

农业用水有效性研究

WATER USE EFFICIENCY IN AGRICULTURE

许越先 刘昌明 J. 沙和伟 主编
科学出版社

序

干旱是一个世界性问题，干旱和半干旱耕地约占世界总耕地面积的43%，涉及到50多个国家和地区。全世界的灌溉面积约占耕地总面积的18%。随着人口增长和工农业生产进一步发展，水资源日趋紧张。如何把有限水资源用好，已经成为旱作农业和灌溉农业共同关注的问题。为此，很多国家都投入大量科技力量，开展农业用水有效性研究，取得了一系列进展。其中以色列是这个领域的研究和技术应用比较好的国家之一。中国和以色列两国科学家联合举行农业用水有效性研讨会，是具有重要意义的一件事。

由于工农业的迅猛发展，人口不断增加，因此，中国是一个水资源相对不足的国家，秦岭、淮河以北的15个省、市、区缺水尤为严重。50年代以来兴建了一系列水利工程，地表水和地下水开发程度较高，如华北的海滦河流域，地表水水利工程供水能力已占河川径流可利用量的86%，地下水开采量占地下水补给资源的87%。靠开发当地新水源进一步扩大灌溉面积的可能性不大，而远距离从长江调水到黄河以北，近期又难以实现。因此，提高农业用水有效性，建立和推广节水型农业，使有限水资源发挥更大的效益，既是行之有效的措施，也是保持农业稳定发展的一项战略对策。

中国北方的农业用水，从整体上看是紧缺的，但从某些局部地区看，因用水不合理、不科学，浪费现象严重，水的利用率较低。农业节水尚有很大潜力。近年来，地学、农学、生物学和水利、土壤等多学科的力量，围绕提高农业用水有效性这个中心课题，进行了多方面的研究，开发了多种节水技术，使部分地区节水潜力得到有效利用。在基础研究、应用研究和节水技术等方面已取得了长足的进展。

中以两国科学家，通过广泛的交流和深入的研讨，加深了学术上的了解，对双方都是有益的。将研讨会的论文报告编辑出版，将进一步推动两国研究工作的进行，有利于农业持续发展。

李振声

一九九〇年十月

前 言

本文集是1991年4月22—24日由中国科学院地理研究所和以色列科学与人文科学院驻京联络处共同主持，在北京召开的“农业用水有效性研讨会”的会议论文集。以色列的节水灌溉技术，特别是滴灌技术在世界上是领先的，中国在农业水利用效率研究方面亦有长期的研究基础，因此，在中国科学院和以色列科学与人文科学院之间开展“农业用水有效性”这一领域的学术交流是必要的，无疑将对节水农业的发展起推动作用。

本文集汇集了中以科学家在农业用水有效性领域近几年的研究成果，侧重涉及以下三个方面：(1) 作物对灌溉水的响应；(2) 灌溉的环境效应；(3) 农业发展的现代灌溉技术；主要包括作物需水量、水分利用效率、灌溉的生理生态反应、灌溉的环境负效应、节水灌溉技术、优化灌溉、低质水的利用、农业水资源的联合利用、墒情监测以及海水入侵等。全文集共收集论文26篇，其中以方科学家的论文7篇，中方科学家的论文19篇。可供农学、水文学、气象学、生态学和地理学等方面的科研人员及大专院校师生参考。

参加本文集编辑工作的有吴凯等，图件的清绘工作是由中国科学院地理研究所及大地科技开发公司叶池、周熙澄、崔小芝、陈俊华等完成的，特此致谢。

编 者

目 录

序.....	李振声 (i)
前言.....	(ii)
黄河下游平原农业水资源联合利用.....	刘昌明 (1)
作物生产中低质量水的利用——一些主要问题.....	J. 沙和伟 (9)
华北平原的透水种植问题.....	左大康 (29)
以色列的灌溉——过去的成就, 现在的挑战, 未来的展望.....	G. 斯坦黑尔 (35)
华北平原灌溉水的利用率和灌溉对环境的影响.....	许越先 (45)
华北地区非充分供水条件下的冬小麦优化灌溉.....	罗远培 (52)
华北平原冬小麦水分利用率研究.....	由懋正 王会肖 (68)
春小麦对有限灌水的生理生态反应.....	山 仑 邓西平 张岁岐 (75)
桃树叶水势的调控及其对生长量的影响.....	雷廷武 曾德超 (81)
封丘地区小麦产量对供水量的响应.....	陈志雄 (87)
黄淮海平原禹城地区农业水利用效率研究.....	吴 凯 (90)
冀中平原缺水盐渍区冬小麦耗水量与水分利用率的试验研究	王新元 刘孟雨 刘晓楠等 (94)
荒漠区的绿洲节水农业.....	李述刚 程心俊 (101)
海岸带含水层的海水入侵模型: 理论及应用.....	G. 戴干 (103)
节水农业技术体系与途径研究.....	贾大林 司徒淞 庞鸿宾 (112)
确定农田和果园需水的综合蒸腾测量和气象学计算方法.....	Y. 科恩 (120)
中国农田蒸发研究概况与进展.....	谢贤群 (127)
与作物种类和土壤特性有关的农田灌溉系统的设计.....	U. 沙尼 (138)
田间土壤水分的监测和预报.....	杨诗秀 雷志栋 (150)
喷灌管理与优化.....	E. 布勒斯奈 (157)
滴灌是中国干旱地区灌溉技术发展的方向.....	邱为铎 (176)
滴灌工程——中国节水农业的重要组成部分.....	姚振宪 (179)
新的节水增产灌溉技术——麦棉套膜上灌.....	司徒淞 张 薇 贾大林 (183)
华北平原农业水资源利用中的主要环境问题.....	任鸿遵 (189)
发展节水农业与土壤盐渍化防治.....	尤文瑞 (194)
污水灌溉: 以色列的经验.....	Y. 埃维利麦拉亨等 (200)

黄河下游平原农业水资源联合利用*

刘 昌 明

(中国科学院 地理研究所)
(国家计划委员会)

一、引 言

在黄河下游两岸,约有 180 余万公顷农田为引黄灌区。由于河水利用的限制,实际灌溉面积少于灌溉工程设计的面积。而且,在靠近河道和引水渠边地区,由于不适当的灌溉和河水侧渗,存在着土壤次生盐化的威胁,而远离水源的地区灌溉供水常常难以保证。因此,首先应解决在节水灌溉条件下实际灌区可能得到引黄水的有效利用问题,并且使灌溉土地上的次生盐渍化或盐分问题得以控制。根据以上问题应当考虑发展包括地表水、地下水、有效降雨与土壤水在内的农业水源的联合利用,这对靠近渠道附近农田的土壤盐分控制和远离渠道农田灌水的保证均具有重要的意义。

二、水分转换

水循环中的水分转换包含一系列复杂水文过程,如大家熟知的降雨径流 (RS)、蒸散发 (E)、下渗和包气带与饱水带中的地中水补给 (EP 和 FS) 等,其复杂性表现在一系列水文相态的转化上 (图 1)。图 1 显示了农田系统的水分转化。

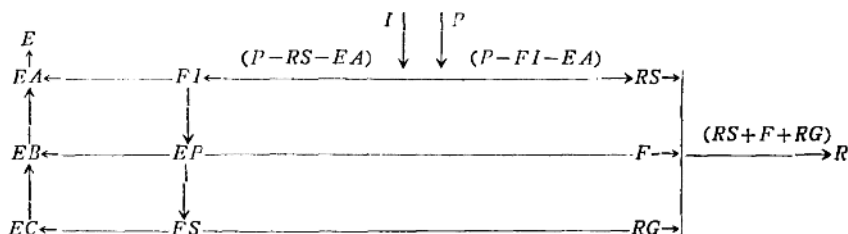


图 1 农田集水区的水量转化图

其中 I 表示灌溉水,即系统的人为输入,另一输入为降雨 (P)。输出是地表径流 (RS)、地下径流 (RG)、壤中流 (F) 和蒸散发 (E)。而蒸散发 E 又由三部分组成,即地表滞水蒸发 (EA)、土壤水蒸发 (EB) 和上升到包气带的地下水蒸发 (EC)。很显然,作为地中蓄水补给的 FI 和 FS 为系统的中间变量。这些水在农业水资源管理中的调控和有效利用将具有很大意义。地中水在研究中既关键又重要,它不仅在水分转换过程中举足

* 本研究属国家自然科学基金资助项目。

轻重, 而且为农业水最优联合利用提供了重要条件。

1. 有效降雨及其转化

有效降雨(EP)指的是那部分能转换成土壤水的降雨(P)。对一次降雨事件($P \gg 0$), 有如下等式:

$$EP = P - RS - FS - EA \quad (1)$$

式中 EA 是降雨过程中地表的直接蒸发; FS 是补给地下水的渗漏水; RS 是地表径流, 此项只用于降雨强度超过下渗率的情况。由此可看出, 土壤墒情与 EP 密切相关, 可用下式计算:

$$W_{t+1} = W_t + EP_t - (EB - EC)_t \quad (2)$$

考虑式 (1), 有

$$W_{t+1} = W_t + P_t - RS_t - F_t - FS_t - E_t \quad (3)$$

这里, W_t 是时刻 t 前期土壤含水量, F_t 是通过土壤层的壤中流, $E_t = EA_t + (EB - EC)_t$ 。对土壤墒情进行连续计算, 我们有如下方程:

$$W_{t+2} = W_{t+1} + P_{t+1} - RS_{t+1} - F_{t+1} - FS_{t+1} - E_{t+1}$$

$$W_{t+3} = W_{t+2} + P_{t+2} - RS_{t+2} - F_{t+2} - FS_{t+2} - E_{t+2}$$

$$W_{t+n} = W_{t+n-1} + P_{t+n-1} - RS_{t+n-1} - F_{t+n-1} - FS_{t+n-1} - E_{t+n-1}$$

对上述方程求平均值, 得

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t+n} W = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t+n-1} W + \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t+n-1} P - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t+n-1} (RS + F + FS + E) \quad (4)$$

显然当 $n \rightarrow \infty$, 有

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t+n} W - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t+n-1} W = 0$$

和

$$\bar{P} - \bar{RS} = \bar{E} + \bar{FS} \quad (\text{当 } F > 0) \quad (5)$$

令 $\bar{P} - \bar{RS} = \bar{FI}$, 它是进入土壤的平均下渗水量, 于是

$$\bar{FI} = \bar{E} + \bar{FS} \quad (6)$$

方程 (6) 显示了下渗水 FI 与蒸散发 E 和补充地下水的渗漏水 FS 之间的水文状态转换。 E 代表农田作物或植物耗水, FS 代表地下水补给。知道其中任意两个量, 便可求第三个量。于是有

$$\bar{E} = \bar{FI} - \bar{FS} \quad (7)$$

和

$$\bar{FS} = \bar{FI} - \bar{E} \quad (8)$$

在黄河下游沿岸灌区, 一年两熟作物的净灌溉定额的年平均水深约相当 350mm。这个值包括 FI 与 FS 在内, 详见表 1。

表 1 水量 FI 的转化计算 (以黄河下游齐河为例)

水 转 换	FI	FS	E	备 注
水量 (mm)	858.3	168.4	689.9	$P=580$ $RS=71.7$
比 例 (%)	100.0	19.6	80.4	$I=350$

2. 田间蒸发 (E) 和地中水

农田蒸发可以利用不同水源。从水文状态来看, E 可以是土壤表层水的蒸发 (EA), 地表下土层的蒸发 (EB) 和地下水上升的排泄 (EC), 如图 1 所示。

$$E = EA + EB + EC \quad (9)$$

这样的蒸发过程具有复杂的蒸发条件: 在土壤水饱和的表层, EA 等于蒸发能力 (PE), 而 $EB = 0$, 于是 $EC = 0$; 而若表层供水不充分, 蒸发 E 将要利用表层以下的土壤水, 这种情况下的蒸发则由土壤层含水量 (WA) 和蒸发能力来决定:

$$E = PE \left(\frac{WA - WK}{WF - WK} \right)^m \quad (10)$$

这里, WF 是土壤田间持水量; WK 为调萎含水量; m 为参数, 其值在 1.25 到 1.70 间

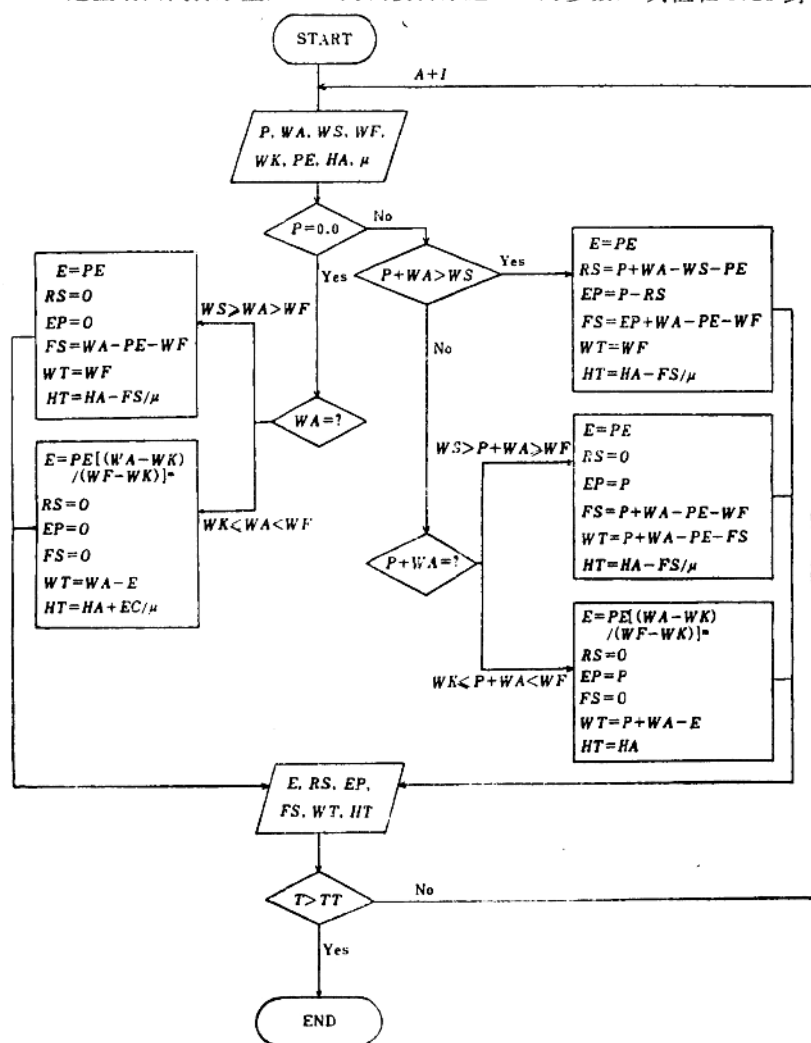


图2 水分转换模型框图

变动, PE 为潜在蒸散发或蒸发能力。

至于地下水上升排泄 (EC), 可用下式计算:

$$EC = PE \left(1 - \frac{H}{H_0} \right)^n, \quad (H \leq H_0) \quad (11)$$

式中, H 为地下水位, 定义为地表以下的地下水埋深; H_0 为 $EC = 0$ 时的地下水埋深, H_0 在华北平原取值为 4.0m; n 为指数, 介于 1—3 之间。

当 H 小于 H_0 , 我们可用下式估计地下水位, 即

$$HT = HA + EC/\mu \quad (12)$$

式中, μ 为土层给水度, 对黄河下游平原的大多数地区来说, 平均为 0.04—0.06, 因土质的不同取不同的值。

3. 农田水转换模型

农田水分的有效利用是建立在降雨、地表径流和地中水 (土壤水和地下水) 之间相互转换的基础之上的。根据黄河下游平原的降雨、土质和田间地下水埋深等实际情况, 作者提出了一个模型, 如图 2 所示, 用以模拟田间的天然水量转换。

模型的输入是 P 、 PE 、 H 、 WA 等因时而变的变量; 土层物理常数是 WS 、 WF 、 WK ; 模型参数是 m 、 n 、 μ ; 输出是 E 、 RS 、 EP 、 FS 、 WT 和 HT 。

若在田间进行农业生产, 上述模型的输入输出还应加上灌溉和排水。这种情况下, 原系统的蒸散由作物需水量 (ET) 代替, 降雨 P 就应考虑灌溉水或补充灌溉量 (I), 图 3 显示在一个实际灌区对冬小麦进行模拟的结果。

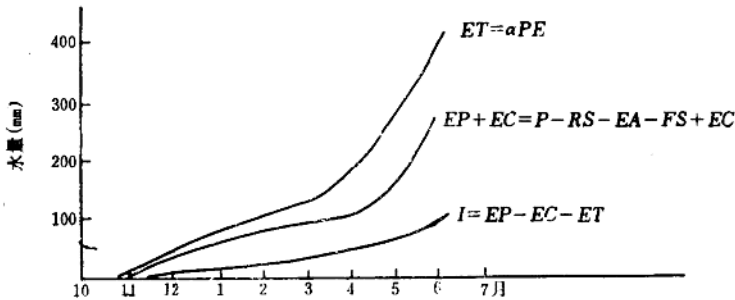


图3 小麦生长阶段的农田水分平衡 (山东禹城)

三、农业水资源的联合利用

在通常情形下, 农业用水包括田间降水、地表水、土壤水和地下水。其用水不同于工业和城市用水, 后者是通过引水或抽水方式从地区重力蓄水中获得可以提引的地表水和地下水。因此各种田间水的联合利用不论是对节水农业, 还是对农田环境完善管理都具有深远意义。

1. 农业水联合利用

所谓农业水联合利用, 其目的是;

(1) 为了最大限度地利用可能得到的田间天然水,以增加当地水的有效利用,灌溉水管理的原则应该是为弥补降雨的不足而利用地面水。换句话说,灌溉水的提引是一种补充。

(2) 为农业水资源的永续利用,地下水抽水量必须与补给量相应。即必须考虑到地下水的更新。

(3) 为了使灌溉负效应为最小,必须考虑灌溉的环境影响,防止土壤盐碱化。这是黄河下游平原水资源调控利用的目的之一。在这种情况下,灌溉系统必须与排水系统配合。

(4) 在上述有效地控制水资源中,我们必须注意地下水埋深不仅仅是农田用水中一个致关重要的因子,而且也是一个能为人类所控制的变量。在黄河下游平原的水资源优化利用中,有如下7个有控制意义的地下水埋深:

- 1) 从降雨中接受最大补给的地下水埋深 (H_m), 当 $H = H_m$ 时, FS 有最大值;
- 2) 地下水的零补给埋深 (H_0), 当 $H = H_0$ 时, $FS = 0$;
- 3) 地下水不能参与蒸散发的埋深 (H_d), 即 $H = H_d$ 时, $EC = 0$;
- 4) 地下水量补给与排泄平衡的埋深 (H_e), 即 $H = H_e$ 时, $FS = EC$;
- 5) 地下水具有最大的 ($FS - EC$) 值时的补给最大净增埋深 (H_g);

6) 土壤次生盐化的临界埋深 (H_c), 在此埋深之上,盐分可通过毛细作用随地下水上升到土壤表层;

7) 作物产量最佳的地下水埋深 (H_p)。

对这7个地下水埋深指标,在黄河下游平原从事研究工作的水文学家、水文地质学家、农学家或土壤物理学家都进行过一些实验观测与调查。作者根据资料的分析,给出了一个分析图(图4),用以说明它们之间的相互关系。

图4表明,适宜的地下水埋深应在 H_e 之下,临界深度 (H_c) 和作物产量最佳埋度 (H_p) 应大于 H_c ,一般小于 H_m 。根据黄河下游平原区的观测资料可知, H_c 、 H_m 和 H_g 的大小主要取决于土壤质地的情况,如表2所示。

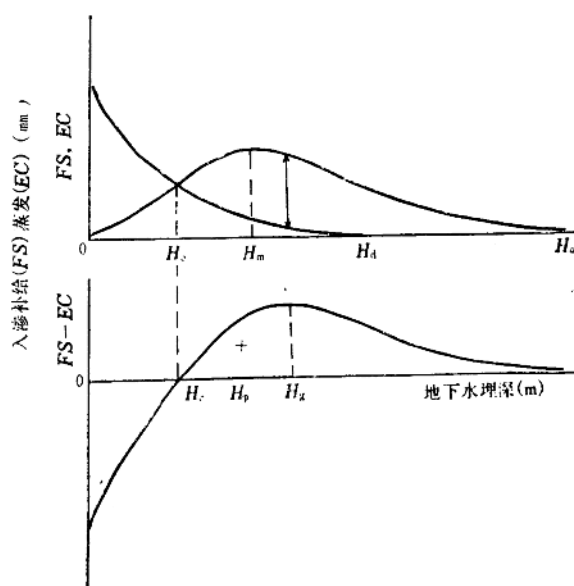


图4 地下水埋深不同的农田水分转换

表2 不同土质条件的 H_0 , H_m , H_g 值

土 质	粘 土	粘 壤 土	壤 土	砂 壤 土
H_0 (m)	2.00	2.10	1.85	1.75
H_m (m)	2.0—4.0	2.5—4.0	2.0—4.5	2.0—2.25
H_g (m)	3.75	3.5	3.5	3.5

2. 模拟条件和原则

(1) 本模型建在如下条件之上: ①灌区已经有地面水引水和地下水抽水的基础性设施; ②农业水由有农民参与的、得力的权力机构进行管理; ③灌溉工程具有基本的调查观测资料。

(2) 联合利用的水源包括降雨、地表水、土壤水和地下水。为了满足作物耗水量, 避免次生盐碱化, 在实际研究中必须考虑如下三种情况:

1) 当地下水埋深高于 H_c , 灌溉就不应采用地表水引提水方式, 而应代之以开采地下水。在这种情况下, 地表水不参与联合利用。

2) 当地下水埋深位于 H_c 和 H_0 之间时, 灌溉时首先应考虑开采地下水来满足 ET , 然后再考虑用地表水。

3) 当地下水埋深低于 H_0 , 应当用地表水灌溉来满足 ET 。

3. 联合用水模型

按照上述原则, 为了联合利用各种水源以及包括提引当地河水和引黄河水在内的地表水, 我们建立了如下数学模型。

用水成本最小的模型目标函数是:

$$Z = \min \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{1+r} \right)^i C_{i,j} IW_{i,j} \quad (13)$$

这里 $IW_{i,j}$ 是在时间 i 提引 j 种水源的水量; $C_{i,j}$ 是单位水量费用, r 是相应时间 i 的利率。效益分析的目标函数为用水净效益为最大, 即

$$Z = \max \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{1+r} \right)^i (B_{i,j} - C_{i,j}) IW_{i,j} \quad (14)$$

式中 B 是效益。

对应于上述的地下水埋深的三种情况, 即

1) $H < H_0$

2) $H_c < H \leq H_0$

3) $H > H_0$

目标函数 (13) / (14) 具有不同形式。所以 (13) / (14) 式的变量和参数也由此作相应变化。目标函数 (13) / (14) 式一般应满足如下约束方程:

(1) 水量平衡方程:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N IW_{i,j} = kA[ET_i - (P - RS)_i - (W_{i-1} - W_i) + (H_{i-1} - H_i) / \mu] \quad (15)$$

这里 A 是灌溉面积, μ 是地下水给水度; k 为换算系数

(2) 作物需水量 (ET)

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N IW_{i,j} \geq k \cdot A \cdot (ET_i - EP) \quad (16)$$

(3) 水量提引能力 (RC)

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N IW_{i,j} \leq \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N RC_{i,j}$$

$$(4) \quad IW_{i,j} \geq 0$$

4. 应用与结果

一般说来,上述模型适用于具有各种各样水资源条件的华北平原的所有地区,但本文仅就山东省的齐河和禹城两县为例。该二地区由于离黄河下游河道很近,引水灌溉得天独厚。其它远离黄河地区则引水的保证程度较低,存在着地区间用水的矛盾。通过水联合利用模型配水,这些地区间的用水冲突可望通过区域水的最优化配置得到缓和。

模拟结果表明,所谓水联合优化利用,指的是在降水较多的年份主要利用当地的地表和地下水,而在降水较少的干旱年份则以引黄为主,如表3所示。

表3 优化配水方案

年 份	年降水量 (mm)	各种水资源利用比例		
		地下水(%)	当地地表水(%)	引 水(%)
1976	747.7	42.0	36.7	21.3
1977	655.8	29.0	36.7	33.6
1978	433.6	0	30.7	69.3

由于水的优化利用,近水源地区节省下来的引水量可以送到离水源较远的区域,这对缓解用水矛盾是十分有利的。

在所研究的区域,由于受河岸侧向渗透的影响,地下水埋深较浅,水量相当丰富。在许多地势低洼的地方,土壤盐碱化问题比较普遍存在,所以上述模型的计算,主要应考虑的是,使地下水埋深(H)大于地下水临界埋深(H_c),即

$$H \gg H_c$$

从而避免盐渍化,以达到对农田环境进行完善的管理。通过对典型年份(1976—1978包括丰水年和枯水年)进行运算的结果可知,在丰水年(1976年,年降雨747.7mm),地下水位为2.1m,在平水年(年降雨为433.6mm),地下水埋深为2.5m。可见联合调度使这些年份的地下水埋深均控制在临界埋深($H=1.7-1.9m$)以下。

从经济上来看,水资源联合利用模型得出的优化结果是:控制盐分的费用将随着抽取地下水灌溉而降低。所以通过水资源联合利用控制盐分的净效益远远超过单纯通过抽排地下水来控制盐分的效益。具体说,前者的成本仅是后者的1%左右。

四、结 语

(1) 农业生产需要用水,这些水可隶属于不同的水文变量如大气水、地表水、土壤水、地下水以及作为跨流域跨地区输入的客水。所有这些水,众所周知,相互间可进行转化。所以水的联合利用必然会提高农业用水的效益。

(2) 水量转换的重要性不仅表现在它为联合利用提供了理论上的依据,而且在于经

济上可完善地控制农田以避免盐渍化。通过对研究区域进行的调查和试验观察,可以发现地下水位与水转换中的各个子系统有关,可定义不同调控意义的地下水埋深。 H_g 是地下水资源持续利用的控制因子,而 H_c 是灌溉系统环境完善管理的控制因子。

(3) 为了使水转换系统和灌溉管理的用水系统最优地结合起来,有必要发展联合利用模型。从模型运算初步得到如下结果:①作为农业水资源的具体组分的大气水、地表水、土壤水和地下水,彼此应该按照年际的气候条件进行控制;②灌溉节水可望通过合理利用当地水资源来实现,也就是说,可以适当减少引水量而充分利用有效降雨和当地地下水;③土层里的盐分可以通过控制地下水埋深得到有效控制,即保持地下水埋深低于 H_c ,这是农业水联合利用模型目标函数的主要限制条件。

(4) 灌溉供水的效益将随着控制土壤盐分的费用的减少而增加。经过计算,在灌区通过农业水资源联合利用控制土壤盐碱化的费用减小。联合调度水资源可以比单一抽排地下水控制盐分措施的费用低得多。

参 考 文 献

刘昌明、任鸿遵:水量转换,实验与计算分析,科学出版社,1988。

刘昌明、魏忠义:华北平原的农业水文与水资源,科学出版社,1989。

李宝庆:华北平原的水资源开发的环境变化和对策,水资源开发的环境影响,科学出版社,1990。

O' Mara, G. T., Duloy, J. H., Modeling Efficient Conjunctive Use of Water in the Indus Basin, A World Bank Symposium on Efficiency in Irrigation, edited by G. T. O' Mara, U. S. A., 1988.

作物生产中低质量水的利用

——一些主要问题

J·沙和伟 (Joesph Shalhevet)

一、引言

灌溉在世界农业当中变得越来越重要了。大规模灌溉主要集中在干旱与半干旱地带,但在半湿润地区进行补充灌溉也是很普遍的。灌溉发展的水平可以反映作物生产发展的水平。但是,这种高水平能够持续的时间是一个有待研究的问题。从历史上看,似乎灌溉在许多地区都最终失败了。主要原因是当时社会所具有的知识和技术不能解决灌溉引起的一些问题。

毫无疑问,土壤盐化是灌溉农业中限制作物生产水平的最广泛最普遍的问题。所以,在近代农学的研究中这个问题引起了科学界的注意。在过去的六七十年当中积累了大量的资料。这些资料有助于了解一些机理和开发一些针对这些问题的技术。如果能够明智地加以应用,我们目前具有的知识是足以解决因不适当的灌溉和排水所造成的盐渍化问题的。虽然已经知道了很多,盐渍化问题仍有许多方面不够清楚或存在错误认识,同时也需要开发更多的技术。

下面的内容主要对利用劣质水当中的机理性问题的解答进行一个简单的总结。本文不打算对这方面的文献进行综述。

我们所说的内容有一部分可能已被资料数据清楚的证实,有一部分是属于理论上推测,还有一些是已经被新认识所取代的过时的东西。

有三个使微咸水灌溉不同于普通灌溉的特殊因素。不对这三个因素加以考虑可能造成不良后果,甚至导致彻底失败。

(1) 根据耐盐性选择适宜的作物和耕作系统。

(2) 通过管理措施防止盐分在土壤中积累。

(3) 采用先进的灌溉排水技术。

所有这些因素中最重要机理是淋溶。

淋溶可以认为是微咸水灌溉成功与否的关键,它控制着土壤中盐分积累的所有方面(浓度、沉淀、交换和溶解),同时影响对排水要求的程度和地表水、地下水的水质。淋溶

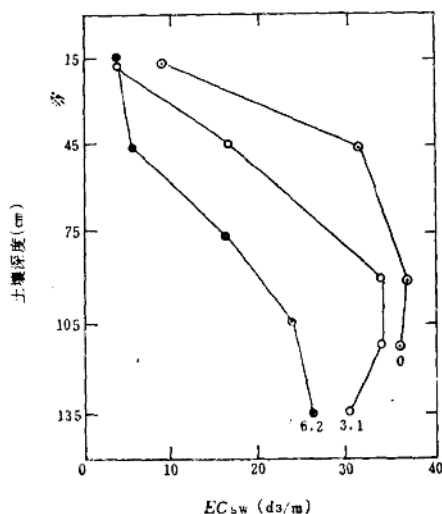


图1 在利用含盐为 2ds/m 的水时,在低于盐分平衡限度的情况下,减少 LF 对根层盐分积累的影响。图中曲线下的数字为 LF (van Schilfgaarde 等, 1974)

与作物的反应也有紧密的联系。

盐分积累过程与蒸发过程有紧密的联系。土壤水被作物吸收或从土壤表面蒸发掉，这样就把盐分留在土壤中并产生盐分积累。盐分的最大积累量由其溶解常数决定。这一含量只有在以蒸发失水过程为主的地方的土壤表层才有可能出现。当最大可能积累量出现时根系仍然能够吸收水分。控制淋溶可以使这一含量出现在根层下部。减小淋溶强度不会增加含盐量，只会使盐分积累的深度减小，同时使根层深度不断减小(图1)。因此，最大的土壤盐分允许积累量是取决于具体作物的耐盐性的，而不是取决于淋溶作用(LF)。

二、灌溉水含盐量对作物的影响

1. 标准的耐盐程度分级在不同条件下都适用吗？

目前多数所能得到的有关作物对盐分反应的报告是关于标准稳定条件下研究的结果，图2—5是根据 Maas 1984 年在美国 Salinity 实验室和其他地方得到的研究数据得出的。这些数据用土壤饱和提取液的电导率反映土壤含盐量，并分析了它与相对作物产

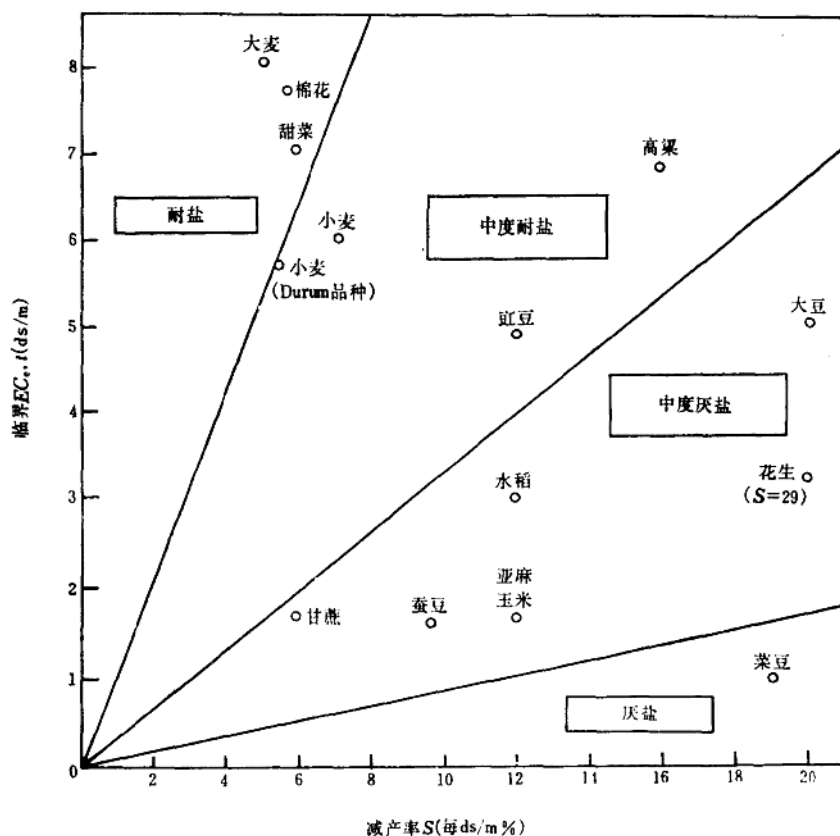


图2 不同作物耐盐性

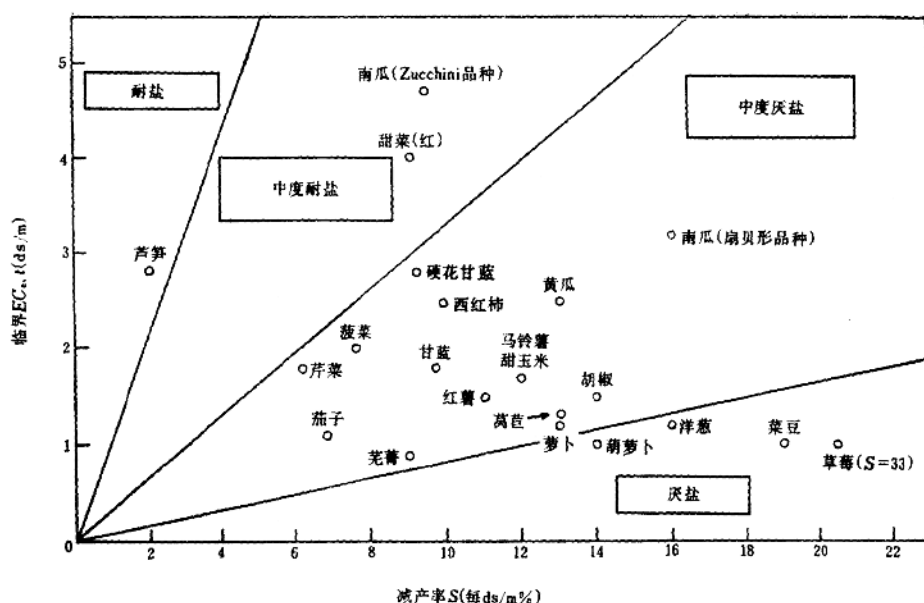


图3 不同作物的耐盐性

量的关系。可用下列等式表示其数学关系： $Y_r = 100 - (EC_e - t)S$ ，其中 t 是产量开始下降的临界含盐量， S 是当盐分增加时的产量下降率。 Y_r 是用百分比表示的相对产量。 EC_e 是用饱和提取液电导率表示的含盐量。耐盐性是由最大值和直线斜率决定的。耐盐作物如棉花、大麦、甜菜和芦笋具有较高的临界值和较小的斜率，但厌盐作物如菜豆、洋葱、胡萝卜和草莓具有低临界值和较大的斜率（图6）。

这些数据是在稳定的条件下在可采用的作物品种上取得的。这些条件是：盐分随深度均匀分布，随时间的变化很小，充分供水（强淋溶），并采用大水漫灌。开始时作物是在淡水条件下长成的。

结论：可能有几个因素对盐分反应曲线有影响。但是现有的资料可用来作一个初步的估计。在实际条件与获得这些资料的条件有实质上的差别时，这种估计也有一定的可靠性。

2. 在利用耐盐程度的分级时必须考虑哪些因素，这些因素的重要性如何？

具体的问题包括如下几点：

- 1) 生长季盐分的变化是怎样影响盐分反应曲线的？
- 2) 盐分在根层和空间上的分布是怎样影响作物生长的，它们综合效果是什么（由什么决定有效盐分影响）？
- 3) 气候（温度和湿度）是怎样影响盐分效应的？
- 4) 土壤因素对作物耐盐性有影响吗？不同含水量土壤的含盐量数值如何相互换算？

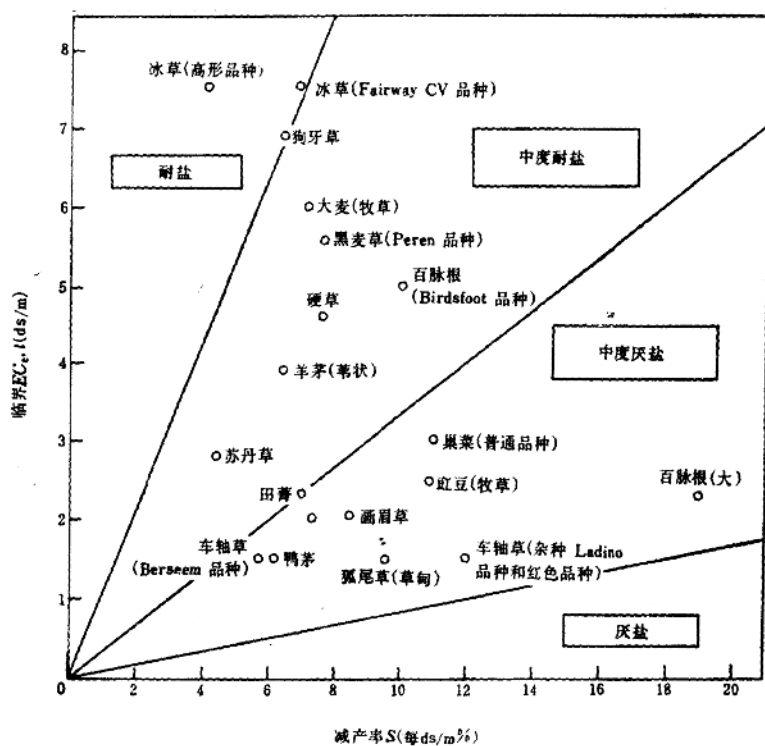


图4 不同作物的耐盐性

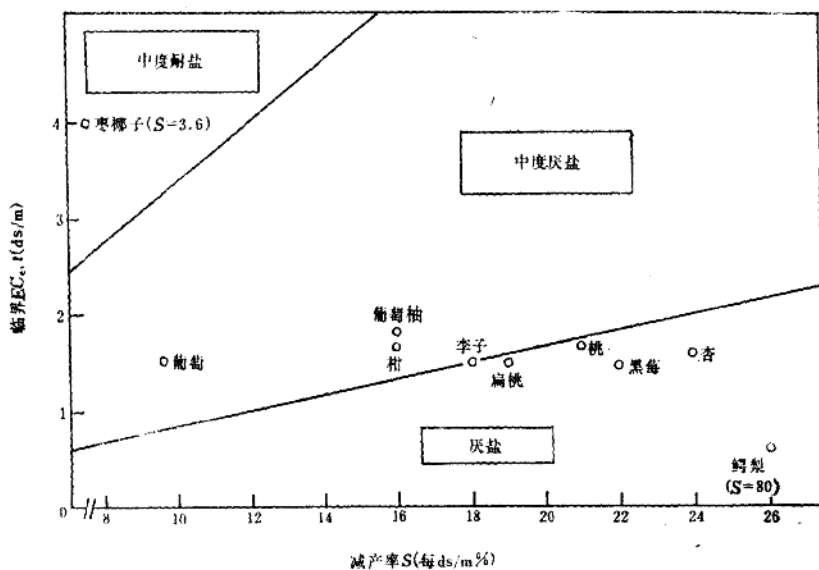


图5 不同作物的耐盐性

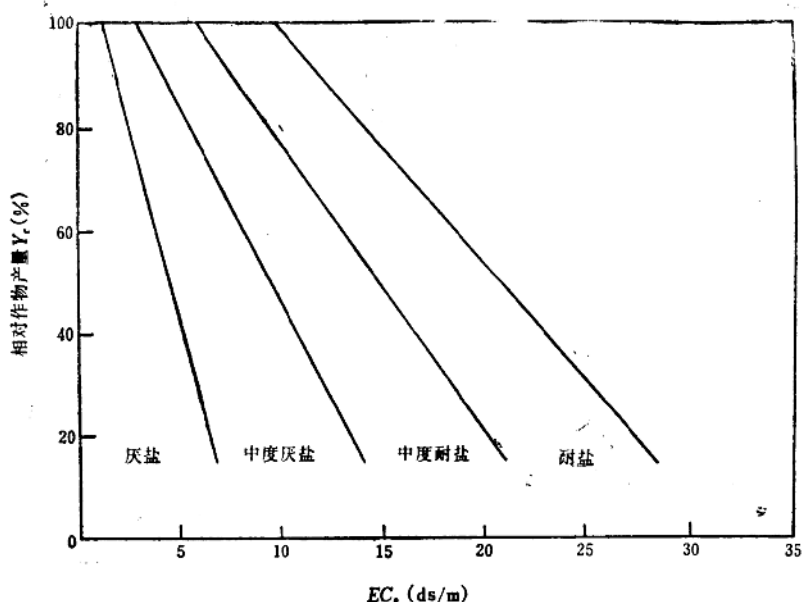


图7 EC_e 对相对作物产量 Y_r 的影响

5) 品种对实验结果影响的程度? 怎样通过育种改变耐盐性?

对这些问题的解答如下:

(1) 对时间变化和生长阶段变化的考虑。对盐分最敏感的植物生长阶段是苗期。对大多数农作物确是如此。例如, 在高含盐量情况下, 花生可以正常发芽, 但幼苗生长受到严重限制 (Shalhevet, 1974)。如果在出苗后遇到中度盐分条件, 中度耐盐的西红柿生长将受到阻碍 (Pasternak, 1983 年)。水稻分蘖期比晚期生长阶段对盐分更敏感 (Bernstein 和 Pearson, 1954)。玉米的成穗期比其它生长阶段更怕盐分 (Maas 和 Hoffman, 1983)。花生在灌浆期最怕盐 (Lauter 和 Meiri, 待发表)。

许多研究谈到生长的敏感阶段。对这些研究的进一步分析可以说明作物反应事实上与根系接触盐分的时间有密切联系 (Kadah 和 Ghawal 1965 年对玉米的研究; Greenway 1965 年对大麦的研究; Meiri 和 Poljakoff-Mayber 1969 年和 Lunin 等 1961 年对菜豆的研究) (图7, 8)。

结论: 由于土壤盐分随时间变化是逐渐进行的, 在初步估计时, 可以把不同时间盐分的平均值当做作物接触的有效盐分。要得到更确定的结论需要进行更严密研究。

(2) 在根层和空间盐分的不均匀分布。对根层的有效平均盐分问题有一些相矛盾的观点。这些相矛盾的观点可能是由于对这一重要问题的实验途径的不同引起的。对于一种作物来说, 如果根系是在盐渍化出现前建立的而且根系分布是均匀的, 反应程度将与盐分平均值有关 (Shalhevet 和 Bernstein, 1967 年、Bower 和 Ingvalson 等 1976 年对苜蓿的研究; Shalhevet 等 1964 年对花生的研究; Kirkham 等 1969 年对小麦的研究)。如果根系在生长过程中随盐分变化, 在盐分低的地方, 也就是吸水最多的地方, 具有较高的相对生长重量 (Bernstein 和 Francois 1978 年对苜蓿的研究; Bingham 和 Garber 1979 年