

灌溉水污染 及其效应

白 瑛 张祖锡 编著

北京农业大学出版社

灌溉水污染及其效应

白瑛 张祖锡 编著

北京农业大学出版社

1988

灌溉水污染及其效应

白 璞 张祖锡 编著

北京农业大学出版社出版

(北京市海淀区圆明园西路二号)

北京农业大学印刷厂印刷

新华书店首都发行所发行

850×1168毫米 大32开本 10.375印张 277千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数：5000册

ISBN 7-81002-088-9/X·89

定 价：4.00 元

前 言

水是生命不可缺少的要素之一，是人类生活与生产活动不可缺少的资源，是人类社会赖以生存的物质基础。随着工业化和现代化的发展，地表水和地下水体遭受污染的程度已引起各国的重视。上述被污染的水引灌农田，必然对作物生长和人类健康造成严重的危害。《灌溉水污染及其效应》阐述了引起灌溉水遭受污染的物质类型、特性及其对灌溉水物理、化学及生物组成特性的影响，以及进入农田环境后对土壤和作物产生的影响和调控措施。全书共分六章，其中包括：水资源概况与水性质；灌溉水质污染指标与标准；离子态有害物质及其效应；重金属污染及其效应；有机污染物及其效应；城市污水灌溉及其处理与利用。在附录中编汇了水质污染的主要表格索引、计量单位换算、主要几种水质标准与水质分析方法。编写此书的目的在于使广大读者能较全面认识灌溉水质的特性，污染物质的迁移、转化规律，及其对农田环境的危害，进而掌握有关污染防治的机理、维护良性农业生态环境、提高作物产量和品质的技术要点。研究对象主要是地表水、地下水以及城乡各种废水等灌溉水。

由于我们水平有限，书中不妥之处谨请读者批评指正。

编 者

1988.7

内 容 简 介

水资源紧张和污染日益成为世界性的问题。灌溉水质的优劣直接影响到农田生态环境、人体健康和农畜产品的产量和品质。本书主要介绍了我国水资源与水体污染概况；灌溉水污染的主要类型；影响水质理化性质的污染物指标、标准及其评价；阐述了离子态有害物质、重金属与有机污染物三大类污染物在灌溉水环境中的迁移、转化和积累规律，及其对土壤和作物的效应，提出了有关参数在农业实践中的运用及污染防治措施。

本书可供从事农、林、土壤、水利、环保等专业的大专院校师生及有关专业的科技工作者参考。

目 录

第一章 水资源概况与水性质	(1)
第一节 水资源概况.....	(1)
一、 水资源分布与水循环.....	(1)
二、 人类活动对水的需要.....	(4)
三、 水资源状况.....	(9)
第二节 水的性质.....	(15)
一、 水的分子结构与极性.....	(16)
二、 水分子氢键缔合.....	(19)
三、 水的异常特性.....	(21)
第二章 灌溉水质指标和标准	(27)
第一节 灌溉水质的污染.....	(27)
一、 灌溉水质污染状况.....	(28)
二、 灌溉水的污染源.....	(37)
第二节 灌溉水质与水质指标.....	(41)
一、 灌溉水的物理性质及其指标.....	(42)
二、 灌溉水中主要的化学污 染物质及其指标.....	(45)
三、 主要重金属及其指标.....	(55)
四、 灌溉水的其他性质.....	(58)
五、 影响灌溉水质变异的因素.....	(60)
第三节 灌溉水质标准、评价与研究.....	(61)
一、 灌溉水质标准.....	(61)
二、 灌溉水质的评价.....	(64)

三、 灌溉水质的研究.....	(66)
第三章 灌溉水中离子态有害物质及其效应.....	(78)
第一节 灌溉水中离子态有害物质的来源与特性.....	(78)
一、 灌溉水中离子态有害物质的来源.....	(78)
二、 离子态有害物质及其特性.....	(80)
三、 离子态物质的盐分组成与组合.....	(87)
第二节 灌溉水的盐度与碱度.....	(92)
一、 灌溉水的盐度.....	(92)
二、 灌溉水的碱度.....	(98)
第三节 灌溉水中离子态有害物质的效应.....	(105)
一、 灌溉水中离子态有害物质的土壤效应.....	(105)
二、 灌溉水中离子态物质的作物效应.....	(114)
三、 离子态物质一硼.....	(123)
第四节 灌溉水中离子态有害物质标准与评价.....	(125)
一、 离子态有害物质的灌溉水质标准.....	(125)
二、 灌溉水质评价.....	(127)
第四章 重金属及其效应.....	(134)
第一节 重金属及其污染源.....	(134)
一、 重金属及其来源.....	(134)
二、 几种主要的重金属.....	(136)
第二节 重金属的迁移与富集.....	(143)
一、 重金属的迁移、转化与分布.....	(143)
二、 重金属迁移和转化中的化学过程.....	(145)
三、 吸附作用与重金属的迁移.....	(156)
第三节 重金属的土壤效应.....	(165)
一、 土壤对重金属的吸持.....	(166)
二、 土壤性质与土壤中重金属的富集.....	(167)
三、 重金属进入土壤后的形态变化.....	(172)

四、	重金属对土壤微生物和酶的影响·····	(177)
五、	土壤重金属污染评价·····	(180)
第四节	重金属的作物效应·····	(182)
一、	重金属的生物富集·····	(182)
二、	几种主要重金属的毒害效应·····	(190)
第五章	灌溉水中有机污染物及其效应·····	(201)
第一节	有机污染物的来源与降解·····	(201)
一、	灌溉水中有机污染物的来源·····	(201)
二、	有机污染物的降解·····	(202)
第二节	特殊有机污染物及其效应·····	(210)
一、	有机合成原料·····	(211)
二、	油脂类·····	(211)
三、	酚类化合物·····	(215)
四、	苯类化合物·····	(217)
五、	三氯乙醛·····	(217)
六、	有机农药·····	(219)
第三节	耗氧有机污染物·····	(223)
一、	含碳耗氧有机污染物综合指标·····	(224)
二、	有机污染物参数的综合分析·····	(237)
三、	含氮耗氧污染物·····	(240)
第六章	城市污水灌溉的效应及其处理与利用·····	(248)
第一节	城市污水灌溉的土壤效应·····	(249)
一、	污灌对土壤孔隙状况变化的影响·····	(249)
二、	污灌土壤三相物质组成的比率·····	(250)
三、	污灌土壤微形态及 土壤水分特征曲线的变化·····	(253)
四、	污灌土壤空气孔隙下降的条件分析·····	(256)
五、	污灌对土壤有机质和氮素物质的影响·····	(256)

第二节 城市污水灌溉的作物效应..... (261)

一、 城市污水灌溉对作物产量的影响..... (262)

二、 城市污水灌溉对作物产量构成因素的影响..... (264)

三、 城市污水灌溉对作物生育的影响..... (266)

四、 污灌对作物品质的影响..... (272)

第三节 人工土层快速渗滤处理城市污水效应..... (282)

一、 人工土层快速渗滤处理系统的机理和流程..... (283)

二、 人工土层快速渗滤处理系统及其处理城市污水效益..... (285)

三、 人工土层快速渗滤处理系统的运转..... (290)

四、 改良城市污水灌溉作物的效应..... (292)

附 录..... (297)

一、 水体污染的主要表格索引..... (297)

二、 计量单位换算..... (298)

三、 主要几种水质标准..... (299)

四、 灌溉水中主要污染物的分析方法..... (303)

第一章 水资源概况与水性质

第一节 水资源概况

一、 水资源分布与水循环

水资源是自然资源的重要组成部分，水资源的开发利用与环境保护的关系非常密切，水是分布最广的自然资源，也是人类环境的重要组成部分。

(一) 水资源分布

地球的总面积约为 $510 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。地球表面约70%以上被水复盖。海洋面积约为 $361 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占全球面积的70.8%，陆地面积为 $149 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，仅占全球面积的29.2%，南半球的海洋面积高达80.9%，陆地面积为19.1%。北半球则分别为60.7%与39.3%。

地球表面的总水量为 13.86 亿 km^3 （表1—1），其中海水占

表 1—1 地球表面水体分布与淡水储量^[8]

水的类型	总水量分布		淡水储量	
	水量 (km ³)	占总水量 %	水量 (km ³)	占总淡水量 %
海水	1,338,000,000	96.5		
地下水	23,716,500	1.71	10,846,500	20.96
冰雪水	24,064,100	1.74	24,064,100	62.70
湖泊水	176,400	0.013	91,000	0.26
沼泽水	11,470	0.0008	11,470	0.033
河水	2,120	0.0002	2,120	0.006
大气水	12,900	0.001	12,900	0.037
生物水	1,120	0.0001	1,120	0.0032
总水量	1,385,984,610	99.97	35,029,210	99.97

96.5%，淡水为0.35亿 km^3 ，占总水量的2.53%。目前，海水、深层地下淡水、冰雪水、盐湖水等大量的水资源还很少被直接利用。比较容易开发利用的、对人类生活与生产关系密切，淡水储量为400多万 km^3 ，占淡水总量的11%，仅占总水量的0.3%。这有限的水资源在地球上的时空分布上是极不均匀的。这是世界性水资源紧张的重要原因之一。

（二）自然界的水循环

水体自身蒸发，植物的蒸腾和土壤表层的蒸发作用，把大量的水气送入大气之中。上升到空气中的水气凝结成云，在大气环流的推动下，向各处传播。大气中的水气又以雨、雪等形态降落地面，一部分渗入地下，成为土壤水或地下水；另一部分被植物吸收，经枝叶蒸腾作用重返大气；还有一部分沿着地表径流汇入江河湖泊，再注入海洋。海水经蒸发，变成水汽，上升到大气之中又向陆地输送。如图1—1所示，这种过程，循环往复常年不断，我们称之为自然界的水分循环。

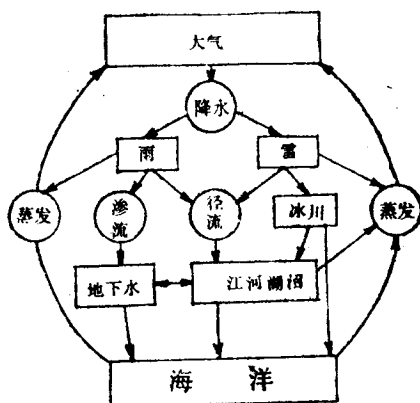


图1—1 水的自然循环

以整个地球计算,平均蒸发量和降水量大致相等,每年大约为1,000mm。以海洋为例,年平均降水量在1,070—1,140mm之间,年平均蒸发量在1,160—1,240mm之间,其中不足的100mm水量,由陆地上的河流排入海洋的水量来补充。以陆地计,陆地的年平均降水量接近710mm,年平均蒸发量约470mm,二者相差240mm,以上相差的水量由河流输送到海洋,以补偿海洋的亏缺。

植物能蒸腾大量的水,成年的阔叶树,如柳树、赤杨树等每年蒸发 12,000—15,000m³(7)的水。植物蒸腾所消耗的水分平均每年达到30,000km³,超过整个陆地蒸发量的40%。植物能大量的蒸腾水分,生物体中水分的交换十分迅速,更换一次只需要几个小时,每年更换1,000—2,000次,因此,生物有机体也是自然界水分循环过程的重要因素。

人类社会为了满足生活及生产的需求,要从各种天然水体中取用大量的水。社会建设和人民生活就需要从各地的江河、湖泊、水库、浅井、深井中取水,其数量是极为可观的。人类生活水平越高,用水量就越大。一个现代城市的居民生活用水量可以达到每日数万以至数十万吨。几乎没有一种工业完全不需用水,采矿、冶金、石油、化工、机械、动力、纺织、造纸等工业部门的用水量都很大,一座工厂的每日总用水量常达数千、数万以至数百万吨。因此,人口集中的城市或工业区,总用水量是巨大的。广大农村的农业灌溉和各种生产,生活用水总量更大,而且日益增长着。

生活用水和工业用水在使用后就成为生活污水和工业废水,它们被排放出来,最终又流入天然水体。这样,水在人类社会中也构成了一个局部循环体系,称为社会循环。

自然循环的水量只占地球上总水量的0.031%,而其中经过径流和渗流的约只是0.003%,社会循环从中取用的水量又不过是径流和渗流水量的百分之二、三,亦即地球总水量的数百万分之一。然而,就是取用这在比例上似是微不足道的水,却在社会循环中表现

出人与自然在水量和水质方面都存在着巨大矛盾。研究水体污染工作的目的是使水在社会循环中有利于社会建设和人类健康。

二、人类活动对水的需要

水是人类赖以生存的必需条件,人体对水的生理需水量为2.5升/日,一个人每天的全部生活用水量约为数十升到数百升。一般随着生活水平的提高,所用的水量愈多,西方国家每人用水量约为400—800 L/日·人,我国规定为150 L/日·人,实际很多地方达不到70—80 L/日·人,很多资料表明[5.11],人体消耗的水量比它所需要的营养物质的量为多。人体内的水分量为其体重的65.7%,一个人因缺水损失体重的10—20%以上就将濒于死亡,在完全缺水的情况下,一个人只能生存2—3天^[3],但绝食时一个人一般可维持7—8天。

(一) 工业生产用水

随着工农业的发展所需水量的日益增多,从表1—2看出当今世界工农业用水量占人类社会耗水总量的80%以上。不同国家其工农业用水的比例不同,但多数国家的农业用水量多于工业用水。

工业产品本身不需要水,但在生产过程中需要用水,生产不同工业产品所需的水量不同(表1—3)。发电、冶金、机械、化工、

表1—2 一些国家工农业用水比较 (km³)^[8]

国 家	农 业 用 水		工 业 用 水		农 业 工 业 用 水
	水 量	占总用水量 (%)	水 量	占总用水量 (%)	
美 国	1703	44	1841	46.8	0.94
加 拿 大	31	14	187	82	0.17
墨 西 哥	412	88.1	24.5	5.2	16.2
日 本	500	72	127	18.3	4.84
印 度	3090	95.5	27	0.8	114.5
法 国	145	43	140	41	1.60
苏 联	1304	59	783	36	1.67
世 界	25000	75.6	4250	12.9	5.23

石油、采矿、食品工业等用水量较高。而以合成纤维与合成橡胶等产品的需水量最大，其所需水量可达到其产品总量的2000—3000倍之多。工业用水的基本用途可分为四种类型，一种是冷却用水，即用于机械设备的冷却降温，另一种是动力用水，即以水蒸汽推动机器或汽轮机运转，这两种水可分重复利用，其消耗量不大，第三种是生产技术用水，即用于产品制造过程中处理和清洗产品，其四是产品用水，即以水作为产品之主要原料之一，如酿造酒、酱油、醋等工业产品。

表 1—3 各类产品的单位用水量 (m^3)

产 品 (T)	用 水 量	产 品 (T)	用 水 量
钢 铁	300	纸 浆	200—500
钢 板	70—50	报 纸	280
白铁皮	50	合成橡胶	125—2,800
铝	160	合成纤维	600—2,000
煤 炭	1—5	粘 液 丝	1,000—2,400
水 泥	1—4	毛 织 品	150—350
石 油	4	皮 革	50—125
汽 油	12—20	棉 纱	200
航空汽	40—50	苛 性 钠	100—150
化 肥	50—250	苏 打	50
硫 酸	2—20	乙 醇	200—500
炸 药	800	丙 酮	260
汽车 (辆)	40	醋 酸	400—1,000
电力 (Kw·h)	0.2	肉类加工	8—35
甜菜糖	100—200	啤 酒	10—20
电 (千度)	3	化 肥	600

*T: 吨, Kw·h: 千瓦小时

(二) 农业生产用水

水是农业的命脉，农业离不开水，农产品本身的含水量高达60%—95% (占重量)，一般说来，生产一公斤干重的物质的需水量为其产品的300—500倍，而小麦则为1000—1500倍，棉花、水稻

和蔬菜一生中的需水量更大。作物对水的要求一方面是满足自身的生理需要，另一方面消耗于蒸腾，种子播入农田，土壤中必须要有一定含水量，使种子体积迅速膨胀，外壳破裂，与此同时子叶里储藏的营养物质溶解于水，并借助水分转运给胚根、胚轴、胚芽，使胚根伸长发育成根，胚轴伸长拱出土面，胚芽逐渐发育成茎和叶，这样种子萌发成幼苗。要使幼苗茁壮成长，开花结果、仍必须给予充足的水分。植物体依靠根毛从土壤中吸收水分及养料，通过导管输送到其它器官。叶子通过叶绿体，利用光能把 CO_2 合成有机物，这不仅提供植物自身需要，同时也为人类提供食物，为工业提供原料。叶子蒸腾水分，既可降低叶片温度，同时也促进水分和溶解于水中的养分通过根、茎、叶脉导管上升至叶片，加速其新陈代谢过程。一般情况下农田灌溉定额：蔬菜25—35吨/亩，小麦40—50吨/亩棉花为35—50吨/亩。京津渤地区农业用水量 为 73 亿 m^3 ^[9]。农业用水量常多于工业用水，如美国的农业用水量通常是工业用水量的2—3倍。

关于作物不同生育阶段所需的水量情况可从表1—4材料看出，小麦一生中所需要的水量是随着各个生育阶段的更替不断增多。小麦一生中共需要水量为 $300—400 \text{ m}^3/\text{亩}$ ，而在拔节、抽穗、灌浆 到成

表 1—4 冬小麦需水情况表^[9]

生 育 阶 段	天 数	需 水 量 (m^3)	阶段需水系数 (%)
播种—越冬	50	32.99	9.9
越冬—返青	103	99.9	14.79
返青—拔节	32	61.1	18.13
拔节—抽穗	18	65.61	19.69
抽穗—灌浆	16	56.65	17.66
灌浆—成熟	27	67.25	20.18
全 生 育 期	246	333.23	100

(表中所列系河北藁城水科所1981年试验材料)

熟对水量的需求最大(图 1—2), 共占整个生育期总需水量的57%,

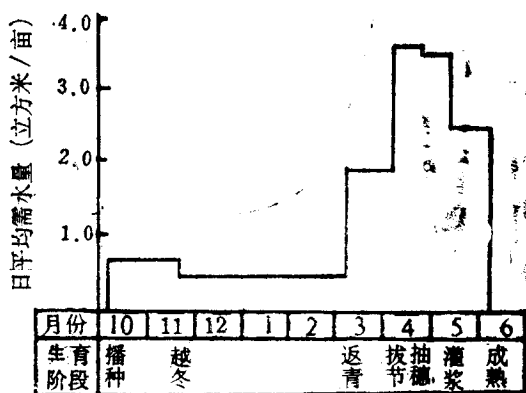


图 1—2 冬小麦需水量变化过程

小麦生育期总需水量与反映作物生长发育状况的综合指标—产量间存在着一定的关系^[8]。一般情况下，随着产量的提高，总需水量有所增加，这个增加主要反映在叶面蒸腾量的增加上。但总需水量的增加与产量的提高并不成直线比例关系（图 1—4）。

经济作物棉花比一般旱田作物所需水量大，如表 1—5 与图

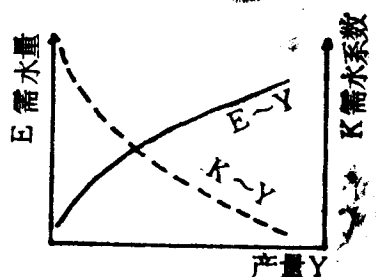


图 1—3 小麦需水量与产量关系示意图

1—5 所示。其中以现蕾—开花期需水量最多。

表 1—5 棉花各生育阶段需水情况表^[9]

生 育 阶 段	天 数	需 水 量 (mm)	阶段需水量占总需水量 的百分数 (%)
播种—出苗	16	12.9	2.8
出苗—三叶	26	33.0	8.2
三叶—现蕾	16	18.5	4.0
现蕾—开花	29	96.8	20.9
开花—吐絮	62	244.0	52.7
吐絮—收花	19	38.9	8.4
收花—收完	35	13.9	3.0
全 生 育 期	203	463.0	100.0

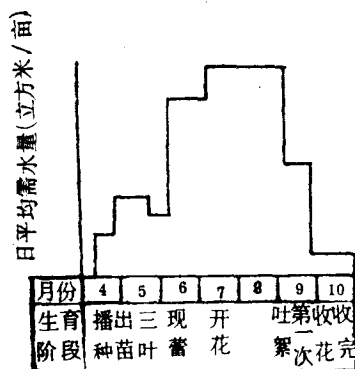


图 1—4 棉花需水量变化过程

关于影响棉花总需水量的因素，与小麦基本相同，主要是气候条件，土壤含水量及农业技术措施（包括中耕、施肥、密植及灌水等）。

同样，畜牧业也需要水量供给，如表 1—6 所示，食用牛的耗水量为 43.19L/日，乳牛—59.10L/日，马—15.46L/日。三者平均