

1

节水农业意义

1.1 水是生命的赋予者

水和生命是紧密地联系在一起，没有水就没有生命，所以我们说水是生命的赋予者。首先，在所有生物中，水是最多、最主要的成分。在正在生长的组织中平均含有 90% 左右的水。除数量以外，水的性质对于生命的维持与延续也许更为重要。水具有许多独特的物理和化学性质，有人认为，水具备了通常已知物质异常特性的最大汇集。

大家知道，除液态氨以外，水在任何已知物质中比热最高，而且有较高的汽化热

水具有许多独特的物理和化学性质。

和融解热，这有助于稳定植物体的温度。水的这一特性表现在岛屿和邻近水域的陆地气温变化较小。水的这一特性对于农业布局和天然植被分布，有着重要影响。在水与光的关系方面，水对可见辐射是可透过的，因而光线能穿过水体到相当深度，使藻类进行光合作用并得以正常生长；水对红外区波长较长的光线几乎不能透过，因此水又是良好的吸热器。水的这种吸热特性对于维持正常的生物生存环境和发展水产养殖都是有意义的。水具有非常轻微电离的特性，在 5.55 亿个分子中只有一个解离。水还有高的介电常数，使其成为一种几乎万能的溶剂。水不仅是电解质的良好溶剂，而且因为它能和氨基和羧基形成氢键，因而也是许多非电解质的良好溶剂，这是植物体产生一切化学反应的基础。水分子结构所决定的水的“团结”特性，即形成的高的表面张力和内聚力，对于植物生命活动来讲，是一种十分重要的特性。我们知道水分子 (H_2O) 是由两个氢原子和一个氧原子组成的。这个分子因为氢原子的非对称分布，其形状为 V 字形 (图 1.1)。

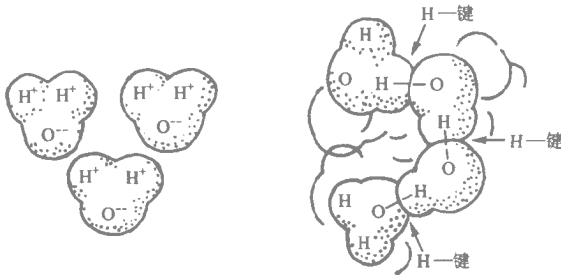


图 1.1 水分子结构

水能从树根爬上数丈高的树梢。水的这种特性深刻地影响着植物的生命活动。

氢带有正电荷而氧带有负电荷。V字形的上部是正，而下部氧所在处是负。这种电荷不均等分布，叫做极性，这一极性使水分子正的一端被另一个水分子的负的一端吸着。因而水的内聚力大，表面张力强，故能团结在一起。因为水分子团结紧密，故水面上可形成一层紧密的膜，水也能从树根爬上数丈高的树梢。水的这种特性深刻地影响着植物的生命活动。

以上讲的是与生命活动有关的一些水的物理化学特性。现在把水在植物生活中的主要作用归结如下。

水是光合作用的基本原料

光合作用是地球上利用太阳能，把二氧化碳和水合成有机物并放出氧气的惟一过程，因而是人类和一切生物赖以生存的基础。绿色植物主要靠光合作用同化二氧化碳和水长大的。从土壤中吸收的矿物质营养（肥料）只占它身体物质总重的百分之几。植物就像一个绿色工厂，各种植物的叶细胞中都含有绿色球状的叶绿体，叶绿体是叶的物质核心，可比作制造有机物（主要是糖类，又称碳水化合物）的机器，机器运转所需要的能量是太阳光，机器所用的原料是二氧化碳和水，其整个生产过程可用如下化学方程式简要表示：



光合作用是地球上最重要的化学反应。上述方程式表示二氧化碳和水在叶内生成糖类（如蔗糖、淀粉、纤维素）、氧

在光合作用过程中,水是构成糖类不可缺少的组分,同时又是空气中氧的来源。

和水。注意这个方程式中有黑体字和白体字,它们表示各种原子的行踪。从该式中可见,水一方面是构成糖类不可缺少的组分,同时又是空气中氧的来源,另外,光合作用中,水一方面被消耗,同时又不断地产生,可见,水在植物最重要生命过程——光合作用中起到多么大的作用!但是,植物所吸收的水分直接用于光合作用构成其机体的不足 1% 那么其余的水到哪里去了呢?

蒸腾耗水是维持植物 生命活动所必需的

植物以水蒸气状态向外界大气蒸散水分的过程,叫做蒸腾作用。它是一个包括物理学机理和生物学特性的既简单又复杂的过程。栽培植物每生产出 1 公斤(kg)干物质要用掉几百公斤的水,也就是说,植物从土壤中所吸收的水绝大部分被蒸腾掉了,未被植物吸收的则大都损失于蒸发过程。有人说,这是一种“浪费”,但更多的科学家则认为,最好将它看成一种不可避免的“灾难”。所谓“不可避免”,是因为在自然条件下,维持正常蒸腾作用与维持正常的光合作用是同一个过程,只有在蒸腾情况下,植物才能获得生命所需要的碳源(CO_2) 因为适合于 CO_2 进入的叶片结构也适合于水分的丧失。所谓“灾难”,是因为大量蒸腾常常引起水分亏缺,对植物造成伤害,对农业生产造成危害。所以,应当将大量蒸腾耗水看作为植物适应陆地生活的必然结果。另外,蒸腾作用还有一些其他重要的生理意义。

如果没有蒸腾作用,植物的被动吸水过程便不能产生,植物较高部分也无法获得所需要的水分。

第一,蒸腾作用是植物吸收与转运水分的一个主要原动力。如果说没有蒸腾作用,植物的被动吸水过程便不能产生,植物较高部分也无法获得所需要的水分。

第二,蒸腾作用消耗大量热能,能够降低植物体的温度,从而使植物避免过热的伤害。

第三,由于蒸腾作用而引起的上升液流能使进入植物内并溶解在水里的各种矿物质营养随之分布到各部分去,以满足生命活动的需要。

在一定范围内,植物的蒸腾是可以调节的。植物主要的防失水结构是叶片上叫气孔的许多小孔隙,当植物失水到一定程度时,气孔便会自动关闭,从而限制了水分的损失,当然也限制了二氧化碳的进入,但对于后者的影响较小。通过育种、栽培和改善环境以及化学调控等途径,植物的蒸腾效率(蒸腾一定水量所能生产的干物质量)可以获得提高,科学家们目前正在进行这方面的研究与探索。

水分对保持植物细胞的 紧张度有重要意义

水的另一种基本作用是保持植物细胞的紧张度,这对于细胞分裂和扩张以及保持草本植物的形状都是不可缺少的。在缺乏充足水分保持细胞紧张度,即保持较高膨压情况下,将导致营养生长的迅速降低。因此,如上所述,水在植物体中的数量也是非常重要的。不同植物为维持正常生长所需含水量下限水平不同,不同器官之间也有较大差异(表 1.1)。

不同植物为维持正常生长所需含水量下限水平不同,不同器官之间也有较大差异。

表 1.1 不同植物组织的含水量

(以占鲜重的百分比表示)

植物的部分		含水量 (%)	植物的部分		含水量 (%)
根	大麦根顶端部分	93.0	叶	莴苣里面的叶子	94.8
	北美刺果松, 顶端部分	90.2		向日葵七周龄植株的全部叶子平均	81.0
	北美刺果松, 菌根	74.8		甘蓝, 成熟叶子	86.0
	胡萝卜, 可食部分	88.2		玉米, 成熟叶子	77.0
	向日葵, 整个根系平均	71.0	果	番茄	94.1
茎	石刀柏茎端	88.3		西瓜	92.1
	向日葵, 七周龄植株的全茎平均	87.5	草莓	89.1	
	短松叶(<i>Pinus banksiana</i>)	48~61	苹果	84.0	
	松树(<i>Pinus echinata</i>) 韧皮部	66.0	种子	甜玉米, 可食的	84.8
	松树(<i>Pinus echinata</i>) 木质部	50~60		谷物玉米, 干的	11.0
	北美刺果松小枝	55~57		大麦去壳	10.2
		花生米, 生的		5.1	

(引自 P. J 克雷默《植物的水分关系》, 1989)

少数植物可以脱水到气干状态而不致丧失生活力。休眠种子含水量很低, 故不表现明显的生命活动。当含水量增加到 20%~25%, 生命活动开始表现出来, 呼吸作用也逐渐加强。但对于发芽来说, 还需要继续吸收水分, 只有当含水

植物细胞中的水分处于两种状态：自由水和束缚水，它们的性质不同。

量增加至 40%~60% 时才开始发芽。栽培植物多属中生植物，为正常生长，一般要保持较高的含水量。随着组织含水量减少，总是伴随着生理活动的明显降低。

通常认为，虽然植物细胞中大部分的水处于自由状态，具有通常的水的结构和性质，但有少量水被吸附在细胞膜与大分子的表面上，这就是所谓的“束缚水”。它们以氢链与细胞中的某些组分相结合，细胞内的各种膜系统（如原生质膜、液胞膜等）上吸附态的水特别多，此外组成膜的大分子，如蛋白质分子周围也结合着水分子，某些离子周围也有吸附的水。束缚水与自由水的生理意义不同，前者起着保护作用，数量增多时可增强植物对逆境（如缺水）的抵抗力，但也伴随着生理活性和代谢强度的降低。所以，在不同环境条件下，植物体内保持自由水与束缚水的适当比例对于植物生命活动也是很重要的。

植物对缺水具有多种适应能力 ——生命存在必须有水的又一证明

植物对于缺水和水分变化具有很强的适应能力，这一方面表现在不同类型植物的抗旱性和需水量有很大差异，例如，一些荒漠肉质植物的蒸腾失水可忽略不计，在栽培植物中，菠萝每产生 1kg 干物质用去 50~55kg 水，仅相当于谷类作物的 1/5~1/10；另一方面，为适应缺水，在进化过程中植物获得了多种多样防止水分丢失和耐旱的本领，例如，在干旱环境中生长的许多植物或具有厚的角质层、多毛和敏感的

植物对干旱缺水的适应机制主要包括：逃旱、御旱(减少失水或增加吸水)和耐旱(耐脱水)三个方面。

气孔以减少失水，或具有很深的根系以增加吸水(图 1.2)，其结果都使植物得以完成生活史而不断繁殖下去。在栽培植

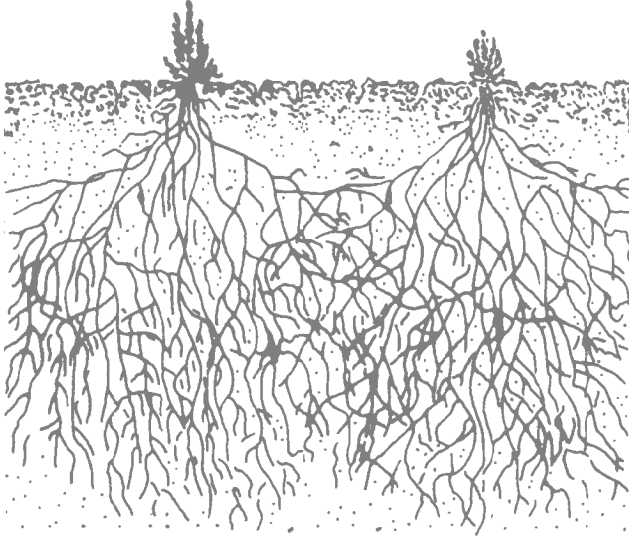


图 1.2 沙漠苦艾的植株，根系比地上部大许多倍

(引自马克西莫《植物的生活》，1953)

物中，对缺水的适应也是多途径的，除形态解剖方面的差异外，在生理生化机制方面也是不同的，例如，植物既可通过渗透物质积累，增强渗透调节能力来适应干旱缺水，也可通过根系中增加 ABA (脱落酸) 含量作为信号传递至地上部促使气孔关闭来适应缺水，还可直接通过增加细胞原生质耐脱水能力来适应干旱缺水。概括来说，植物对干旱缺水的适应机制主要包括逃旱、御旱(减少失水或增加吸水)和耐旱(耐脱

植物为获得生存与延续,不惜付出抑制生长和降低生产力的代价,但对于栽培作物,则必须与其高产、优质的农业目标结合起来。

水)三个方面。植物对干旱缺水适应的多样性或多机制,既说明了研究植物抗旱问题的复杂性和艰巨性,也说明了在进化过程中植物为避免因缺水而死亡总是在千方百计寻找出路,确实费尽了“心机”,这从一个侧面说明,水确实是生命存在所需的,是生命的赋予者。

在生物学意义上,植物为获得生存和延续,不惜付出抑制生长和降低生产力的代价是必要的、可取的。但对于栽培作物来说,目的是获取高产优质的收获物,因此要求植物对干旱缺水的适应必须与农业目标结合起来,即不仅能够生存,而且得以增收,这也就是节水农业所力求实现的既节水又增产的目标。

1.2 水是农业的命脉

我们已经从微观角度说明了有水才有生命存在,水是生命赋予者的一些道理,那么,在自然界中水是怎样分布和循环着的?在社会经济、特别是农业生产中,水又是怎样发挥作用的?下面就谈谈这方面的问题。

自然界的水分分布与循环

水是地球上分布最为广泛和活动性最大的物质之一。地球上发生的一切变化过程中,几乎都有水参加,特别是农业生态系统的发展(恶化和改善)主要通过水的作用来实现。在太古时代,当地球表面上的温度降到几千度时,水汽开始

地球上发生的一切变化过程中,几乎都有水参加,特别是农业生态系统的发展主要通过水的作用来实现。

由氢和氧化合而成,从此地壳的历史,便与水产生了密切的联系。地球上的水以液体、固体和水汽状态存在,其总体积大约为 13.6×10^9 亿立方米,可以以 2700 米的厚度均匀地把地球表面覆盖起来。遗憾的是,在总水量中,海洋液态水约占 97% 余下的 3% 的 3/4 是以固体状态固定在两极冰盖和冰川之中,仅有不足 1% 是陆地上的水,其中还包括大量难以开采的深层地下水。可见地球上的水量分配,不论是空间上还是时间上都是很不均匀的。汪洋大海,虽有几乎取之不尽的水,但是盐分含量很高,不能直接利用。陆地上实际可被利用的,仅占到全球总水量的 0.3% 左右,与海洋贮水量相比,虽是微不足道的,但在人类生活和农业生产中的作用却是十分巨大的和不可替代的。人们日常所谈论的水资源,实指这一部分逐年可更新的淡水量,其中包括地表水、土壤水和可被利用的部分地下水,它们都来源于大气降水。

地球上的水不是静态的,而是在热力、地心吸力等多种外力的影响下,不断地运动着,由此产生了水循环。水分以水蒸气状态,由海洋带向大陆,又还原为液态水,经过河流回到大海。这种现象称之为水分的大循环。但并不是所有以雨雪状态降落地陆地表面的水都流入河道内,它的一部分从土壤和水面蒸发以及经过植物蒸腾作用,直接进入大气形成云层并重新降水,这叫大陆内的水分循环,又称之为小循环(图 1.3)。在陆地水分循环中,陆地水分输入量与输出量的均衡关系称之为陆地水分平衡,可用下式表示:

$$P=R+ET$$

这里 P 为降水量, R 为一定面积上的径流量, ET 为地表、水

传统水资源概念对于指导农业生产来说有一定局限性。土壤水应作为一种独立的水资源看待。

面蒸发和植物蒸腾所消耗的水分。

自然界中的水分循环与平衡是考虑农业用水的基础与前提。这首先要从水资源概念说起。传统水资源系指水量资源，简称水资源。公认的区域水资源总量（ WR ）的定义为：当地降水形成的地表和地下水的产水量，即：

$$WR = R + Q - D$$

式中 R 为地表水资源量（即河川径流量）； Q 为地下水资源量（即地下水天然补给量）； D 为地表水和地下水相互转化的重复水量。

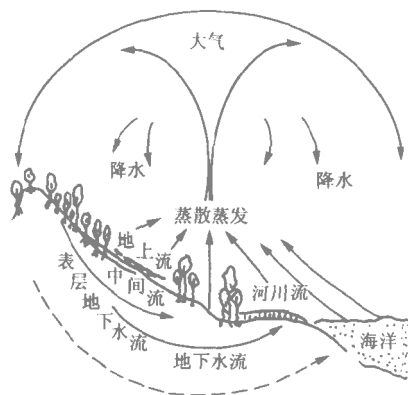


图 1.3 水分循环

(引自中国林学会主编《森林与水》，1987)

传统水资源概念对于评价一个国家和地区水资源状况，目前是一个公认标准，也为工业和生活用水提供了量的依据，但对于指导农业用水来说显然是不全面的。首先，地球

水是一种可再生的资源,但它是有限的;地球上的总水量是丰富的,但人类和农业可利用淡水资源所占比例却甚少。

上一切淡水资源主要来源天然降水,而天然降水除了形成河川径流和补给地下水外,还有相当部分(约一半左右)是直接作为土壤水存在的,尽管三者之间有相互转化的部分,但亦不应忽视土壤水的独立存在。近年来,人们开始认识到土壤水亦应作为一种独立的水资源来看待,对于农业生产(包括农田、林地、草地)而言,土壤水资源概念的形成尤为重要,因为一切植物生长所需求的水分都是从土壤中吸取的。在旱地农业生产中,土壤水是惟一的水源,在灌溉农业中虽然部分水源来自地表水和地下水(通过水库或水井),但在进入土壤后才能为作物所利用,其余部分仍直接依靠土壤储水供应。因此不少学者将贮存于土壤中的水称为“土壤水库”,并认为有效降水量实际上是降水转化为土壤水的部分。

如上所述,尽管水是一种可再生的资源,但它是有限的;虽然地球上的总水量是丰富的,但作为人类和农业可利用淡水资源所占比例却甚少,这就意味着每个人的供水量将随着人口的增长而下降。目前全球人均供水量已经比 1970 年减少了 1/3,在这期间地球上又增加了 18 亿人可能是最重要的原因。

水是农业的命脉

“有收无收在水”、“产粮 1 斤 耗水 1 吨”,这些传统经验道出了水是农业命脉的实质。确实,人类面临的第一个生态问题就是水分亏缺。在各种自然灾害中,旱灾居于首位。据

干旱缺水对农业和社会造成的损失相当于其他各自然灾害造成损失之总和。

估计，在世界范围内，干旱缺水对农业和社会造成的损失相当于其他各自然灾害造成损失之总和。我国自公元前 1766 年至 1937 年，共 3703 年中，发生各种自然灾害达 5258 次，其中旱灾为 1074 次，占 20.5%，发生次数最多。建国后 1950—1995 年间，全国平均每年受旱灾面积为 2130 万 hm^2 (公顷)，占耕地面积的 22% 成灾面积达 930 万 hm^2 成灾率 43% 每 3 年即有 1 年发生重旱。中度干旱造成农业产量显著下降，严重干旱则造成大幅度下降，世界各地莫不如此。例如：1983 年南非严重干旱，谷物产量从 2340 万 t(吨)降至 930 万 t，相当于下降 60%；1982 年是澳大利亚严重干旱年份之一，小麦产量下降到 890 万 t，只相当于正常年份的 40%；美国中西部玉米带，是世界上生产稳定的旱农区之一，严重干旱也可使一些地方产量下降 50%。据作者所作的分析，我国黄土高原水土流失区，从目前粮食产量的波动范围看，丰水年、一般年和严重干旱年的相对产量水平大致为 100%、75%、50%。

水对于农业的重要性不仅表现为水在很大程度上决定着生物生产力和作物产量，另一方面，水与温度共同决定着不同区域的植被类型、栽培植物种类以及整个农业结构。雨量充沛的湿润地区广泛分布着茂密的森林，而在降水量低 (250~500mm) 且分配不均的半干旱地区则不可能形成大面积连片中生森林，如黄土高原半干旱丘陵区大面积造林往往形成既不死亡也难以成林、成材的所谓“小老头树”，这种造林失败的实例已为数不少，主要原因是水分的容量不够，但这类地区却能大面积营造牧草和灌木，故半干旱地区成功的

水与温度共同决定着不同区域的植被类型、栽培植物种类以及整个农业结构。

农业结构往往是农牧结合型的。至于年降水量低于 250mm 的干旱地区则只能生长一些旱生植物，在荒漠地区甚而寸草不生。就栽培作物的分布而言，同样在相当程度上取决于水分的供应，如水稻属湿生性植物，只要有充足水分供应可以在世界各地广泛种植，如在我国北从黑龙江，南至海南岛，种植水稻都可以获得高产。我国南方，如广东、福建等地，当然是水稻适宜种植区，但在这些地方的丘陵山区，由于缺水也就只能种些玉米、甘薯之类的旱地作物了。

在干旱和半干旱地区，水是限制农业生产和整个国民经济发展的第一因素。世界干旱半干旱地区的面积约占地球陆地面积的 1/3，而在我国，则占到国土面积的 52.5% 其中干旱地区占到 30.8%，半干旱地区为 21.7%。人们一般往往将干旱与半干旱地区相提并论，其实，虽然这两类地区都缺水，但应当严格加以区分，它们属于两种完全不同的农业类型，具有不同的自然景观。在干旱地区，没有灌溉就没有农业，这是大家皆知的事实。我国的干旱地区主要集中分布在西北地区，以新疆为例，这里的年平均降水量仅为全国平均降水量的 1/4 径流量仅为全国的 3%，荒漠化土地面积达 7962 万 hm^2 ，占全国荒漠土地总面积的 46%。荒漠广布，镶嵌其间的山地湿岛和人工绿洲仅占全疆土地面积的 4%。我们在新疆考察所见，这里的景象十分奇特，广阔的荒漠中散布着点点绿洲，在绿洲中，你见到的是诱人的瓜果菜园，丰收在望的棉花玉米，繁茂高大的绿色防护林网，不由使人感叹绿洲农业的伟大，赞扬绿洲农业的美好，但这一切都要归功于水的供应。在这里，有水的地方就有生机盎然的绿色和生

有水的地方就有生机盎然的绿色和生命,无水则是一片令人生畏的黄色荒漠。

命,无水则是一片令人生畏的黄色荒漠,从而使我们真正体验到水是农业的命脉,水是生命源泉的现实意义。半干旱地区则是一个水土流失和干旱并存,生态系统与环境十分脆弱的地区,这里可以进行旱地农业耕作,具备农林牧综合发展的条件,但生产力低下,风险性大,由于人口压力,往往盲目开垦扩大耕地,导致植被破坏,加剧水土流失,形成恶性循环。我国黄土高原是典型的水土流失半干旱地区,这里的生态系统与环境治理和农业发展关键是在一个“水”字上,但主要不是依靠灌溉水,而是自然降水,即水的充分保持和高效利用。只要把自然降水充分、有效地利用好了,黄土高原的发展就有了希望。

生态需水,即保护和建设生态系统与环境所需要的供水,近年来日益显得重要,包括干旱地区营造农田防护林网,半干旱地区的植被建设和基本农田建设,风沙区的水力治沙造田,黄河治理中的输沙用水等等,莫不需要消耗大量的水资源。例如,黄河年径流总量 580 亿 m^3 ,其中以输沙为主的生态需水就占去了 200 亿 m^3 。这部分耗水虽不是直接用于农业生产,但对于改善生态系统与环境、保持工农业生产持续稳定发展至关重要,不可缺少,从另一个方面体现了水作为命脉的不可代替性。

在这里还要强调一下水利灌溉事业对推动农业生产发展所起到的巨大作用。我国历代经济重心的几次转移莫不与水利兴衰有关。现全世界灌溉面积占全部耕地面积的 16%,但生产了占 36% 的农产品;我国灌溉面积不足耕地面积的一半,生产了约 70% 的农产品。可见,发展农业灌溉的

生态需水,即保护和建设生态系统与环境所需要的供水,近年来日益显得重要。

的重要性。分析建国以来我国水利建设与粮食生产的关系,发现粮食产量的增加与灌溉面积发展成正比例(图 1.4)在一定时期里,水利建设成为我国农业可持续发展的主导因素。我们说,水是农业的命脉,在现实生产活动中,这一“命脉”的作用实际地体现在各种大、中、小型的水利建设和水分蓄积的措施上。

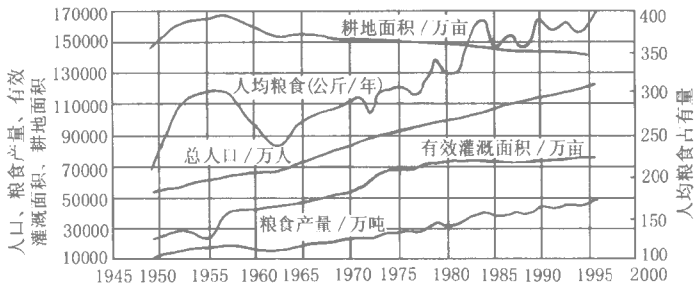


图 1.4 有效灌溉面积与粮食生产的关系

(引自“中国农业水危机及对策”,1997)

1.3 水危机正在到来

当你拧开自来水龙头水在哗哗流的时候,你是认为水总是用之不尽的,我们不必为缺水而发愁;还是意识到水是有限的,应当珍惜它呢?你可知道,地区性的水危机已经不断发生,而一场影响全球发展的水危机正在向人类逼近。

随着人类社会的进步,经济的发展,人口的剧增,加之水资源的浪费与污染,全球耗水量在快速增长。与 20 世纪初

粮食生产是一项耗水量很大的产业,人们取自河流、湖泊和地下水层中的水,有 2/3 被灌溉农业消耗掉了。

相比,目前世界每年水分消耗量,增长约 10 倍。当前,占世界人口总量 40% 的 80 个国家缺水,其中 26 个国家严重缺水。在发展中国家,有 12 亿人,即每 3 人中有 1 人还未能得到其日常生活所需要的有保障的供水,在那里有 80%~90% 的疾病和 1/3 以上的死亡都与水污染有关。1997 年 9 月在加拿大蒙特利尔召开的第九次世界水大会上,专门讨论了作为世界粮食保障决定因素的缺水问题,认为粮食生产是一项耗水量很大的产业,人们取自河流、湖泊和地下水层中的水,有 2/3 被灌溉农业消耗掉了。专家估计,目前世界 1/4 的粮食贸易是由缺水牵动的。到 2050 年将 有 30 亿人居住在缺水国家,那时,因人口增长而需要增加的粮食供应量,其中的大部分需通过增加灌溉面积来解决。但自 80 年代以来,世界人均灌溉农田已有下降趋势(图 1.5),今后在水资源日益紧缺的情况下再大量发展常规农业灌溉似乎已不可能,故从

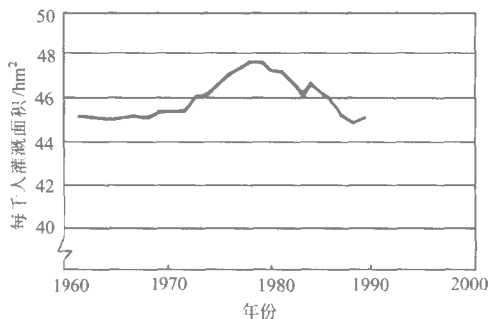


图 1.5 1961—1989 年世界每千人灌溉面积

(引自《最后的绿洲》,1998)