. and Drain Engrg*, 1988, 114(1): 156~168
- 7 Ritchie J T, Johnson B S. Soil and plant factors affecting evaporation, In: Stewart B A, Nielsen D R ed. *Irrigation of agricultural crops*. Madison: Wisconsin, 1990

A Qualitative Evaluation of Irrigation Methods and Irrigation Techniques of Farmlands

Lin Xingcui¹ Wang Zhi¹ Meng Wen² Zhao Li² Fan Wenzhi³ Shen Qinglin³

(1 Department of Water Conservancy and Architectural Engineering,
Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi, 712100)

(2 Bureau of Gansu Provincial Water Conservancy Management, Lanzhou, Gansu, 730000)

(3 Department of Wuwei District Water Conservancy
Administration, Wuwei, Gansu, 733000)

Abstract A complete evaluation system for the water quality indexes and water economic norms should be worked out for the correct design and application of the on-farm irrigation methods and irrigation techniques. The current water quality indexes of analytical evaluation and optimum design all have some defects. According to the analysis of the current three water quality indexes and their formation factors, a new evaluation index, termed as the Comprehensive Efficiency of On-farm Water Quality, is put forward for the purpose of replacing the original indexes. The relationship between this new index and the former three indexes is expounded, and the evaluation feature of this new index is analysed for all irrigation conditions. The experiment conducted with the border irrigation techniques indicates that the comprehensive efficiency index is superior compared with the former three indexes.

Key words Irrigation method, irrigation technique, water qualitative evaluation, optimum design, on-farm water quality index