

中国污水灌溉与 环境质量控制

李森照 罗金发 编著
孟维奇 夏增禄

气象出版社

中国污水灌溉与environment质量控制

李森照 罗金发 编著
孟维奇 夏增禄

气象出版社

(京)新登字 046 号

内容简介

本书在作者多年研究成果的基础上,参考国内有关研究报道,就中国污水灌溉作了较全面的阐述。本书除简述污水灌溉之效益与对环境卫生人体健康的影响外,主要内容有污水灌溉对农田生物、灌区地下水和地表水的污染影响和污染物的迁移;污染物在作物、土壤中的残留累积规律及其预测;中国污水灌区的分布、污水灌溉类型和区划;污水灌区环境质量评价的诸种方法及其有关问题;最后还提出了中国若干污染物的土壤基准值及其分区;污水灌溉环境质量控制的方法。

本书是一部具有实用价值的论著,可供环境、农业、生物、土壤、林业、地学等专业有关技术管理人员、科技工作者以及大专院校有关师生参考。

中国污水灌溉与环境质量控制

李森照 罗金发 编著
孟维奇 夏增禄

责任编辑:扬长新 终审:纪乃晋
责任技编:扬长新 责任校对:扬长新
气象出版社出版

北京白石桥路 46 号 邮编 100081

地质大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张:7.75 字数:200 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月第一次印刷

印数:800 定价:11.00 元

ISBN 7-5029-1870-1/X · 0011

目 录

一、中国自然地理条件	(1)
二、污水灌溉的效益	(7)
三、污水灌溉对人体健康和环境卫生的影响	(13)
四、污水灌溉污染物对农田生物的影响	(16)
(一)有机污染物对作物的影响	(16)
(二)金属对作物的影响	(21)
(三)金属在污灌区杂草中的残留累积	(33)
(四)金属在污灌区昆虫和蚯蚓中的残留累积	(34)
(五)金属对作物影响的区域性分异规律	(37)
五、污染物在灌区土壤中的残留累积	(41)
(一)有机污染物在土壤中的残留累积	(41)
(二)金属在土壤中的残留累积	(45)
(三)污染物在土壤中的残留累积模式	(47)
六、污水灌溉对地表水和地下水的影响	(50)
(一)污水灌溉对地表水的影响	(50)
(二)污水灌溉对地下水的影响	(53)
七、中国污水灌溉的类型、分布及其区划	(68)
(一)污水灌溉的类型	(68)
(二)中国污水灌溉的区域分异	(69)
(三)中国污水灌溉区划	(71)
八、土壤基准及其区域分异与分区	(75)
(一)土壤基准研究的现状	(75)
(二)土壤重金属基准的确定	(76)
(三)中国主要类型土壤重金属的基准	(78)
(四)土壤矿物油基准的确定	(80)
(五)关于土壤酚、氰的基准问题	(81)
(六)土壤重金属基准的区域分异	(81)
(七)中国土壤重金属基准分区	(82)
九、污水灌区环境质量评价	(85)
(一)评价标准的选择	(85)
(二)环境质量评价的方法	(87)
(三)污水灌区环境质量评价中的几个问题	(99)

十、污水灌区环境质量控制	(101)
(一)灌溉水质标准控制	(101)
(二)农田污泥施用标准控制	(103)
(三)土壤环境质量标准控制	(106)
(四)区域污染物总量控制	(106)
(五)区域环境信息系统控制与应用	(109)
参考文献	(119)

一、中国自然地理条件

我国位于全球最大的陆地欧亚大陆的东南部,又位于世界最大的海洋——太平洋的西岸,领土面积约 960 万平方公里,是世界上地域最辽阔的国家之一。我国人口众多,历史悠久,中华大地具有独特的复杂多样的自然地理环境。

1. 山地、高原为主的阶梯地形 我国的五大地貌基本类型中,山地占 33%,高原 26%,盆地 19%,平原 12%,丘陵 10%。显然,我国的地表结构以山地和高原为主体。

我国地势西高东低,呈三级阶梯状分布(图 1-1)。最高一级阶梯为青藏高原,平均海拔为 4000—5000 米,高原内部山脉海拔在 5000—6000 米以上。这是一个独特的高寒山区,有“世界屋脊”之称。高原周围耸立着高大山系,北侧有昆仑山、阿尔金山和祁连山,东侧为龙门山、岷山、横断山等。第二级阶梯为高原和盆地,包括三大高原(云贵高原、黄土高原和内蒙古高原)和三大盆地(四川盆地、塔里木盆地和准噶尔盆地),以及它们周围和其中的山地,一般海拔 1000—2000 米。大兴安岭、太行山、巫山、雪峰山一线以东为平原和丘陵区,属第三级地形阶梯,海拔多在 500 米以下,包括东北平原、华北平原、黄淮海平原、长江中下游平原,辽东丘陵、山东丘陵、江南丘陵,以及一些海拔约 500—1500 米之间的山地。

2. 大陆性季风气候 我国自然地理环境最主要的基本特征是季风气候,我国是世界上季内最为显著的国家之一。大兴安岭、阴山、贺兰山、乌鞘岭一线的以东、以南,青藏高原以东为东部季风气候区;青藏高原为高原季风气候区;西北内陆属非季风气候区。

以川南、滇东为界的西南季风区属印度季风区,冬季处于极地大陆冷高压南缘,加之地形阻隔使南下冷气流势力减弱;夏季的西南季风强于冬季风,来自印度洋的热带海洋气流受热带季风影响而加强,降水主要由夏季风控制。印度季风区面积不大,除此之外,我国东部季风气候区均属东亚季风区。

我国的东亚季风区的突出特点是冬干冷、夏湿热。冬季由极地大陆气团控制,多偏北气流,夏季受来自太平洋的热带海洋气团影响,为东南季风,并且冬季风强于夏季风,降水以极锋雨为主。主要天气过程为寒潮、梅雨和台风。寒潮是极地强冷空气活动的大型天气过程,爆发时间主要在 10 月下旬至次年 4 月上旬,其最突出的天气现象为大风和降温,多偏北大风,一般风力达 6—8 级,强者达 10—11 级。寒潮冷锋过后,气温普遍可下降 10—12℃。梅雨发生在北纬 28°—34° 之间的长江中下游地区,也就是江淮地区。发生时间在初夏,多年平均入梅期为 6 月 15 日,出梅期为 7 月 9 日,梅雨期约为 24 天。梅雨是一种大范围的大型降水天气气候过程,其间云雨日多,相对湿度大,气温较低,降水多连续性,并有大雨和暴雨出现。台风是形成于北太平洋西部热带洋面上的一种强大的热带气旋,其中心风力 8—11 级,高于此值的称强台风,低于此值的称热带低压。台风登陆季节以 7—9 月次数最多,沿途带来大风和暴雨,危害较大,但对解除江南伏旱有利。

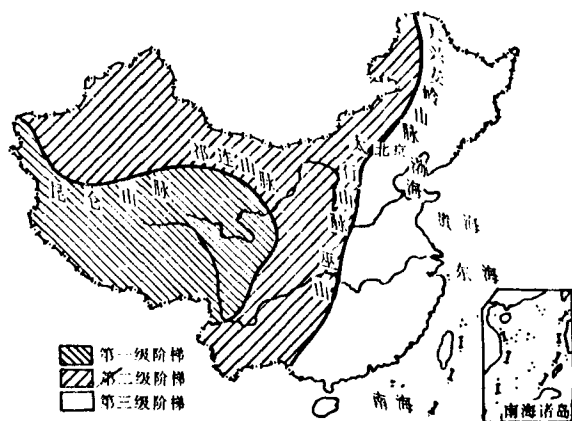


图 1-1 我国两条重要的地势界线示意图

我国是典型的大陆性季风气候,其基本特征为:(1)冬冷夏热,温度年较差大。(2)降水集中于夏季,雨量年际变化显著。(3)气候季节分明,雨热同季。

3. 复杂多样的自然景观成分 第三纪全球气候暖热,东北南部和华北为亚热带,长江中下游为热带,西北属地中海气候。后来,由于西藏高原开始隆起,古地中海消失,西北渐变干旱,荒漠形成并发展,随着亚洲季风的形成和发展,产生了独特的现代自然地理过程。第四纪全球气候变冷过程中,气候波动剧烈,冰期与间冰期多次交替,使我国自然带多次南北迁移,但我国境内并未形成大陆冰盖,暖热的第三纪自然景观成分在有利地形条件下残存,并在南方的现代自然地理过程中仍起着重要作用。第四纪寒冷时期,西部地区广泛的冰川作用,华北地区大面积的黄土覆盖,对环境演变有着深刻影响。特别是新构造运动使青藏高原迅速抬升,加强了西北干旱和东部季风气候的发展,在我国明显地形成了东部季风区、西北干旱区和青藏高寒区三大自然地理区。我国地理成分丰富,类型众多齐全。植物种类仅次于马来西亚和巴西,居世界第三位。除了极地苔原和热带荒漠外,世界上所有主要植被类型与土壤类型在我国几乎都有分布。我国还具有许多独特的植被和土壤类型,它们起源古老,成分结构独特,例如水杉、银杏等有“活化石”之称。气候、植被、土壤等自然景观成分在地表呈现复杂而有规律的地理分布。

4. 人类活动对地理环境的深刻影响 人类是现代自然地理过程的重要影响因素,通过对各自然环境要素的改造使自然环境面貌发生巨大变化,形成了人类自然环境。开垦荒地,兴修水利,植树造林,城镇交通建设等大大改变了自然面貌(表 1.1),变野生植被为栽培植物,建立了农业植被。农业栽培改变了土壤中矿物质的自然迁移过程,加强了土壤中物质循环转化过程,也改变了耕作层的理化性质,从而创造了多种耕作土壤,如水稻土、灌淤土、黑垆土等。人口、资源和环境已成为众所关注的重大社会问题。组成生态环境的各种自然要素都是自然资源,过度的不合理的利用自然资源会导致自然环境结构的稳定性发生变化,造成生态环境失调。例如,乱砍滥伐森林,大量开垦草地,引起水土流失和土地沙漠化;过度开采地下水造成地下水位下降和地面下沉;工业三废排放造成环境污染等。因此,我们要合理利用自然资源,改造自然,保护环境,保持生态环境协调平衡发展,以造福子孙后代。

表 1-1 中国土地利用现状^[2]

土地利用状况	面积(亿亩)	占全国土地面积(%)
耕地	20.0	13.9
牧场	42.9	29.8
有林地	18.3	12.7
茶、果、热作等园地	0.34	0.2
疏林、灌木林	6.6	4.6
江、河、水库等内陆水面	4.0	2.8
宜农荒地	5.3	3.7
城镇道路及工矿用地	10.0	6.9
沙漠	9.0	6.3
戈壁	8.4	5.8
沙漠化土地	2.5	1.7
永久积雪和冰川	0.8	0.6
岩石裸露地	6.9	4.8
其他	8.86	6.2
全国土地总计	143.9	100.0

5. 中国土壤的分布 由于纬度、离海距离和海拔三个基本因素的综合影响所产生的热量和水分结合状况所决定,自然地理各种要素都在地表呈现出一定的水平方向和垂直方向的地带性分布规律。我国的土壤和植被分布具有显著和地带性规律。

(1)水平分布。土壤的形成与分布同风化壳类型有十分密切的关系。我国风化壳有六种类型：南部热带与亚热带地区的富铝风化壳；暖温带和温带湿润地区为硅铝型风化壳；碳酸盐风化壳主要分布于内蒙古高原、黄土高原、华北平原、塔里木盆地和准噶尔盆地边缘等地；含盐风化壳分布于西北干旱地区的新疆、河西走廊、柴达木盆地、宁夏等地，嫩江下游、渤海西岸及苏北沿岸等地也有分布；碎屑风化壳主要分布于青藏高原；还原系列风化壳主要分布于长江中下游平原、珠江和闽江三角洲、成都平原、松潘草地、黄河源头地区等。

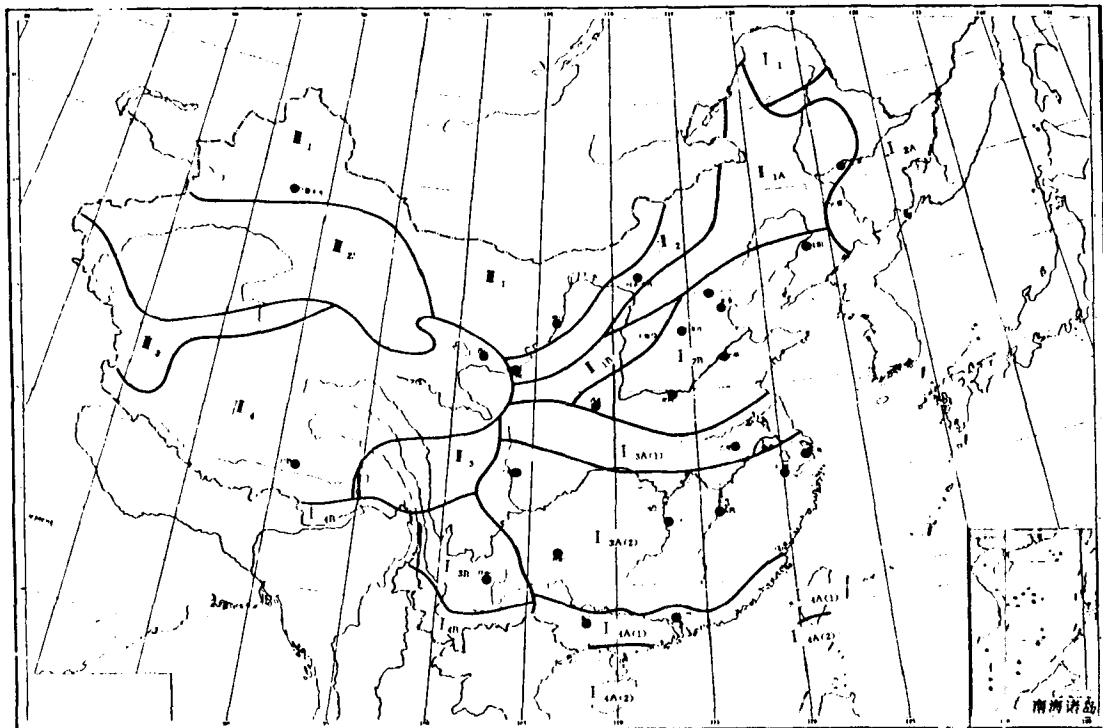


图 1-2 中国植被—土壤分区概图

I 森林区域

- I₁ 寒温带落叶针叶林—漂灰土区
- I₂ 温带落叶阔叶林—暗棕壤、棕壤区
- I_{2A} 温带常绿针叶树与落叶阔叶树混交林—暗棕壤(暗色森林土)亚区
- I_{2B} 暖温带落叶阔叶林—棕壤、褐土亚区
- I₃ 亚热带常绿阔叶林—黄棕壤、黄壤、红壤区
- I_{3A} 东部常绿阔叶林亚区
 - I_{3A(1)} 原亚热带常绿阔叶树的落叶阔叶林—黄棕壤、黄褐土小区
 - I_{3A(2)} 暖亚热带常绿阔叶林—红壤、黄壤小区
- I_{3B} 西部干性常绿阔叶林—山原红壤亚区
- I₄ 热带季雨林—砖红壤性土、砖红壤区
- I_{4A} 东部热带季雨林亚区
 - I_{4A(1)} 准热带季雨林—砖红壤性土小区

- I_{4A(2)} 热带季雨林—砖红壤小区

- I_{4B} 西部准热带、热带季雨林—砖红壤性土、砖红壤亚区

II 草原区域

- II₁ 温带森林草原—黑钙土、黑垆土区
- II_{1A} 温带森林草原—黑钙土 黑土亚区
- II_{1B} 暖温带森林草原—黑垆土亚区
- II₂ 温带草原—栗钙土、灰钙土区
- II₃ 高寒森林草甸—高山草甸土区
- II₄ 高寒草原—高山草原土区

III 荒漠区域

- III₁ 温带荒漠、半荒漠—灰棕漠土、风沙土区
- III₂ 温带荒漠、裸露荒漠—棕漠土、风沙土、盐土区
- III₃ 高寒荒漠—高山寒漠土区

从东南向西北,我国植被与土壤的水平分布分为森林、草原和荒漠三大基本区域(图 1-2、图 1-3);大兴安岭—黄土高原东南边缘—横断山脉北部—西藏东南一线以东为森林区域;以西为草原区域;内蒙古高原中部—祁连山—西藏高原北部一线以西为荒漠区域。中国土壤水平地带分布模式(图 1-3)分为两个基本类型:湿润类型土壤带和干旱类型土壤带。东部森林区域的土壤分布:寒温带的大兴安岭北部为漂灰土;温带的兴安岭、长白山和松辽平原为暗棕壤;暖温带的山东半岛、辽东半岛、黄淮海平原、华北山地、汾渭谷地等为棕壤和褐土;北亚热带的长江中下游区为黄棕壤,汉江中上游区为黄棕壤和黄褐土;在中亚热带,以红壤和黄壤为主;南亚热带为赤红壤,亦称砖红壤性土;热带为砖红壤。草原区域内热量都较低,热量的影响已不如水分作用明显,从而使植被与土壤的水平方向变化与距离海洋远近有关,大致与海岸相平行,由沿海向内陆依次分布为:温带森林草原—黑钙土、黑土;暖温带森林草原—黑垆土;温带草原—栗钙土、灰钙土;高寒森林草甸—高山草甸土;高寒草原—高山草原土。荒漠区域内的植被与土壤差别,主要由地形条件不同引起的水热组合状况所决定,尤其是由水分差别所决定;陕甘地区和北疆的温带荒漠、半荒漠—灰棕漠土、灰漠土、风沙土;南疆和青海的暖温带荒漠、裸露荒漠—棕漠土、风沙土、盐土;藏北高原西北边缘的昆仑山和喀喇昆仑山山地的高寒荒漠—高山寒漠土。

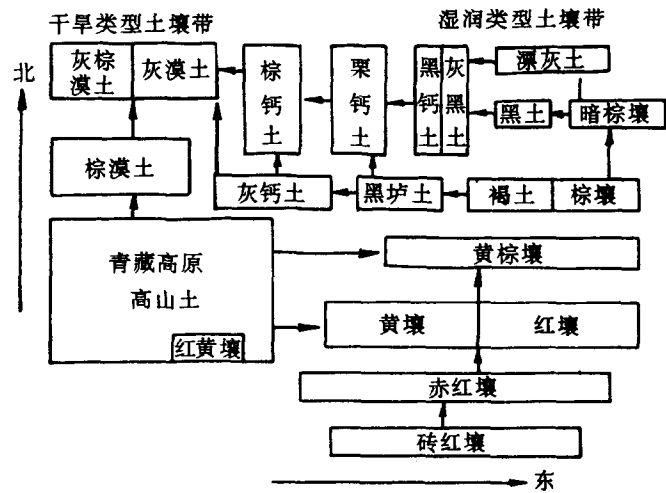


图 1-3 中国土壤水平地带分布模式

草原区域内热量都较低,热量的影响已不如水分作用明显,从而使植被与土壤的水平方向变化与距离海洋远近有关,大致与海岸相平行,由沿海向内陆依次分布为:温带森林草原—黑钙土、黑土;暖温带森林草原—黑垆土;温带草原—栗钙土、灰钙土;高寒森林草甸—高山草甸土;高寒草原—高山草原土。荒漠区域内的植被与土壤差别,主要由地形条件不同引起的水热组合状况所决定,尤其是由水分差别所决定;陕甘地区和北疆的温带荒漠、半荒漠—灰棕漠土、灰漠土、风沙土;南疆和青海的暖温带荒漠、裸露荒漠—棕漠土、风沙土、盐土;藏北高原西北边缘的昆仑山和喀喇昆仑山山地的高寒荒漠—高山寒漠土。

(2)垂直分布。作为一个多山国家,我国山地植被和土壤的类型

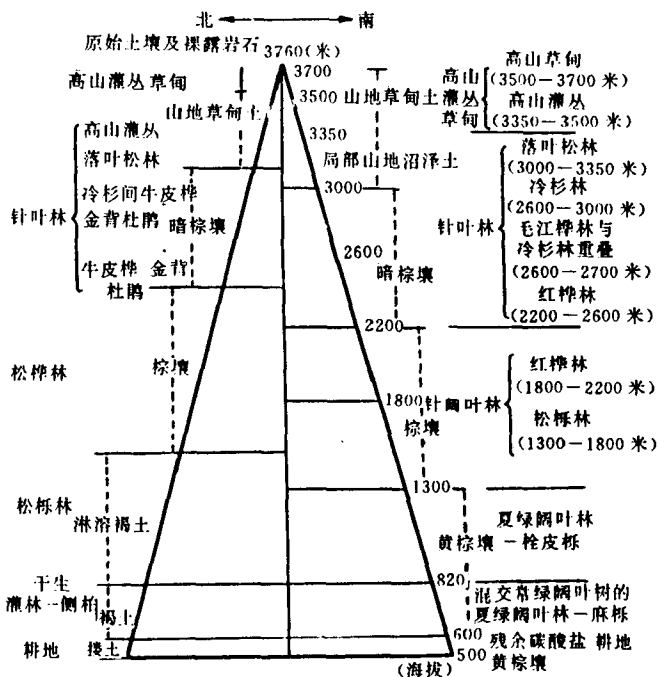


图 1-4 秦岭南北坡土壤垂直谱比较

非常丰富,随着海拔高度的增加逐渐递变成各种相似于水平地带的类型,形成各种类型的垂直带谱,基本上可分为两大类型:海洋性山地垂直带谱和大陆性山地垂直带谱(表 1—2)。

表 1—2 我国主要山地土壤垂直带谱类型

类型	地带	地区	土 壤 垂 直 带 谱
海洋性	热带	湿润地区	(<400 米)砖红壤(400 米)—山地砖红壤(800 米)—山地黄壤(1200 米)—山地漂灰黄壤(1600 米)—山地灌丛草甸土(1879 米) (海南岛五指山南坡)
	南亚热带	湿润地区	(100 米)赤红壤(800 米)—山地黄壤(1500 米)—山地黄棕壤(2300 米)—山地棕壤或山地暗棕壤(2800 米)—山地草甸土(3000 米) (台湾玉山西北坡)
		半湿润地区	(<300 米)赤红壤(300 米)—山地赤红壤(700 米)—山地黄壤(1300 米) (广西十万大山马耳夫南坡)
		半干旱地区	(500 米)燥红土(1000 米)—赤红壤(1600 米)—山地红壤(1900 米)—山地黄壤(2600 米)—山地黄棕壤(3000 米)—山地灌丛草甸土(3054 米) (云南哀牢山)
	中亚热带	湿润地区	(<700 米)红壤(700 米)—山地黄壤(1400 米)—山地黄棕壤(1800 米)—山地灌丛草甸土(2120 米) (江西武夷山西北坡)
			(500 米)山地黄壤(700 米)—山地黄壤(1100 米)—山地黄棕壤(1700 米)—山地暗棕壤(2900 米)—山地草甸土(3100 米) (四川峨嵋山)
	北亚热带	湿润地区	(<750 米)黄棕壤(750 米)—山地棕壤(1350 米)—山地暗棕壤(1450 米) (安徽大别山)
		半湿润地区	(600 米)山地黄褐土(1100 米)—山地黄棕壤(2000 米)—山地棕壤和山地草甸土(2570 米) (川陕边界大巴山北坡)
	暖温带	湿润地区	(<50 米)棕壤(50 米)—山地棕壤(800 米)—山地暗棕壤(1100 米) (辽宁千山山脉)
		半湿润地区	(600 米)山地淋溶褐土(900 米)—山地棕壤(1600 米)—山地暗棕壤(2000 米)—山地草甸土(2050 米) (河北雾灵山)
			(<1000 米)栗土(1000 米)—山地褐土(1500 米)—山地淋溶褐土(2500 米)—山地棕壤(3200 米)—山地暗棕壤(3700 米)—山地草甸土(4300 米) (陕西太白山北坡)
			(<1900 米)山地褐土(1900 米)—山地淋溶褐土(2200 米)—山地棕壤(2500 米)—山地草甸土(2700 米) (山西黄草梁东坡)
	温带	湿润地区	(<800 米)白浆土(800 米)—山地暗棕壤(1200 米)—山地漂灰土(1900 米)—山地寒漠土(2170 米) (长白山北坡)
		半湿润地区	(<1300 米)黑钙土(1300 米)—山地暗棕壤(1900 米)—山地草甸土(2000 米) (大兴安岭黄岗山)
	寒温带	湿润地区	(<500 米)漂灰土(500 米)—山地漂灰土(1200 米)—山地寒漠土(>1400 米) (大兴安岭北段)
大陆性	暖温带	干旱地区	(2600 米)山地棕漠土(3500 米)—山地淡棕钙土(3800 米)—山地棕钙土(4200 米)—高山巴嘎土(4500 米)—高山漠土(5200 米) (昆仑山中段)
	温带	半干旱地区	(<1200 米)栗钙土(1200 米)—山地栗钙土(阳坡)和山地褐土(阳坡)(1700 米)—山地淋溶褐土(阴坡)和山地黑钙土(阳坡)(2200 米) (阴山乌拉山北坡)
		干旱地区	(800 米)山地栗钙土(1200 米)—山地黑钙土(1800 米)—山地灰黑土(阳坡)和山地漂灰土(阴坡)(2400 米)—山地寒漠土(3300 米) (阿尔泰山布尔津山区)
			(1100 米)山地栗钙土(1500 米)—山地黑钙土(1800 米)—山地灰褐土(2700 米)—高山黑毡土(2800 米)—高山黑毡土(>2800 米) (西部天山伊犁山区)
			(<2000 米)山地灰棕漠土(2000 米)—山地棕钙土(2300 米)—山地栗钙土(2500 米)—山地黑钙土(2700 米)—高山斑毡状巴嘎土(2900 米)—高山草毡土(>2900 米) (东部天山北坡伊吾山区)

海洋性山地垂直带谱主要分布于我国东部季风区,以各种地带的森林植被与森林土壤为主体,随着海拔增高热量迅速降低是植被与土壤发生递变更替的主要原因,其结构从北向南趋于复杂,层次也有增多。在亚热带,随着冬季风影响程度的减轻,红壤分布上限自东向西相应地增高:浙、闽沿海海拔 900 米,江南丘陵 700 米,湘西、黔东 900—1100 米,黔西 1300 米,滇中为 1800 米,滇西横断山区升至 2200—2400 米。山地垂直带的基带性质取决于山地所在的水平带属性,而垂直带谱结构的复杂性则取决于基带的特性以及山体的相对高度、坡向、走向和山体的结构等因素。秦岭就是山

地坡向对土壤垂直结构影响的最明显的例子(图 1—4):其南坡属黄棕壤带,北坡属褐土带,除基带土壤不同外,作为主要建群土壤的山地棕壤的下限则阴阳坡明显不同,南坡为 1300 米,而北坡为 1500 米,北坡比南坡高 200 米。

二、污水灌溉的效益

我国污水灌溉的发展大体划分为三个时期:(1)1957年以前的自发灌溉时期。自古以来,我国就有利用粪水灌田的习惯。从本世纪四十年代起,抚顺、北京等地开始利用生活污水和工业废水的混合污水灌溉农田。(2)1957—1972年的迅速发展时期。1957年,建工部联合农业部和卫生部把污水灌溉列入国家科研计划,从此开始大规模兴建灌溉工程,污水灌溉得到迅速发展。全国污水灌溉面积1957年为17.3万亩,1963年为63万亩,1972年达到140万亩。(3)1972年至今的积极慎重发展时期。1972年农林部联合国家建委在石家庄召开了全国污水灌溉会议,制定了“积极慎重”发展污水灌溉的方针,并拟定了污水灌溉暂行水质标准,从此,中国的污水灌溉进入了一个注意环境保护的崭新阶段。在“积极慎重”方针指导下,我国的污水灌溉面积在稳步发展,1976年为270万亩,1980年为500万亩,1981年为1000万亩,据1982年农业部环办统计,全国污水灌溉面积已达2098万亩。其中,天津市已达223.83万亩,居全国各大城市第一位;北京市达133万亩,居第二位。西安、石家庄、太原、济南、沈阳等城市,都是全国著名的污灌区。

国外污水灌溉也有悠久的历史。早在古希腊时代就利用污水灌溉农作物,至16世纪中叶,西欧各国相继利用污水灌溉农田。前苏联于1943年成立“中央污水农业利用科学研究站”,1970年发展成为分布全国的15个从事污水科学利用研究指挥中心。据报导,前苏联是世界上污灌面积最大的国家,约150万公顷以上,每年利用污水约60亿吨,相当于全年污水总量1640亿吨的3.6%。另有报道称,前苏联70年代末已有50%的污水用于农田灌溉,计划80年代将全部城市污水灌入农田,污灌面积达750万公顷。还有报导称,前苏联污灌面积是当前世界上最大的,并且还在逐年扩大。据估算,前苏联可能发展的污灌面积约800—1200万公顷,每年可消除污水30—40立方公里(300—400亿吨),约相当于前苏联全年污水总量的 $1/4^{[3]}$ 。据以上资料估算,前苏联污灌面积当在1亿亩以上,即700万公顷以上。美国1800年开始广泛应用污水灌溉,1870年建立专门污灌农场。澳大利亚1893年开始利用污水灌溉牧场等。19世纪末随着城市人口的增长,城市土地紧张以及公共卫生等原因,对污水进行人工处理进行研究和发 展,污水灌溉农田一度萧条,各国大力兴建污水处理厂,进行高度集中的人工处理。目前美国已有城市污水处理厂22600座,其中二级处理占68%,平均每万人便有一座污水处理厂。西德、法国、英国也是平均一万人中有一座污水处理厂。瑞典平均每五千人就有一座污水处理厂。由于二级处理对氮、磷和无机盐类的去除率很低,排放的废水容易造成地表水富营养化,因此还需要进行深度处理。但是,深度处理投资大,耗能高,所以从50年代以来,开始兴建污水氧化塘,发展土地处理系统。1978年美国已有5000多座氧化塘处理系统,还有2000多个污水土地处理系统。最近20多年来,又把氧化塘和污水灌溉串联起来。在美国50个州、1个独立区中,有45个州采用污水灌溉,尤其是西部半干旱区和干旱区发展较快。目前已有25%的污水用于农田灌溉,美国环保局还提出报告,提倡发展污水土地处理,1976年颁布污水灌溉和养鱼水质标准。美国1985年统计,全国有536个地方回用污水,大多用于农业及绿地灌溉,回用水量每年达5.81亿方,其中有6处用渗滤方式把回收水回灌地下,以提高地下水位,防止海水入侵地下水。据报导,原民主德国污灌面积在6万公顷以上,印度、墨西哥等国也在大力发展污水灌溉。目前欧美各国污水灌溉主要用于园林地、牧草、饲料作物,也有用于果树、棉花、甜菜等作物,而对粮食作物和蔬菜应用污灌较少。

污水灌溉之所以能不断发展,而且是势在必行,势不可挡,一是由于水资源短缺和能源紧张,更重要的是它具有显著效益。污水灌溉的效益体现在三个方面:宝贵的水资源、难得的肥源和净化水质。因此,污水灌溉既要合理利用污水的水肥资源,提高作物产量,促进农业生产,同时又达到减少污染、保护环境之目的,实在是一举两得。

1. 污水是宝贵的水资源 全球水资源分布状况如表 2-1 所示。全球约有 14 亿 km^3 的水,其中 96.54% 为海水,陆地上的盐湖和地下咸水占 0.946%; 全世界淡水储量仅有 35029210 km^3 , 占全球总水量的 2.53%。而全球淡水资源中,以大陆冰盖和冰川形式分布于极地和高山的固体水占淡水总量的 68.7%, 其他各种形式的淡水占 31.3%, 尚不足全球总水量的 1% (0.814%)。在这全球淡水总量的 31.3% 中,又绝大部分储存于地下(地下淡水、土壤水和永冻土底冰占全球淡水总量的 30.96%), 给开采利用带来很大困难。淡水湖泊和河流只占全球总水量的 0.007% 和 0.0002%, 这些水又要蒸发消耗 2/3, 只剩下 1/3 的地表淡水资源,即 42083 km^3 的淡水可供人类生活和工农业生产使用。如果考虑到淡水资源的分布不均,再加上水体遭受污染危害,大大降低了淡水资源的使用价值。因此,世界性的淡水水资源危机的现状,越来越明显地展示在人类面前。国内外不少专家预测,到 90 年代,水资源问题将取代能源问题而居首位。联合国粮农组织预测,粮食产量要增长 60%, 才能在 1980—2000 年的 20 年内维持 70 年代的粮食消费水平。要做到这一点,增加水浇地便是一条重要措施。

表 2-1 地球表面各种水体的储量

序号	水的类型	水量(km^3)	占总水量的(%)	占淡水总量的(%)
1	海水	1,338,000,000	96.54	
2	地下水	23,716,500	1.71	
	咸水	12,870,000	0.93	
	淡水	10,846,500	0.78	30.96
3	冰雪水	24,064,100	1.74	68.7
4	湖泊水	176,400	0.013	
	咸水	85,400	0.006	
	淡水	91,000	0.007	0.26
5	沼泽水	11,470	0.0008	0.033
6	河水	2,120	0.0002	0.006
8	大气水	12,900	0.001	0.037
9	生物水	1,120	0.0001	0.0032
	总计	1,385,984,610	100	
	淡水	35,029,210	2.53	100

我国年径流总量为 26380 亿立方米,居世界第 6 位(表 2-2);多年平均地下水补给量为 7718 亿立方米,两者重复水量约为 6888 亿立方米;全国多年平均(1956—1979 年)水资源总量 27210 亿立方米。

表 2-2 世界几个主要国家水资源比较表

国家	巴西*	前苏联	加拿大*	美国	印尼*	中国	欧洲	印度	日本
年径流总量(亿 m^3)	51912	47140	31220	29702	28100	26300	32100	16740	5200
人均径流量($\text{m}^3/\text{人}$)	35943	18500	120308	13904	15974	2700	4938	2780	4643

* 根据《最新世界地图集》中人口推算

我国河川径流量约占世界总径流量 47 万亿立米的 5.6%，然而人口却占世界总人口的 22%，因此，我国人均径流量只有 2700 立米，仅为世界平均值 10800 立米的 1/4；亩均水量为 1800 立米，只有世界平均值的 1/2。由此可见，我国人均水资源量很低，亩均水资源量也很低。

我国水资源的地区分布很不平衡(表 2-3 至 2-5)。一般说来，在我国东部季风区域中，秦岭、淮河以南的南方地区，水资源丰富，水分有余；而北方地区则水资源不足；西北干旱区域，水资源贫乏。从三个表中可以看出，北方六片占全国国土面积的 63.7%，占全国耕地面积的 62.2%，其水资源总量只占全国的 20.11%。其中，黄淮海平原所在的海滦河和淮河流域，其水资源仅占全国的 5.25%，海滦河占 1.49%，淮河占 3.76%，而其人口和耕地却都占全国的 27%，是水资源最紧张的地区。

我国是世界上季风气候最显著的国家之一，降水的年内分配不均，年际变化巨大，丰水年与枯水年降水量之比，南方一般为 1.5—3.0 倍，北方为 3—6 倍。最大与最小年径流量之比，南方河流一般小于 3，北方河流一般大于 6，海河和淮河各支流可达 10—20，甚至更高。

表 2-3 我国各流域水资源统计

流域	降水总量 (亿 m ³)	年径流量		地下水补给量		水资源总量	
		(亿 m ³)	占全国 (%)	(亿 m ³)	占全国 (%)	(亿 m ³)	占全国 (%)
黑龙江	4358	1192.1	4.51	251.6	7.14	1388.5	5.10
辽河	1915	486.2	1.84	229.42	2.97	581.41	2.14
海滦河	1775	291.8	1.10	276.58	3.58	405.86	1.49
黄河	3917	687.55	2.60	422.60	5.48	762.37	2.80
淮河	2839	766.5	2.90	453.59	5.88	1024.35	3.76
长江	19162	9600	36.39	2130.71	27.60	9600	35.28
珠江	8945	4738.6	17.96	960.04	12.44	4738.61	17.41
浙闽台诸河	4342	2714.2	10.28	574.73	7.45	2714.2	9.97
西南诸河	7846	4684.4	17.76	114.67	14.44	4684.4	17.26
额尔齐斯河	186	103.3	0.39	58.89	0.76	103.80	0.38
内陆诸河	4980	1115.5	4.23	945.35	12.24	1206.54	4.44
北方流域片总计	19781	4643	17.60	2938	38.06	5473	20.11
南方流域片总计	40295	21737	82.40	4780	61.94	21737	79.89
全国总计	60076	26380	100	7718	100	27210	100

表 2-4 我国南北方水、土资源的对比

流 域(片)	水资源总量		耕地面积	
	(亿 m ³)	(%)	(亿亩)	(%)
南方四片	21737	79.89	5.70	37.8
北方六片	5473	20.11	9.36	62.2
其中：黑龙江	1389	5.10	1.84	12.2
辽河	581	2.14	0.98	6.5
海滦河	406	1.49	1.66	11.0
黄河	702	2.80	1.96	13.0
淮河	1024	3.76	2.73	15.7
内陆各河(包括额尔齐斯河)	1311	4.82	0.73	4.8
全 国	27210	100	15.05	100

表 2-5 水土资源和人均水量地区分布情况表^[11]

流域或地区	地表水资源 (亿立方米)	地耕面积 (万亩)	人 口 (万)	亩均水量 (立方米/亩)	人均水量 (立方米/人)	亩均水量 与全国比	人均水量 与全国比
全 国	26144	149000	97000	1755	2695	1.00	1.00
珠江流域	3070	7808	7411	3932	4142	2.24	1.54
浙、闽	2001	4689	6280	4267	3186	2.43	1.18
长江流域	9793	37053	34580	2643	2832	1.51	1.05
淮河流域	530	18866	12479	281	425	0.16	0.16
黄河流域	560	19561	8167	286	685	0.16	0.25
海河流域	284	15108	8836	188	321	0.11	0.12
辽河流域	151	7054	2833	214	533	0.12	0.20
松花江流域	759	17568	4652	432	1631	0.25	0.16
西 藏	3400	344	183	98800	186000	56.0	69.0

我国水资源的人均占有量很低,亩均占有量也很低,且水资源的地区分布很不平衡,降水量和径流量在时间上分配又极不均匀。我国水资源存在着的这种地区上的不均匀性,时间上的不平衡性和年际间的不稳定性,使得水资源利用的保证率很低,这也正是我国许多地方,特别是北方地区污水资源农业利用势在必行的原因。

1982年全国污水排放量310亿吨(1985年为342亿吨,其中75%是工业废水,25%是生活污水,80%未经处理而排放。1988年达368亿吨,其中工业废水268亿吨,占72.8%,生活污水占27.2%,工业废水处理率28%,城市生活污水处理率不足4%),大致相当于每天污水排放量约1亿吨,灌溉了全国2098万亩农田,这是一大笔很宝贵的水资源。根据农业部环境保护科研监测所调查,北方城市混合污水灌区每年每亩利用污水217.8吨。又据北京市资料,污水灌溉用水量为每年每亩219.4吨。在以污水为唯一灌溉水源的地方,污水灌溉每亩用水量一般在500吨以上。

2. 污水是难得的肥源 全国污水灌区农业环境质量普查协作组1976—1982年对全国三种类型、37个污水灌区、约570万亩污灌面积进行的农业环境质量普查评价(以下简称全国污灌区普查评价),提供了丰富翔实的资料。城市混合污水平均含氨氮8.1—19.6ppm,五氧化二磷3.0—3.8ppm,石化废水平均含氨氮33.7ppm;工矿废水平均含氨氮1.6ppm,五氧化二磷4.0ppm。总平均污水含氨氮11.6ppm,五氧化二磷3.6ppm,如果合理利用对农业生产会带来很大好处。例如,每年每亩灌500方水,就相当于58斤硫酸铵和21斤过磷酸钙的肥效。被调查的37个灌区每年利用污水143517万吨,其肥料价值相当于1.66亿斤硫酸铵和6000万斤过磷酸钙。据此推算,全国每年利用全部污水(按360亿吨计),其肥料价值则相当于41.76亿斤硫酸铵和15.05亿斤过磷酸钙,这是何其巨大的肥料价值啊。

3. 合理利用污水,促进农业生产 将污水作为灌溉用的稳定水源和丰富的肥源,合理利用,具有促进农业生产的显著的经济效益。污水中不仅含有氮、磷、钾三种肥料要素,而且还含有有机质和多种微量营养元素。合理污灌,可以节省大量化肥,提高作物产量,还会改善土壤理化性质,提高土壤肥力。

根据中国科学院林业土壤研究所等1980年调查(表2-6至2-8),污灌后土壤中腐殖质和全氮量增加,氮化细菌、酚细菌、硫细菌和微生物总数等都有所增加,土壤酶的活性也有所提高,尤其是活性胡敏酸含量增高,是污灌土壤肥力提高的重要标志。

表 2-6 不同污灌年限土壤腐殖质及全氮含量(沈抚灌区)

灌溉年限	取样深度 (厘米)	腐殖质%		全 氮%	
		灌溉前	灌溉后	灌溉前	灌溉后
清水灌溉	0-15	1.74	1.69	0.12	0.11
污灌 3 年	0-15	1.71	1.86	0.10	0.11
12 年	0-15	2.83	2.90	0.17	0.14
20 年	0-15	1.97	2.91	0.13	0.13

表 2-7 污水灌溉不同年限对土壤微生物生化活性的影响

处 理	微生物总数 万/克干土	腐殖质%	活性富啡酸 活性胡敏酸	纤维素 分解作用	固氮作用 mg/g 糖	氨化作用 mg/100 克土	酚细菌 万/1 克干土	硫细菌 万/1 克干土	多酚氧化酶 mg/10 克土
新灌区土壤	1.37	1.41	0.40	5.1	9.2	0.89	5.70	0	11.3
污灌 9 年	33.91	2.39	0.56	5.4	7.7	0.85	6.3	0.12	17.6
污灌 12 年	13.98	2.56	0.87	7.1	10.2	0.45	10.6	1.58	14.8

表 2-8 土壤腐殖质的组成(0-10 厘米)(占总含碳量%)

灌溉年限	胡敏酸	富里酸	胡敏酸/富里酸	活性胡敏酸	胡敏酸
清 灌	23.2	23.2	1.0	1.8	44.6
污灌 3 年	30.6	22.1	1.4	8.7	42.6
污灌 12 年	28.0	25.5	1.1	4.7	43.5
污灌 20 年	31.1	19.1	1.6	9.6	45.5

污灌后由于土壤理化性质改善,土壤肥力提高,因而促进粮食获得大幅度增产。例如,郑州污灌区王庄村,污灌前亩产 500 斤左右,污灌后亩产达到 1400 斤左右。;以具体田块作试验对比,污灌比清灌增产 14—18%。污灌还能改变农业生产结构和作物布局,例如沈阳市郊原是以旱作为主的一季杂粮区,污灌后改变了原有作物结构,形成单一的水稻种植区,粮食产量由 300—400 斤/亩,提高到 700—800 斤/亩,而且保持一定的稳产。全国各地经验表明,污灌后一般能使稻田增产 30—50%,小麦增产 50—150%,水生作物增产 50—300%,水浮莲更为突出,可增产 5—10 倍。显而易见,合理利用污水灌溉,能使作物增产,促进农业生产的发展,节约资金和能源。当然,若使用不当,也会造成危害而减产,污染环境,甚至对人畜产生不良影响。

4. 净化水质,减轻污染,保护环境 污水中含有对作物有益的污染物,也含有多种多样的对生物有害的污染物。污水灌田后,经过沉淀、吸附、太阳暴晒、空气氧化和微生物分解等作用,能够净化污水(表 2-9)。

表 2-9 南京大厂镇生活污水灌溉稻田的净化效果

项 目	单 位	灌溉时含量	灌溉后两天		灌溉后四天	
			含 量	净化效果(%)	含 量	净化效果(%)
总固体	毫克/升	659	253	62	112	83
总 氮	毫克/升	18.14	1.52	88.5	1.42	89.4
氨 氮	毫克/升	10.86	0.22	97.5	0.096	99.2
BOD ₅	毫克/升	18.76	4.02	78.6	3	84
溶解氧	毫克/升	2.07	4.8	—	6.64	—
pH	—	7.5	7.2	—	7	—
蛔虫卵	个/500 毫升	832	28	96.6	—	—
细菌总数	个/500 毫升	11,576,500	193,000	98	—	—

据全国南北方多处试验研究和监测,污水流入稻田 5—7 天后,悬浮物降低 75—94%,BOD₅降

低 72—97%，氨氮降低 85%，磷降低 98%，钾降低 78%，蛔虫卵和细菌数目降低 95—98%，酚、氰降低 98%，含三氯乙醛 20ppm 的污水灌入稻田 5 天后全部消失；铜、锌、锰、钼、硼、铬等重金属污染物是植物的微量营养元素，灌入农田后，又经根系吸收、土壤吸附、氧化还原等作用，减低了对江河湖海的污染。倘若把污水直接排入江河湖海，将会使水质恶化，造成水环境污染，影响水生生物生长，破坏水生生态系统的平衡。即使是经过二级生化处理，也难以去除其中的氮、磷，若将含氮、磷污水排入河湖水体，则会发生“富营养化”，从而使水质恶化，影响鱼类生存。所以，污水灌溉农田能净化水质，减轻污染，保护环境。沈抚灌渠 1964 年建成后使浑河水质显著改善（表 2—10），近年来开始有菹草、聚草等水生植物，并有渗条鱼、鲢鱼、鲫鱼出现。国外也有生动的实例，前苏联乌克兰加盟共和国第聂伯河的治理便是其中一例。乌克兰首府基辅市 1963 年开始发展污灌系统，把经过适当处理后的污水用于农业。1968 年完成第一期工程，污灌面积 24600 公顷，1977 年完成第二期工程，又扩大污灌面积 14000 公顷，整个工程污灌面积共计 38600 公顷，即 57.9 万亩。该系统包括几十个泵站，1200 多公里地下管道，40 多公里干渠，整个系统有一套管理机构。实施污灌后，位于第聂伯河左岸高地上的索夫霍白农场的产量从 1 吨/公顷提高到 3 吨/公顷，饲料产量每公顷达 60 吨，确保了牛奶生产的高水平，相当于增加了几百万卢布的农产品。该项工程对区域规划、资源利用、能源改造、有害物质的净化处理、自然净化等多种因素进行综合考虑，以求得整体上的最优防治方案，以最小的投资去获得最大的经济效益，确保了第聂伯河免受基辅市的工业和生活污水的污染，取得了显著和经济效益和环境效益。

表 2—10 污灌渠修建前后浑河枯水期水质情况(mg/l)

项 目		pH	耗氧量	溶解氧	氨氮	亚硝酸盐	硝酸盐	氯化物	石油醚 提取物	挥发酚
地 点										
安修桥	修渠前	7.8	109.80	4.85	10.3	0.02	0.2	56.8	8.0	14.0
	修渠后	7.1	5.56	4.39	2.8	0.038	0.4	10.0	0.7	未检出
和平桥	修渠前	7.8	344.40	10.2	40.0	0.55	5.0	287.5	18.0	1.0
	修渠后	7.1	10.16	6.16	14.2	0.537	1.2	79.0	3.4	0.004
高坎	修渠前	7.5	31.40	8.00	12.0	0.02	0.4	16.0	—	2.166
	修渠后	6.5	7.71	7.04	3.4	0.065	2.92	32.7	1.0	0.047
漠家堡	修渠前	7.2	149.0	0.37	13.2	0.20	1.0	65.0	123.7	1.120
	修渠后	7.1	8.42	4.91	0.5	0.051	1.52	20.5	1.7	0.16