

农产品安全丛书

科学 杜绝灌溉污染

KEXUE DUJUE GUANGAI WURAN

吕焕新 编著

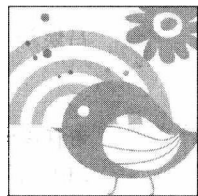


西南财经大学出版社
Southwestern University of Finance & Economics Press

科学杜绝灌溉污染

KEXUE DUJUE GUANGAI WURAN

吕焕新 编著



西南财经大学出版社
Southwestern University of Finance & Economics Press

图书在版编目(CIP)数据

科学杜绝灌溉污染/吕焕新编著. —成都:西南财经大学出版社,2009.7

ISBN 978 - 7 - 81138 - 230 - 3

I. 科… II. 吕… III. 灌溉—水污染—污染防治—基本知识
IV. S275 X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 175480 号

科学杜绝灌溉污染

吕焕新 编著

责任编辑:熊永根 李 雪

封面设计:穆志坚 杨红鹰

责任印制:封俊川

出版发行:	西南财经大学出版社(四川省成都市光华村街 55 号)
网 址:	http://www.bookej.com
电子邮件:	bookej@foxmail.com
邮政编码:	610074
电 话:	028 - 87353785 87352368
印 刷:	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸:	148mm × 210mm
印 张:	4.625
字 数:	127 千字
版 次:	2009 年 7 月第 1 版
印 次:	2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数:	1—5000 册
书 号:	ISBN 978 - 7 - 81138 - 230 - 3
定 价:	15.80 元

1. 如有印刷、装订等差错,可向本社营销部调换。
2. 版权所有,翻印必究。



前 言

目前,我国污水灌溉农田面积 330 余万公顷,占全国总灌溉农田面积的 7.3%,主要分布在我国北方水资源严重短缺的海、辽、黄、淮四大流域,约占全国污水灌溉面积的 85%,大部分集中分布在相应大中城市的近郊区或工矿区。灌溉污染导致大量的农田受损,严重威胁着人们的生活。

2008 年全年我国新增有效灌溉面积 117.9 万公顷^① (1 公顷=10 000 平方米;1 亩=0.0667 公顷),已经成为世界第一灌溉大国。以灌溉为主的农业用水量占全国总用水量的 70%以上,在约占全国耕地面积 50%的灌溉面积上生产着全国粮食总产量的 80%。然而,由于我国总体水资源不足,随着国民经济的快速发展和人民生活水平的提高,灌溉用水不断被工业和城市生活用水所挤占,农业生产缺水问题日趋严重。特别是我国北方地区,由于水资源的开发利用几乎达到了临界状态,再加上工业的快速发展中带来的一些负面作用,一些企业只追求自身利益的最大化,不注重对环境的保护,环保设施不完善,致使排放物不达标,甚至将污水直接排放。这不仅对人们居住的环境造成了很大的危害,威胁人们的身心健康,而且还会影响到人们的生活。

当这些有害物质被排放到河流中,各种污染物在水中经过物理的、化学的和生物的作用,不断地发生稀释或富集、分解或化合、迁移或转化作用,与其他环境介质进行传递和交换。同时,也有一部分污染物不能及时转化、降解而残留在水体里积累起来。当这种积累达到一定的程度后,灌溉水质就会发生变化,引起灌溉污染。因此,我们必须杜绝灌溉污染,进行科学灌溉。

编 者

^① 资料来源:中华人民共和国国家统计局统计公报(2009)。



目 录

第一章 导 论 \ 1

第一节 水与农业 \ 1

第二节 水与农作物 \ 2

第三节 地下水与井水灌溉 \ 4

第四节 合理灌溉 \ 5

第五节 农业污染 \ 9

第二章 科学灌溉理论基础 \ 16

第一节 可持续发展理论 \ 16

第二节 循环经济理论与科学灌溉 \ 30

第三节 环境经济理论与科学灌溉 \ 45

第四节 生态经济理论 \ 55

第三章 灌溉污染简介 \ 71

2

第一节 灌溉水水质污染 \ 71

第二节 灌溉方法不当造成地下水污染 \ 83

第三节 农田排水不当引起地面水源污染 \ 95

第四章 科学灌溉 \ 101

第一节 科学灌溉简介 \ 101

第二节 玉米的科学灌溉 \ 108

第三节 小麦的科学灌溉 \ 113

第四节 水稻的科学灌溉 \ 119

第五章 现代生物技术的应用和前景 \ 129

第一节 现代生物技术概说 \ 129

第二节 现代生物技术在环境保护中的应用 \ 133

参考文献 \ 137



第一章 导 论

第一节 水与农业

水是生命之源，是农业的命脉。作物生长离不开水，农业生产受供水状况的影响。干旱的时节，降雨少，作物需水的要求得不到满足，往往导致植物萎蔫，生长弱势，甚至因灾害而死亡。若是遇到雨水过量的季节，作物被淹，根系缺氧，若得不到及时排涝，就会造成代谢紊乱，营养失调，乃至农作物的死亡。尤其是在边远的地区，他们过的是靠天吃饭的生活，水对他们来说显得更为重要。

我国是一个水资源匮乏的国家，人均水资源占有量仅为世界平均水平的 $\frac{1}{4}$ ，而且水资源不论是时空上还是地理上分布都不均。一年中，夏季多雨，冬季和春季降雨较少，汛期雨量集中，多为暴雨，难以有效利用。地理分布上也是南多北少，相差悬殊，降雨量大致从东南到西北呈递减趋势。全国水资源的 81% 分布在长江及其以南地区，而该地区的耕地面积仅占全国的 36%；淮河及其以北地区，耕地面积占全国的 64%，而水资源量仅占全国的 19%。水资源分布与我国的耕地分布状况极不适应，限制了农业生产的发展。因此，我们需要借助水利设施，调节水资源供应，以满足不同地区不同季节农业生产的需要。



20 世纪 50 年代以来, 全国年平均受旱面积 2000 万公顷^①, 成灾 800 万公顷, 因旱灾年均减收粮食 1000 万吨。2000 年全国农作物因干旱累计受灾面积 3740 万公顷, 其中成灾 2690 万公顷, 绝收 813 万公顷, 损失粮食 5940 万吨, 经济作物损失 506 亿元, 成灾面积、绝收面积和因干旱造成的粮食损失都是新中国成立以来最大的。2009 年的干旱也使得北方地区的农作物普遍减产。同时, 在大江大河流域的水灾也在影响我国的农业生产。近期大范围的降雨使得不少地区的农作物受影响而减产甚至绝收。

第二节 水与农作物

水是植物细胞的重要组成成分, 一般植物组织含水量占鲜重的 75%~90%。在植物体内各种生理生化反应绝大多数是在水中进行的。各种新陈代谢物质溶解在水里, 以水为介质运输。光合作用(见图 1-1)是自然界物质初级生产的重要生命活动, 而水是光合作用的重要原料。可见, 水对作物的生长发育是必不可缺的。

作物通过根系从土壤中吸收的水, 仅有很少部分是被植物自身同化利用^②, 大部分都通过蒸腾作用以水蒸气的状态散失到大气中了。作物根系吸收的水分通过根毛, 经过皮层, 到达导管, 在蒸腾拉力的作用下, 经导管向上运输, 之后进入各枝干、茎叶的导管, 到达叶片气孔, 水分在这里汽化, 散失到空气中。蒸腾作用的进行能促进木质部液汁中物质的运输; 充足的水分使植物细胞、组织器官有一定的膨压, 支持作物“站立”, 由于水的汽化吸热, 可以降低叶片的温度, 防止灼伤叶片。(见图 1-2)

① 1 公顷=10 000 平方米; 1 亩=0.0667 公顷。

② 同化作用 (assimilation) 是指生物体把从外界环境中获取的营养物质转变成自身的组成物质, 并且储存能量的变化过程。简单说, 同化作用就是把非己的变成自己的。它是生物新陈代谢当中的一个重要过程。

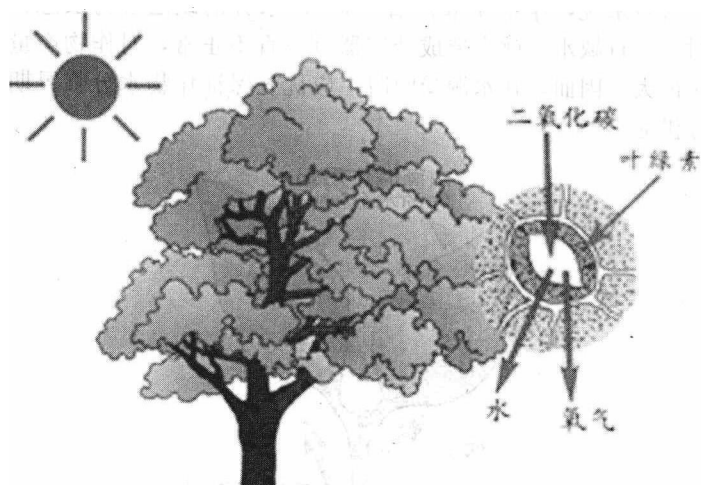


图 1-1 植物的光合作用

作物的蒸腾强度可以用蒸腾系数来衡量。蒸腾系数，是指作物每制造 1 克干物质^①所消耗水分的克数。玉米的蒸腾系数为 370，小麦为 513，棉花为 648，水稻为 1000。一般可以根据蒸腾系数的大小来估计某种作物对水分的需求量，即以作物的生物产量（包括秸秆、籽粒或收获物在内）乘以蒸腾系数作为理论最低需水量。例如，小麦的生物产量为每公顷 15 000 千克，蒸腾系数为 513，则每公顷小麦的总需水量为 7695 立方米（ $15\,000 \times 513$ ），折合为降水量为 11 550 毫米。但在实际运用中，还应考虑土壤保水能力的大小、降雨量的季节分布以及土壤蒸发等。同一作物在不同的地区，以及同一作物在不同时期对水分的需求量也是不同

^① 干物质是生物科学中的概念，是指凡除去水分的物质剩下的便称为干物质。比如，液体产品中除去水分后所有的物质是脂肪、蛋白质、碳水化合物和矿物盐的总和，即为干物质。



的。一般来说，作物在水分临界期^①对水分的缺乏最为敏感，这一时期一旦缺水，就会造成结实器官发育不正常，对作物产量的影响最大。因而，在水源受限时，应优先保证作物水分临界期的水分供应。

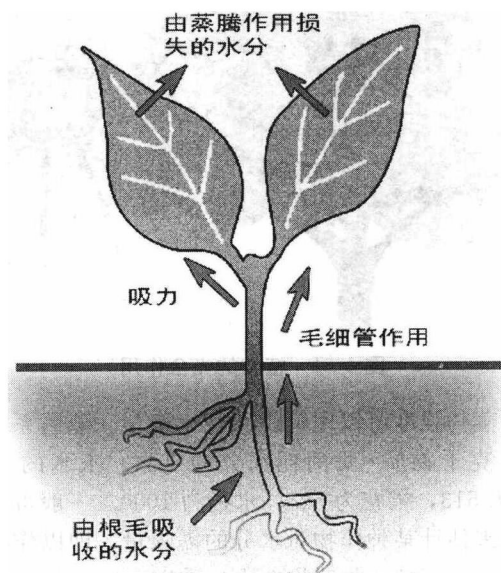


图 1-2 植物蒸腾作用

第三节 地下水与井水灌溉

在地表水缺乏的地区，农田灌溉主要依靠地下水和井水灌溉。在我国，地下水灌溉历史悠久，早在春秋时期就有用桔槔提

^① 作物的临界期多处于开花期前后。

取井水浇灌园圃的记载。目前, 在我国的北方干旱、半干旱地区以地下水作为主要规格用水的井灌区占农田灌溉面积的 20% 左右, 与之配套的机井超过 200 多万眼。

地下水灌溉弥补了天然降水和地表水的不足, 保证了作物的正常发育, 增加了单位面积的产出和效益, 井灌系统建设简单, 渠系短, 水量稳定, 输水时间短, 输水损失少, 效益高。地下水水质纯净, 杂质少, 不易堵塞管道孔眼, 是发展喷、滴灌较好的水源。

地下水是自然界水循环的有机组成部分, 是生态环境的组成要素之一。为保证井灌区社会经济的可持续发展, 地下水的收支应保持平衡。地下水的取用如果得不到足够的补充, 势必会造成地下水位的下降, 严重的会造成地下漏斗区。新中国成立以前, 我国地下水开采量很小, 地下水环境接近天然状态, 平原地区地下水平均埋深一般在 2 米左右。人类对地下水环境的干扰只触及皮毛, 未伤及筋骨。新中国成立后, 特别是 20 世纪 70 年代以来, 随着地下水开采技术的提高和水需求量的大幅增加, 地下水的开采量也随之大幅增加, 地下水的埋深也急剧下降, 这不仅改变了自然界水循环的特征, 同时产生了诸多的自然灾害。因此, 优化地下水环境, 有利于维护生态平衡, 有利于人类对地下水的可持续利用。

第四节 合理灌溉

一、合理灌溉的必要性

合理灌溉时以作物的需水量和水分临界值为依据, 参照其生理指标制定灌溉方案, 采用先进的灌溉方法及时地进行灌溉。作物是否需要灌溉, 可以根据土壤含水量以及作物的形态指标和生理指标来判断。



在生产中，人们往往根据土壤湿度来决定灌溉时期，即根据土壤含水量来确定是否需要灌溉，这是一个比较简单的参考指标。一般作物生长较好的土壤含水量为田间持水量的60%~80%。团粒结构良好的粉砂壤土的适合植物生长的含水量应为12%~16%。土壤含水量指标的数值因不同作物、不同生长阶段和不同的土壤条件等因素而异。

这可以根据土壤容重、土壤有效水分、萎蔫系数、田间持水量来确定。

土壤有效水分最大含量=田间持水量-萎蔫系数

例如：在某地1亩（667平方米）土地耕层厚度20厘米，容重1.15克/立方厘米，萎蔫系数为5%，田间持水量25%。由此可知，该地块的耕层总重量为： $6.67 \times 106 \times 20 \times 1.15 = 1.5 \times 108$ （克）=150（吨）；每亩灌溉定额为： $150 \times (25\% - 5\%) = 30$ （吨）。通过明确的量化标准，可以使土壤含水量始终保持在植物能正常生长的范围内。

但是，在依据作物生长发育状况进行灌溉方面，人们在长期的生产实践中，总结出作物缺水时茎叶的形态变化的经验。例如幼嫩的茎叶发生枯萎，是由于土壤水分不足，植株发生水分亏缺造成的；茎叶颜色转为暗绿这可能是由于缺水，细胞生长缓慢，叶绿素浓度相对增加所致；茎叶颜色变红，是由于干旱，碳水化合物分解大于合成，细胞中积累较多的可溶性糖，形成较多的花青素；植株生长速度下降，是由于缺水影响植株的各种新陈代谢，生长缓慢。

当植株出现以上形态变化时，往往缺水情况已经比较严重，此时灌溉已为时太晚。因此，形态指标的观察应及时，以便在出现轻微的形态变化时就能采取措施。

作物的生理指标是合理灌溉的良好根据，他能较早的反应植株内部的水分状况。常用的生理指标有叶片水势、细胞液汁浓度、气孔开闭状况等。

当植株缺水时，叶片水势下降，但不同部位以及同一部位不同时间的叶片，其水势也是有差别的。一般以上午 9 时左右测定一定部位的叶片水势为宜。

在植株缺水时，其细胞汁液浓度较高，当超过一定限度后，就会阻碍作物的生长。

白天，水分充足时，气孔开放，随着水分供应的减少，气孔开度逐渐变小。当严重缺少时，气孔完全关闭。因此可根据气孔的开闭程度来判断是否需要进行灌溉。

生理指标的测定，虽然需要一定的仪器设备，但它有一定的数值要求，比较客观、可靠、准确。

合理灌溉时要在作物生长的整个时期，根据其需要，及时、经济地利用水分，以获得作物的高产。合理灌溉能改善作物的生理状况，如生长加快，光合作用的叶面积增加，光合速率提高，保证水分和营养物质的运输及改善光合作用的分配利用等。

灌溉不仅能直接满足作物正常生理活动，而且能改变栽培环境，特别是土壤条件，从而间接地对作物产生影响。例如，早稻秧田在寒潮前灌水，可起到保温防寒的作用；在盐碱地灌溉，起到洗盐压碱的作用。这些灌溉用水不是直接被作物吸收的，是作物间接需要的水，称生态需水，以区别于作物直接需水和生理需水。在进行灌溉时，作物的生理需水和生态需水都要加以考虑。

二、合理灌溉的方法

灌溉的基本要求是利用最少量的水取得最好的效果。进行合理灌溉，首先要注意选择灌溉时期，具体有以下四种方法：

1. 根据土壤湿度决定灌溉时期。判断准确，但不能充分发挥灌溉效率，因为灌溉的真正对象是植物而不是土壤。

2. 根据植物水分临界期事先拟定灌溉方案。但因不同年份的气象条件不同、不同地块植物生长不同常会有所变动。

3. 根据灌溉形态指标确定灌溉时期。植物缺水时，幼嫩的茎叶因水分供应不上而发生枯萎，茎颜色转为暗绿或变红，生长



速度下降。这种方法的优点是灌溉形态指标易观察，缺点是需要经过多次实践才能掌握好。

4. 依据灌溉生理指标确定灌溉时期。一般地，我们将叶片长势、细胞液浓度、渗透势和气孔开张度作为灌溉的生理指标。

三、作物的需水规律

(一) 不同作物的需水量不同

一般可根据蒸腾系数的大小来估算作物对水分的需求量，即以作物的生物产量和蒸腾系数的积作为理论最低需水量。但实际应用时还应考虑土壤保水能力的大小、降雨量的多少以及生态需水等。因此，实际需要的灌溉水要比理论数大得多。

(二) 同一作物不同生育期对水分的需求量不同

同一作物不同生育期对水分的需要量有很大的差别。例如，早稻在苗期由于蒸腾面积较小，水分消耗量不大；进入分蘖期以后，蒸腾面积扩大，气温也逐渐升高，水分消耗量明显增大；到孕花期蒸腾量达到最大值，耗水也最多；进入成熟期后，叶片逐渐衰老、脱落，水分消耗量又逐渐减小。又如，小麦一生中对水分需要大致可分为四个时期：①种子萌发到分蘖前期，消耗水不多；②分蘖末期到抽穗期，消耗水最多；③抽穗到乳熟末期，消耗水较多，缺水会导致严重减产；④乳熟末期到完熟期，消耗水较少，若此时供水过多，反而会使小麦贪青迟熟，籽粒含水量增高，影响品质。

(三) 作物的水分临界期

水分临界期 (critical period of water) 是指植物在生命周期中对水分最敏感、最易受害的时期。一般而言，植物的水分临界期多处于花粉母细胞四分体形成期，这个时期一旦缺水，就会使性器官发育不正常。小麦一生中有两个水分临界期，第一个水分临界期是孕穗期，这期间小穗分化，代谢旺盛，性器官的原生质粘性与弹性均下降，细胞液浓度很低，抗旱力最弱。如缺水，则小穗发育不良，特别是雄性生殖器官发育受阻或畸形发育。第二个

水分临界期是从开始灌浆到乳熟末期。这个时期营养物质从母体各部分输送到籽粒，如果缺水，一方面影响旗叶的光合速率和寿命，减少有机物的制造；另一方面使有机物质运输变慢，造成灌浆困难，产量下降。其他农作物也有各自的水分临界期，如大麦在孕穗期，玉米在开花至乳熟期，高粱在抽花序到灌浆期，豆类、花生、油菜在开花期，向日葵在花盘形成至灌浆期，马铃薯在开花至块茎形成期，棉花在开花结铃期。由于水分临界期对产量影响很大，因此，应确保农作物水分临界期的水分供应。

第五节 农业污染

目前，我国农村由于工业化程度较低，人口密度较小，环境容量相对较宽裕，使农业污染这一问题被忽视很久，更无从谈及国家在法律法规、政府政策、财政投入及技术等众多方面的支持。

但随着环境污染的转型，工业污染比重在下降农业污染日益突出，无论从自然环境的破坏程度还是污染程度来讲，农业污染都不亚于工业和城市污染。据国家环保总局公布的数据显示，农业污染量占全国总污染量（指工业污染、生活污染及农业污染的总和）的 $1/3 \sim 1/2$ ，已成为水体、土壤、大气污染的重要来源，对农业和农村经济的可持续发展构成严重威胁，我国农业污染的控制也已经到了刻不容缓的地步。

一、农业污染的内涵

目前，大多数人认为点源污染主要包括工业污染和生活垃圾污染等，农业污染就是面源污染，但将农业污染简单的概括为面源污染是不确切的。按照美国联邦水污染控制法（1977年）所作的解释，向环境排放污染物是个不连续的分散过程，所以不能用常规处理方法获得改善的排放源，即称为非点源污染或者散在源



污染。包括农业施肥和施用农药, 大气沉降、野生动物排泄物等。显然, 非点源是相对于点源污染而言的。受自然条件突发性、偶然性和随机性所制约的非点源污染的这一特点, 使它具有如下三个不确定性, 即在不确定的时间内, 通过确定的途径, 排放不确定数量的污染物质。

从这个定义可以看出, 农药、化肥及其他植物生长调节剂等的使用所造成的污染、散养畜禽造成的污染属于非点源污染范畴, 称为农业非点源污染。圈养畜禽、规模养殖畜禽及水产养殖造成的污染属于点源污染, 称为农业点源污染。塑料薄膜造成的污染介于两者之间, 很难界定其属性。由此可知, 将农业污染简单地理解为面源是不全面的, 没有概括出农业污染的本质和全貌^①。

2004 年中国农业科学院的一批专家经过多年研究首次提出了一个新的概念——农业立体污染。农业立体污染 (Agriculture tridimension pollution, A Trip) 是指由农业系统内部引发和外部导入, 包括农业生产过程中农药和化肥的不合理使用、畜禽粪便的排放、农田废弃物处置、耕种措施以及工业废气污染物农业利用等造成农业系统中水体—土壤—大气的立体交叉污染^②。这一概念的提出使农业污染防治研究从微观到宏观不同层面全方位展开, 开辟了更为广阔的研究领域。它将农业及农业污染视为复杂的系统来考虑, 体现出农业污染的分布面积广、污染源多样、在空间和时间变化大等不确定特点。

目前农业立体污染已经给我国人民生活带来了多层面的危害性。一是水质下降和硝酸盐污染超标; 二是化肥农药使用使我国 2000 万公顷耕地面积受污染, 若不及时治理将会导致从水体

① 李荣刚. 农业污染的由来、危害与内涵 [J]. 当代生态农业, 1999 (2): 63-64.

② 王文生, 章力建, 郭曼. 信息技术在农业立体污染防治中的作用与展望 [J]. 农业网络信息, 2005 (12): 4-7.

—生物—大气整个系统的污染，这些污染会通过迁移、转化、交叉过程产生新的污染甚至形成循环污染。所以农业立体污染不仅影响到农业生态安全、人体健康和农产品质量，而且也影响到农业、农村的可持续发展和农民收入的提高，甚至还会影响我国环境外交和国际贸易^①。

农业污染具有分散性、偶然性、随机性、复杂性、不确定性、不易监测性、危害性大以及治理难度大等特点。

二、农业污染的危害

（一）严重污染水体

2003年《中国环境状况公报》的数据和中国农业科学院在北京、天津、河北、山东、陕西等地的600个地下水样的调查显示，地下水正面临被硝酸盐污染的严重威胁。另外，我国中西部地区的湖泊、河流及东南沿海和近海海域都出现了严重的富营养化趋势。中国农业科学院的有关专家分析，在我国水环境中，来自农田和畜禽养殖粪便中的总磷、总氮比重已分别达到43%和53%，已成为我国水环境污染的主要因素，对我国水安全构成了严重威胁。

（二）破坏土壤环境

由于过量使用化肥、农药及污水灌溉等，土壤板结，地降，土壤受到重金属、无机盐、有机物等物质严重污染。中国科学院的一项调查结果显示，目前全国至少有1300~1600万公顷耕地受到农药的污染。我国东北地区一些农场长期使用氮肥，土壤有机质含量已由原来的5%~8%降到1%~2%。

（三）影响农产品质量

2005年4月，农业部组织质检机构对我国37个城市蔬菜农药残留状况的监测结果：在52种蔬菜的3845个样品中，农药残

^① 李荣刚. 农业污染的由来、危害与内涵 [J]. 当代生态农业, 1999 (2): 63-64