

# 华北平原大气降水对土壤淋洗脱盐的影响

方生 陈秀玲

(河北省水利科学研究院, 石家庄 050051)

**摘要** 华北平原属季节性干旱半湿润太平洋季风气候区, 降水量 500~600 mm, 年际和年内降水分布不均, 旱涝盐碱灾害并存, 成为农业生产可持续发展的主要制约因素。降水量 74% 集中在雨季, 对土壤发生淋洗脱盐作用。一般在雨季 7~8 月份降水量超过 300 mm, 土体表现为脱盐。次降水量超过 25 mm, 根层土壤发生淋洗脱盐。海河平原自 1964 年逐年开挖骨干排水河道, 使海河五大河流域都有了属于自己的入海尾间, 在排洪排涝的同时也排走了大量的盐分。20 世纪 60 年代末, 开始大规模开发利用地下水, 井灌的同时降低了地下水位, 起到井排作用, 减少了潜水蒸发, 增大了降雨入渗, 加强了降雨淋洗脱盐作用, 并引河水回灌补源, 淡化了地下水。华北平原控制了灌区土壤次生盐碱化, 而且大面积盐碱地得到改良。

**关键词** 华北平原; 降雨; 淋洗脱盐; 海河治理

**中图分类号** S156; P641

**文献标识码** A

华北平原大气降水在年际和年内季节性分配不均, 旱涝盐碱等自然灾害并存, 严重影响农业生产和农村经济的可持续发展。自 20 世纪 60 年代初到 90 年代, 河北省先后在海河平原的深县后营和南皮县乌马营建立了旱涝盐碱综合治理研究试区, 长期坚持水利工程与农业生物工程相结合的综合治理措施, 特别在采取井沟渠相结合的灌排工程, 因时制宜调控大气降水、地表水、地下水、和土壤水相互转化, 综合治理旱涝盐碱自然灾害, 从而促进农业生产可持续发展方面, 取得了重要的科研成果和显著的经济社会与生态环境效益。本文仅就该项综合治理中有关大气降水对土壤淋洗脱盐的影响加以总结阐述, 以供参考和讨论。

## 1 华北平原大气降水的特点

### 1.1 年际降水量变化大

黄河以北的华北平原, 属季节性干旱半湿润太平洋季风气候区, 多年平均降水量 500~600 mm。因受中高纬度西风环流周期变化的影响, 年际降水量很不稳定。少水年份降水量可小于 400 mm, 呈现半干旱甚至干旱地区特点。多水年份降水量可大于 800 mm, 呈现湿润地区特点。

南皮县多年平均降水量 550 mm, 最大降水量 1 185 mm (1977 年), 最小降水量 262.4 mm (1956 年), 最大与最小相差 4.5 倍。而且还常有连丰、连枯水年, 丰枯水年交替。

### 1.2 年内降水集中在夏季干湿季分明

在季风气候影响下, 年内降水集中在夏季 (6~8 月), 其余时间为旱季。南皮多年平均夏季降水量占全年 74%; 春季 (3~5 月) 和秋季 (9~11 月) 雨量较少, 分别占全年的 11% 和 13%; 冬季 (12 月~翌年 2 月) 雨量稀少, 仅占 2%。形成春旱夏涝, 秋冬又旱, 旱涝交替。春秋干旱土壤积盐, 夏季多雨土壤脱盐 (图 1)<sup>[1]</sup>。

### 1.3 蒸发量大于降水量

据德州、新乡、安阳、保定及南皮等气象站分析, 全年水面蒸发量与降水量之比为 3.1~3.9。南皮多年平均水面蒸发量 2 139 mm, 为降水量的 3.9 倍。最大年水面蒸发量为 2 659 mm。冬春两季的蒸发量最大, 为降水量的 16~38 倍。这是平原地下水浅矿化度高的地区易于积盐的气候条件。

### 1.4 大气降水主要转化为包气带土壤水

大气降水到达地面后, 在下垫面条件共同作用下, 8% 降水形成地表水, 一部分降水渗入到土壤, 在重力作用下, 26.6% 转化为浅层地下水, 71.4% 转化为包气带土壤水。若计入潜水蒸发, 则由包气带向

作者简介: 方生 (1928~), 河北省水利科学研究院教授级高级工程师, 原河北省水利科学研究所所长, 水利部地下水专家组成员, 世界银行国际灌溉排水技术研究计划 (IPTRID) 专家组成员, 全国地下水信息网顾问

收稿日期: 2004-07-22; 收到修改稿日期: 2005-06-14

大气转化的水量约为降水量的 78%<sup>(1)</sup>。土壤和潜水 蒸发引起土壤积盐,降雨入渗使土壤发生淋洗脱盐。

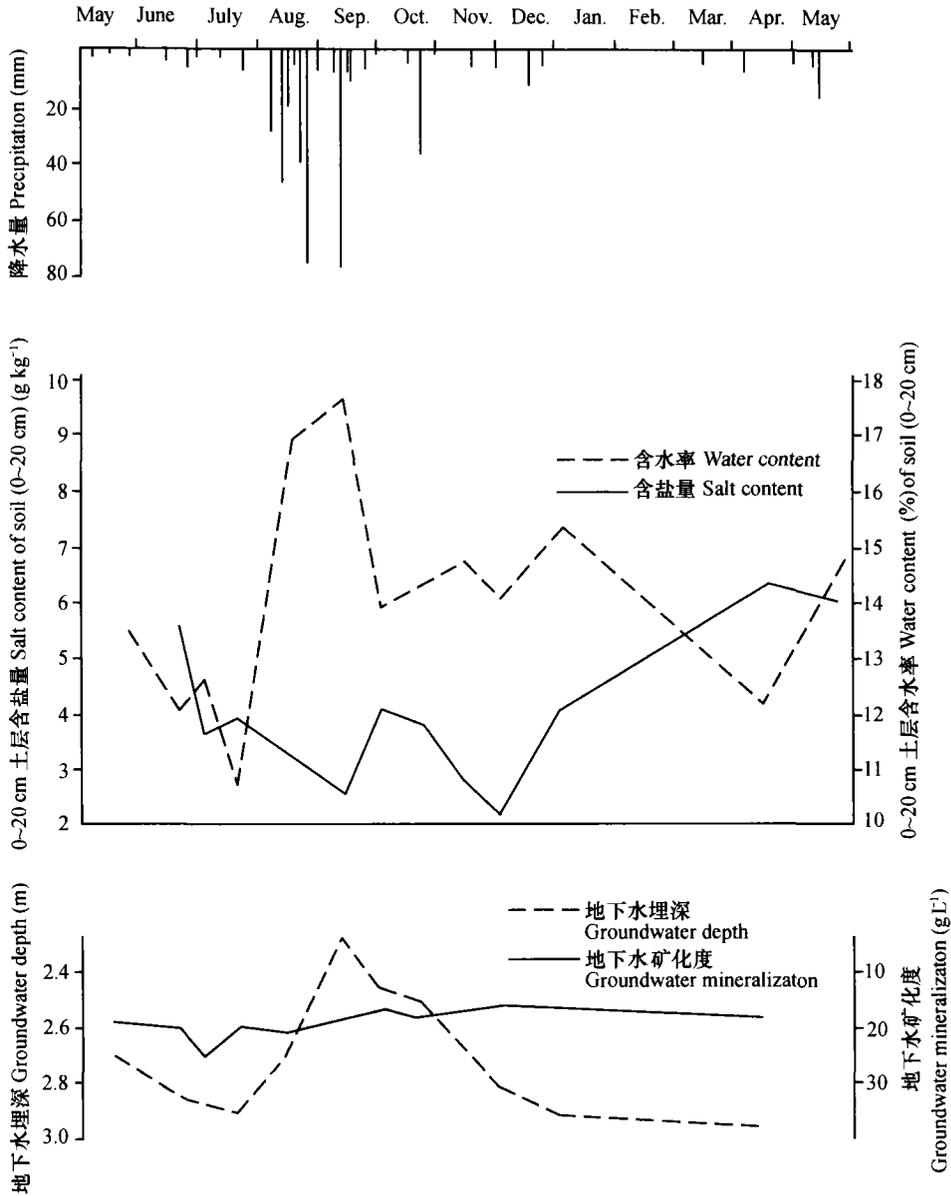


图 1 土壤及地下水水盐动态季节性变化(深县后营试区)

Fig.1 Seasonal variation of soil salt,moisture and groundwater (Shen County Houying Pilot Area)

## 2 大气降水对土壤淋洗脱盐作用

在季节性干旱半湿润季风气候条件下,土壤可溶性盐类在旱季随水分蒸发而积累与雨季降雨入渗淋洗脱盐的过程交替发生。土壤的盐渍状况,取决

于蒸发积盐与淋溶脱盐两种过程的对比:在年内如降雨脱盐与蒸发积盐相当,周年内盐分平衡,则不发生盐分积累;遇丰水年份或雨季降雨量大时,淋溶脱盐强于蒸发积盐的过程,土体处于脱盐状况;但在干旱年份或雨季降雨量少时,蒸发积盐强于淋溶脱盐过程,则土体又会发生盐分积累;也有时干旱年份有

(1) 沈振荣,张瑜芳,等. 华北平原大气降水—地表水—土壤水—地下水转化关系的研究. 专题报告,75-57-01-01,1990

所积盐,在平水年份及丰水年份又可脱盐,达到多年盐分平衡<sup>[2]</sup>。

### 2.1 大气降水与区域水盐运行

大地盐分来源于岩石风化,为降水淋溶并随水运动。在大气降水转化为地表水、土壤水和地下水的过程中,盐分也随之发生积累和迁移。平原地区的水盐状况,取决于山区进入平原及从平原排入海水量盐量的均衡关系。

海滦河流域,多年平均天然径流量为 292 亿  $m^3$ ,山区径流占全部径流的 74%,这些水量汇入平原后,大部分被灌溉利用或消耗于蒸发渗漏,水分消散后,盐分就存留在平原中。平原入海水量,除丰水年份外,大都小于山区下泄水量。1966~1981 年平均入海水量为 150 亿  $m^3$ 。由于年际降水差异很大,不同水文年份入海水量相差悬殊:丰水年份 166 亿  $m^3$ ,平水年份 79 亿  $m^3$ ,枯水年份 37 亿  $m^3$ ,特枯年份仅 8 亿  $m^3$ 。

据京津冀海河流域 1966~1981 年山区下泄与平原入海水量盐量分析,1977 年雨季降水 580 mm,属丰水年,平原入海大于山区下泄水量盐量,平原处于脱盐状态。这年东部平原雨季降水达 900 mm,大于山区雨量,也是入海水量盐量大的一个原因。1969 年、1976 年雨季降水量为 560、555 mm,属偏丰年份,山区下泄与平原入海水量、盐量相当,平原盐分处于平衡状态。1968 年、1972 年雨季降水为 319、286 mm,属特枯年份,山区下泄水量盐量大于平原入海水量、盐量,平原处于积盐状态(表 1)<sup>[3,4]</sup>。

### 2.2 雨季降水量与土壤脱盐的关系

海河流域,雨季降水集中,一般占总降水量

74%,是土壤脱盐季节。雨季降水量大小对土壤脱盐起决定性作用。据在南皮试区 1980~1989 年 10 年定位观测,其中有 5 年(1981、1984、1985、1987、1988)7~8 月份降水量均大于 300 mm(332.4~509.4 mm),为平水年份或偏丰年份,根层土壤均表现为脱盐,脱盐率为 16.5%~64.1%。还有 5 年(1980、1982、1983、1986、1989)7~8 月份降水量在 200 mm 左右(150.6~256.4 mm)为偏早年份或干旱年份,其中有 3 年发生积盐,积盐率为 3.1%~42%。雨季降水量与土壤脱盐关系见图 2。

### 2.3 次降水量与土壤脱盐的关系

降雨入渗土壤发生淋洗作用,需要能溶解土壤中盐分的相当降水量,使盐分向土壤下层或排沟运移。因此降水对土壤盐分的淋洗,不仅与汛期降水量多少有关,而且还受次降水量大小的影响。1986 年 7~8 月份降水量仅 214.4 mm,属偏早年份,但经过雨季,土壤表现为脱盐,脱盐率为 27.5%~35.3%。其原因在于次降水量大于 35 mm 的有 4 次(7 月 10 日、7 月 20 日、7 月 24 日、8 月 10 日),而且降雨间隔比较均匀,所以土壤淋洗脱盐显著。次降水量的大小,反映了降雨强度,影响脱盐程度及深度。一般次降水量大于 25 mm,才能起到淋洗脱盐作用。次降水量越大,脱盐率越高,脱盐深度越深。次降水量为 25 mm、76.3 mm 和 149 mm,0~20 cm 土壤脱盐率分别为 34%、59% 和 75%。其土壤脱盐深度前两次均达到 40 cm,后一次 149 mm 的降水土壤脱盐深度可达到 1 m(表 2)<sup>[5]</sup>。次降水量与土壤脱盐率关系如图 3 所示<sup>[6]</sup>。

表 1 海河流域山区下泄及平原入海水量和盐量

Table 1 Input of water and salt from mountain area into plain area and output from plain area to the sea in Haihe River Basin

年份 Years	1977	1969	1976	1966	1968	1972
水文年 Hydrological years	丰水年 Wet	偏丰年 Sub-wet	偏丰年 Sub-wet	平水年 Normal	特枯年 Extra-dry	特枯年 Extra-dry
年降水量 Annual precipitation (mm)	691	622	599	470	426	382
7-9 月降水量 Precipitation in July to Sep. (mm)	580	560	555	444	319	286
频率 Frequency (%)	20	23	30	46	90	93
水量 Water ( $\times 10^8 m^3$ )						
山区下泄 Flow out from mountain area	148	104	123	92	102	77
平原入海 From plain area to sea	170	73	56	53	10	6
增减 Incre./decre.	-22	+31	+67	+39	+92	+71
盐量 Salt ( $\times 10^4 t$ )						
山区下泄 Flow out from mountain area	438	411	387	315	417	302
平原入海 From plain area to sea	1205	406	392	224	112	62
增减 Incre./decre.	-767	+5	-5	+91	+305	+210

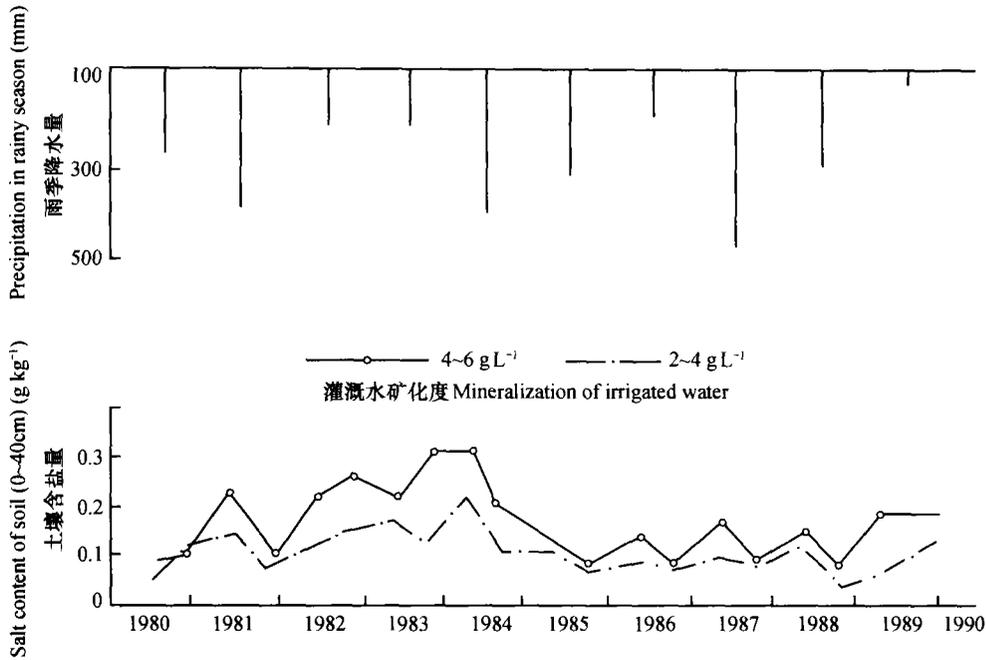


图 2 雨季降水量与土壤脱盐关系

Fig. 2 Relationship between precipitation in rainy season and soil desalination

表 2 次降水量对土壤脱盐的影响

Table 2 Influence to soil desalination by a rainfall

土层 Soil layer (cm)	25 mm <sup>1)</sup> (1980-08-15) <sup>2)</sup>			76.3 mm <sup>1)</sup> (1980-08-08) <sup>2)</sup>			149 mm <sup>1)</sup> (1987-08-03) <sup>2)</sup>		
	土壤含盐量		脱盐率 Desalt ratio( %)	土壤含盐量		脱盐率 Desalt ratio( %)	土壤含盐量		脱盐率 Desalt ratio( %)
	Salt content ( g kg <sup>-1</sup> )			Salt content ( g kg <sup>-1</sup> )			Salt content ( g kg <sup>-1</sup> )		
	雨前 <sup>3)</sup>	雨后 <sup>4)</sup>	雨前 <sup>5)</sup>	雨后 <sup>6)</sup>	雨前 <sup>7)</sup>	雨后 <sup>8)</sup>			
Pre-rain	Post-rain	Pre-rain	Post-rain	Pre-rain	Post-rain				
0~5	1.3	0.8	-37.7	3.1	0.9	-70.6	2.8	1.1	-50.0
5~15	1.5	0.9	-37.3	1.9	0.9	-53.7	2.7	0.9	-66.3
15~20	1.6	1.0	-37.5	2.0	0.9	-52.5	4.1	0.7	-82.4
20~40	1.7	1.3	-23.5	2.2	0.8	-62.7	4.1	1.0	-75.6
40~60	1.3	1.9	+46.2	1.1	1.9	+72.7	3.9	2.4	-38.5
60~80	0.9	1.3	+34.6	1.4	1.9	+35.7	4.1	1.4	-65.9
80~100	0.8	1.2	+54.8	0.9	1.4	+55.6	5.3	4.2	-20.8
0~20	1.5	0.9	-34.4	2.3	0.9	-59.1	3.0	0.9	-74.9
0~100	1.3	1.4	+7.1	1.6	1.2	-21.0	4.0	2.1	-48.2

1) 次降水量 A rainfall; 2) 降水日期 Date of rainfall; 3) 1980-08-10; 4) 1980-08-21; 5) 1980-08-04; 6) 1980-08-10; 7) 1987-07-30; 8) 1987-08-09

(2) 刘宗耀,侯陆. 关于水利在河北平原农业发展中的作用. 水利建设在河北平原农业发展中的作用论文选编. 河北省水利学会, 1982

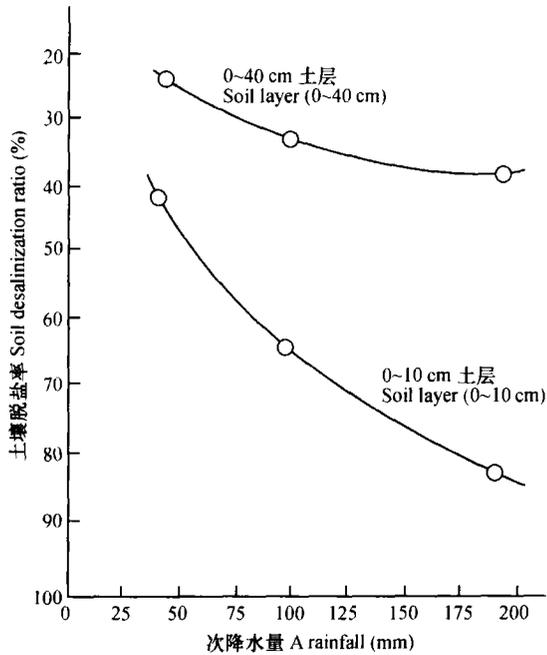


图3 次降水量与土壤脱盐率的关系

Fig.3 Relationship between a rainfall and soil desalination ratio

### 3 灌排设施与水管理对降水淋洗脱盐的影响

#### 3.1 有灌无排发生土壤次生盐碱化

华北平原各水系的人海排水出路,历史上集中在海河末梢天津。平原有许多洼地,自然排水不畅。

历来在洼地边缘、河流两侧、缓平坡地、有咸水区及滨海地区分布有大面积盐碱地。20世纪50年代末,我国为了克服干旱对农业生产的威胁,大规模发展引水自流灌溉。开发了引黄灌区,平原洼地大量蓄水,河库灌区扩大浇地面积。由于只发展灌溉,而没有排水设施,结果抬高了地下水位,引发了大面积土壤次生盐碱化。黄淮海平原盐碱地面积由1958年的272万 $\text{hm}^2$ 扩展到1961年的413万 $\text{hm}^2$ <sup>[17]</sup>。其中河北平原盐碱地由107万 $\text{hm}^2$ 增加到153万 $\text{hm}^2$ <sup>[18]</sup>。土壤生态环境遭到破坏,给农业生产带来严重损失。1963年海河流域发生了特大洪水,1964年又遭到严重涝灾,洪水沥水不能及时排泄,大面积农田被淹没,更加重了平原渍涝与盐碱为害。

#### 3.2 治理海河排洪排涝排盐入海

自1964年,在海河平原逐年开挖疏竣骨干排水河道,集中地解决了平原排洪、排涝、排盐出路。到1975年五大水系都有了新的人海尾间,排洪和排涝入海能力分别比1964年扩大了4倍和6倍<sup>(2)</sup>。广阔农区实施灌排配套工程,建成了华北平原排洪排涝系统。深沟排水直通入海的排水系统,将雨涝淹地、涝后返盐的不利因素,转变为伏雨洗盐、涝后排咸的有利条件。雨季沟渠全部开通,土体盐分在雨季能够淋洗排出。在排洪排涝的同时也排走了大量的盐分。南皮试区1974~1987年中有6年7次雨季排水排盐,入大浪淀总排水干沟,最后入海。累计每 $\text{km}^2$ 排盐1395t(表3)<sup>[5]</sup>。雨季降水量与单位面积排盐量关系方程:

$$Y = 64.9317 - 0.5233X + 0.0017X^2 \quad (\text{图4})$$

表3 南皮试区雨季排水排盐量

Table 3 Water and salt drainage in rainy season in Nanpi Pilot Area

时间 Duration	排水面积 Area of drainage ( $\text{km}^2$ )	降水量 Precipitation (mm)	排水量 Drainage water ( $\times 10^4 \text{ m}^3$ )	平均矿化度 Average mineralization ( $\text{g L}^{-1}$ )	排盐量 Salt drainage (t)	单位面积排盐量 Salt drainage per unit area ( $\text{t km}^{-2}$ )
1974-07-22 ~ 08-30	4.53	570.0	36.5	3.83	1397	308.3
1975-07-02 ~ 08-20	4.53	284.5	7.5	4.17	312.5	69.0
1976-09-19 ~ 09-27	4.53	384.2	10.2	4.14	422.2	93.2
1977-06-26 ~ 08-20	4.53	862.4	125.6	3.08	3864	853.0
1984-08-09 ~ 08-16	4.33	179.0	6.7	1.18	79.8	18.4
1987-08-03 ~ 08-04	4.33	149.0	1.7	1.48	25.6	5.9
1987-08-26 ~ 09-03	4.33	189.1	13.2	1.56	205.8	47.5
合计 Total			201.4	3.27	110107	1395

式中,  $Y$  为单位面积排盐量( $t \text{ km}^{-2}$ ),  $X$  为雨季降水量( $\text{mm}$ )。将当地土壤地下水水盐小循环纳入陆海水盐大循环,使降雨淋溶脱盐过程强于蒸发积盐过程( $t \text{ km}^{-2}$ ),为从根本上防治土壤盐碱化奠定了基础。到 1980 年不但灌区次生盐碱化得到控制,而且大面积原有盐碱地也得到改良。黄淮海平原盐碱地还有 209 万  $\text{hm}^2$ ,比 1961 年改好了 1/2。

### 3.3 井沟渠相结合综合治理旱涝盐碱咸

华北平原地表水资源短缺,为了抗旱灌溉,自 20 世纪 60 年代末大规模开发利用地下水,到 1993 年冀鲁豫平原发展机井 200 万眼,开采地下水 253 亿  $\text{m}^3$ ,井灌面积达 800 万  $\text{hm}^2$ <sup>[9]</sup>。三省夏粮总产 1972 年为 152 亿  $\text{kg}$ ,到 1980 年增加到 219 亿  $\text{kg}$ ,增产 44 %<sup>[9]</sup>。华北平原东部有大面积浅层地下咸水,土地盐碱较重。在发展井灌中也用微咸水及半咸水抗旱灌溉(已开发 6.6 亿  $\text{m}^3$ ),使全生长期都在旱季需水最多的小麦,因浇上关键水而增产,使年年春旱的玉米、棉花等春播作物,因浇上播前水而得以保苗。灌咸水的比不灌的旱作物产量成倍增加<sup>[2]</sup>。在排水条件下,因灌咸水而增加的土壤盐分,在雨季又能淋洗到心底土或排出区外。浅层地下水的开发包括微咸水及半咸水,在井灌过程中降低了地下水位,起到了井排作用,增大了地下库容,减少了潜水蒸发,增大了降雨入渗,防治了渍涝灾害,加强了对土

壤的淋洗脱盐作用,把降雨转化为地下水资源。汛后有条件引蓄河水回灌补源的地区,水资源基本上达到采补平衡,还加强了咸淡水的循环交替,地下咸水也逐步淡化<sup>[6,8]</sup>,实现了旱涝盐碱咸的综合治理,生态环境出现了良性循环。至 20 世纪末,黄淮海平原盐碱地已减少到 133 万  $\text{hm}^2$ ,比 20 世纪 80 年代又减少了 1/3。

## 4 结 语

华北平原年降雨量 500 ~ 600  $\text{mm}$ ,74%集中在夏季,是土壤淋洗脱盐季节。要充分发挥降雨的淋洗脱盐作用,关键在于搞好排水设施及水管理。20 世纪 50 年代末,华北平原大规模引水蓄水灌溉,但未搞好排水设施,地下水位抬高,雨季涝水淹地,涝后土壤返盐,黄淮海平原盐碱地增加了 50%。60 年代海河的治理,增辟了五大河系入海尾间,形成了深沟排水排盐系统,排洪和排涝能力增加了 4 倍和 6 倍,在雨季排洪排涝的同时,也带走大量盐分入海。60 年代末以来大规模开发利用地下水,包括微咸水及半咸水,发展井沟渠相结合的灌排水利工程,汛后引蓄河水回灌补源,促进水资源采补平衡,实现旱涝盐碱咸综合治理,大面积盐碱地变成良田,地下水也有所淡化,生态环境出现了良性循环。

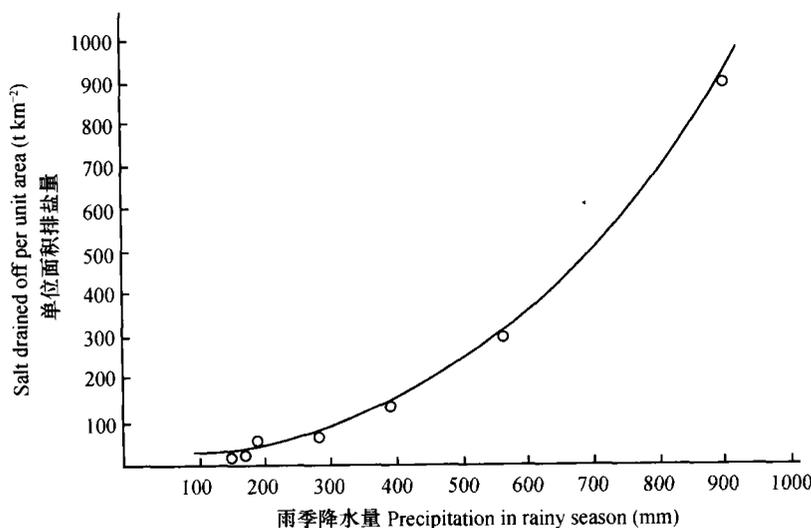


图 4 雨季降水量及单位面积排盐量关系

Fig. 4 Relationship between precipitation in rainy season and salt drained off per unit area

## 参考文献

- [ 1 ] 方生,陈秀玲,著. 旱涝盐碱综合治理与技术经济效果. 北京: 中国农业科技出版社, 2003. 13 ~ 14. Fang S, Chen X L. Comprehensive Control of Drought, Waterlogging and Salinity and Its Technological and Economic Effects (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2003. 13 ~ 14
- [ 2 ] Fang S, Chen X L. Using shallow saline groundwater for irrigation and regulating for soil salt-water regime. Irrigation and Drainage System. Volume 11. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997. 1 ~ 14
- [ 3 ] 赵鸿钧. 入海水量对生态环境影响的探讨. 海河科技, 1983, (3/4): 22 ~ 31. Zhao H J. Inquiry on influence to eco-environment by the water flow into the sea (In Chinese). Haihe River Science and Technology, 1983, (3/4): 22 ~ 31
- [ 4 ] Fang S, Chen X L, Xia YC, *et al.* Water management for soil salinity control. In: Soil Science Society of China, ed. Current Progress in Soil Research in People's Republic of China. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1986. 647 ~ 656
- [ 5 ] Fang S, Chen X L, Zhou C L, *et al.* Study on comprehensive control of saline-alkali land with low yield. Proceedings of ICID 8th Afro-Asian Regional Conference. 18 ~ 29 November 1991, Bangkok, Thailand. 317 ~ 326
- [ 6 ] Fang S, Chen X L, Boers Th M. Sustainable utilization of water resources in eastern part of North China Plain. Proceedings of 9th International Drainage Workshop. Sept. 10 ~ 13, 2003, Utrecht Netherlands. PA083. 1 ~ 24
- [ 7 ] 王遵亲, 等著. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993. Wang Z Q, *et al.* Salt-affected Soils in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993
- [ 8 ] 方生, 陈秀玲, 李宏志, 等. 缺水盐渍区水资源调控利用与综合治理的研究. 水利水电技术, 1992, (6): 16 ~ 20. Fang S, Chen X L, Li H Z, *et al.* Study on regulation and utilization of water resources and comprehensive control in water shortage salt-affected region (In Chinese). Technology of Water Resources and Hydro-power, 1992, (6): 16 ~ 20
- [ 9 ] 陈梅芬. 我国地下水开发利用现状与展望. 见: 方生, 孙雪峰, 张建录, 编. 地下水开发利用与管理. 第2辑. 成都: 电子科技大学出版社, 1995. 16 ~ 17. Chen M F. Existing status and prospect of exploitation and utilization of groundwater in China (In Chinese). In: Fang S, Sun X F, Zhang J L, eds. Exploitation Utilization and Management of Groundwater. Volume 2. Chengdu: Electronic Science and Technology University Press, 1995. 16 ~ 17

## INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON SOIL LEACHING AND DESALINIZATION IN THE NORTH CHINA PLAIN

Fang Sheng    Chen Xiuling

(Hebei Provincial Academy of Water Resources, Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract** In the North China Plain, the average annual precipitation is 500 ~ 600 mm, 74% of which is concentrated in the rainy season, triggering soil leaching and desalinization. When the precipitation exceeds 300 mm in July and August, soil desalinization will be observed, and when a rainfall is over 25 mm, the effect of desalinization in root zone soil will be seen. The key to enhancing the effect of rainfall on salt leaching and desalinization lies in setting up drainage and water management systems. Beginning from 1964, main drainage rivers had been excavated and dredged in the Haihe River Plain year by year, and in 1975 all the five rivers systems of the Haihe River got their own drainage outlets to drain flood, excessive rainwater and saline groundwater. Along with the water drainage a lot of salt is drained into the sea. The end of the 1960s the beginning of large-scale exploitation and utilization of groundwater for irrigation. The practice of well irrigation lowers the groundwater table, thus functioning as drainage, reducing phreatic evaporation, increasing rainfall infiltration and consequently enhancing the effect of rainfall on salt leaching and desalinization. And the practice of replenishing the groundwater with river water freshens the groundwater. As a result, soil secondary salinization has been controlled, and large areas of saline-alkali land ameliorated in the North China Plain.

**Key words** The North China Plain; Precipitation; Leaching and desalinization; Haihe River control