

地质矿产部地质环境管理司组织翻译

农业活动对 地下水的影 响

地 质 出 版 社

农业活动对地下水的影响

〔捷〕 J.Vrba和〔荷〕 E.Romijn

地质矿产部地质环境管理司组织翻译

朱西岭

译

仇祥华

~~尚若筠~~

校

地质出版社

内 容 简 介

该书在对大环境作出系统分类的基础上,比较详细地分析了农药、化肥在包气带及饱水带中运动的特征,阐明了不同的农业活动对地下水可能造成的污染。同时,对监测系统作了设计,讨论了利用数学模型对地下水进行科学管理的问题。根据被污染的地下水与人体健康的关系,提出了控制和管理农业活动对地下水影响的措施。最后,列举了大量实例,进一步说明了上述问题。

本书是开展农业与地下水关系研究的一本新近引入我国的成果,概括了研究农业活动对地下水影响的全过程,即评价、监督和管理的一个完整工作程序,对水文地质、环境地质、农业生态、环境保护等领域的领导、研究、管理人员及大专院校师生均具有实际参考价值。

Impact of Agricultural Activities on Ground Water J. Vrba E. Romijn

International contributions to hydrogeology; Vol. 5.
Internat. Assoc. of Hydrogeologists—Hannover; Heise, 1986.

Copyright by Verlag Heinz Heise.

农业活动对地下水的影响

〔捷〕J. Vrba和〔荷〕E. Romijn

地质矿产部地质环境管理司组织翻译

朱西岭 仇祥华 译

尚若筠 校

*

责任编辑:戴鸿麟

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168¹/₃₂ 印张: 7.75 插页: 3 页 字数: 195,000

1991年1月北京第一版·1991年1月北京第一次印刷

印数: 1—1250册 国内定价: 5.50元

ISBN 7-116-00791-1/P·674

前 言

自50年代以来，世界上不论是发达国家还是发展中国家，为了推广高产作物品种和现代化的农业技术，都进行了“绿色革命”。由于农业与自然环境（土壤、水体、大气及生物）有着密切的联系，因此随着农业科学技术的不断发展，农业与自然环境的矛盾也就越来越突出了。

当前，世界各国为了发展农业，提高作物产量，一个重要手段就是施放农药、化肥。它们所产生的直接效应固然是作物本身，但是对土壤和周围水体也必然会产生影响。有些地区，地下水埋藏浅，上无隔水层或隔水层隔水性能不好，使残留在土壤中的农药、化肥经降水或地表水淋溶，沿包气带渗入含水层内，引起地下水污染。一些以地下水作为主要饮用水水源的地区，一旦供水含水层受到污染，尤其是受到有机化合物的污染，则对人体的健康将是个很大的威胁，可能导致癌症、变异、发育不良、免疫功能变异等等。

70年代后期，国外（如美国、荷兰、联邦德国、奥地利、捷克、苏联等）经济发达国家开始重视农业活动对地下水污染的问题，着手进行相应的调查研究和监测工作，并制定了相应的保护及管理措施。十多年来，已积累了一定的经验及成果。由联合国教科文组织《国际水文计划》及国际地科联国际水文地质学家协会联合出版的1986年第5卷《国际水文地质文献》——《农业活动对地下水的影响》，就是这类成果之一，并在1986年第19届国际水文地质学家学会上交流。

我国是个农业大国。随着人口的迅速增长，对粮食生产的需求量不断增大。近几年来，已先后在某些农业区的包气带及潜水中发现含有农药、化肥成分，而且含量有增高的趋势。这已引起

有关部门的注意，并开始着手进行研究。

鉴于农业活动对地下水的影响已成为一个重要的环境地质问题，它与国民经济的发展，人民身体健康，资源的保护、利用有着直接的关系，因此我司组织翻译了这本书。

该书由朱西岭、仇祥华翻译，尚若筠校对，邓霭松审核。由于工作水平有限，一定存在不少缺点，恳请读者指正。

地质矿产部地质环境管理司

1989年11月

序

一般来说，地下水是一种可恢复的自然资源。在人类的时间表上，可以觉察到地下水的形成过程。地下水资源经历着不断的补充和排泄的过程，既有天然的，也有人为的。地下水的短期浅层循环是含水层易受污染的主要原因。

保护地下水应作为全国性或区域性水规划及管理的不可分割的一部分。这就是说，地下水的保护工作，应当在调查和开发地下水资源的同时就着手进行。当某一含水层将被或已被作为供水水源时，详细地研究地下水保护的必要性尤为重要。

在国际水文地质学家协会（IAH），人类活动对地下水系统的影响及地下水保护的理论和实际问题，多年来一直是受到关注的课题。自1972年以来，曾召开过几次IAH大会和国际研讨会，讨论关于防止地下水污染的问题。

1979年，IAH成立了地下水保护委员会。至目前为止，其活动集中于研究石油对地下水水质的影响，农业活动对地下水、地下水保护带以及农村地区土地综合利用规划和地下水保护管理的影响。

“农业活动对地下水的影响”项目是IAH参予第二阶段国际水文计划（IHP）的一部分，该项目内容包括国际研讨会、设专题研究组和出版专著。

1982年9月，在捷克斯洛伐克布拉格召开的关于“农业活动对地下水水质和水量的影响”的国际研讨会是由IAH和捷克斯洛伐克政府协同联合国教科文组织（UNESCO）、联合国环境研究计划（UNEP）及其它一些国际组织发起的。会议期间，提交并讨论了近100篇论文，涉及以下课题：地下水中的农药和致病细菌；硝酸盐和农药在植被—土壤—地下水—岩石系统中的运动及

相互作用；农业对地下水水质和水量影响的数学模拟；排灌对地下水的影响。圆桌会议上讨论了解决农业活动与地下水利害关系之间的矛盾所需要的法律措施。会上提交的部分论文被选为本专著第二部分的实例。

地下水保护委员会的全体成员都积极投入了本专著的准备工作。在1980—1983年间，该委员会在历次会议讨论中对其内容都提出了大量的积极意见和建议。来自英国的同事们，特别是 J. B. W. Day 先生承担了原文的文字修改工作。美国的 J. C. Miller 先生审阅了实例部分。

最后，但决非最重要的是，我想代表委员会向 UNESCO 水科学分部高级项目官员 J. S. Gladwell 先生表示感谢。他在整个 IHP/UNESCO 项目 A. 3. 7 “农业活动对地下水的影响”实施期间给予了积极的合作。

J. Vrba 博士

1985年11月，布拉格

引 言

大约在一万年以前，人类从狩猎转为耕作。第一批种子播下了，动物被驯化了，人类历史上最伟大的发展之一——农业开始了。由于机械和肥料不足，谷类和其它农作物的产量长期维持在很低的水平上。19世纪初，欧洲的小麦产量仅为 1t/ha ^①，而当时务农人口占人口总数的75%。1940年初以前，所用肥料大多为有机肥，因此土壤中氮含量的增长很少超过 $10\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ 。然而，到了40年代末，氮肥的施用量增长了两倍。化肥应用的另一次增长发生于所谓“绿色革命”（1960—1970年）的年代。当时，无机肥料的消耗量翻了一番，大多数欧洲国家氮肥的施用量超过了 $60\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ 。在一些发达国家，从事农业的人口比例相应减小到10%左右。

各国都在努力使各类生产达到自给自足（无论从经济角度还是从政治角度来看均有战略意义），这就要求农业生产持续增长。农业在大多数国家都是最重要的领域之一，其经济意义居首要地位。农业活动给生态环境造成的后果则被忽略了。究其原因，农业作物高产带来的经济收益是立即见效的，而它对生态系统（特别是对地下水系统）的不良影响则往往在很长时期以后才能察觉到。令人遗憾的是，我们对生态系统与农业系统之间相互作用的认识还不足以准确地预报农业活动对地下水系统的长期影响。在几千年的历史中，人类的农业活动改变了原来的生态系统和地质系统。由耕作、播种、施肥、灌溉和排水引起的生态系统的逐渐蜕变影响着植被、土壤、水和岩石之间的相互关系。深耕、重型机械、无机肥料和农药的应用及灌溉，提高了农业的产

① ha 为公顷，1公顷 = 15市亩 = 10000米²。——编者注

量，但对水质和土壤状况的不良影响也是明显的。地下水的污染、土壤的沙漠化、盐碱化和水涝就是例子。

普遍而不正确地使用肥料，对水文地质系统，以及对植物，尤其对蔬菜作物产生了“氮污染”。过量摄入硝酸盐对人体健康的不良影响，已得到公认。

地下水中硝酸盐含量的增高，主要发现于具有砂质土壤、地下水水位浅、含水层渗透率高的耕地区。这里地下水中的硝酸盐含量常常超过50mg/L，年增长率为0.5—1.5mg/L。

必须指出，现在化肥的使用将导致地下水中硝酸盐含量超过世界卫生组织（WHO）所建议的50mg/L的极其危险值。由此可见，化肥的用量、化肥种类的选择、所用剂量的确定，特别是化学硝化抑制剂的使用，对于最大限度地减少化肥从植物和土壤系统向地下水中流失是重要的。

作物产量因植物病害、虫害和草害而减产。据联合国的资料，由上述原因造成的减产占22%，由其它原因造成的约为35%。人们早已认识到农药对环境（包括水文地质系统）可能带来的不良影响。农药的一些特性，如持久性、活性、生物降解作用、生物积聚作用和毒性，都需要深入地调查研究。有机氯化物在环境中特别耐久，而活性有机磷和氨基甲酸酯化合物对地下水系统也是一种潜在的威胁。

到目前为止，只有几个例子描述了地下水受农药的污染。但是，必须时刻注意农药对地下水水质的影响，并且研究出减小农药使用对环境影响的办法。

排灌在今天的农业中占有重要的地位。在某些特定的气候条件下，长期灌溉会造成土壤和地下水的盐碱化。在古代文化记载中，已认识到幼发拉底河与底格里斯河之间及沿尼罗河谷一带的土地盐碱化是由灌溉造成的。今天，美国的San Joaquin河谷和苏联的Karakum地区等大片土地都受到土壤盐碱化的威胁。目前，世界上施以灌溉的土地约有2.5亿ha，约占全世界耕地的17%。根据不同的资料来源，其中约有一半地区受到灌溉造成的

盐碱化和涝灾的影响。灌溉的效率通常是很低的，而且在具渗透性的土地上大部分补给了含水层。这往往对地下水水质有不良影响。这是一个非常严重的经济和生态问题，因为农业灌溉用水消耗了世界上已开发水资源的80%。

众多的畜牧业所产生的大量液固态粪肥及废液远远超出了农业的需要。在这种情况下存在着过量施肥的问题，应称作“废料处理”。粪便堆积的渗漏常常成为地下水系统的生物有机污染源。

显然，农业的土地利用与地下水的保护之间存在着复杂的关系，而且农业与用水之间的利害冲突经常发生。对这几方面之间的关系需要加以管理和协调，要求每一农业区有各自特定的解决办法。1982年，在布拉格召开的关于“农业活动的影响”的学术讨论会上，强调了下列座右铭：“在这个地球上，面包和水的命运掌握在人的手中。必须协调自然生态系统以保证我们的未来，因为饥饿与干渴是影响人类生存的两个最大的灾难。”

目 录

前言

序

引言

第一章 大气-土壤-植被系统和水循环	1
(E. Romijn)	
1.1 引言	1
1.2 非生物分系统	2
1.2.1 蒸发和蒸腾	2
1.2.2 气候及水均衡	7
1.2.3 土壤	8
1.3 生物分系统	12
1.3.1 营养系统	12
1.3.2 限制因素	13
符号表	19
第二章 农药在非饱水带及饱水带的运动	21
(V. Beneš)	
2.1 农药在非饱水带的运动	21
2.1.1 非饱水带中的水	22
2.1.2 非饱水带水的流动	23
2.1.3 土壤水位势	24
2.1.4 水力传导率	28
2.1.5 植物根系摄取的水	31
2.1.6 水流的计算	32
2.1.7 非饱水带中溶质的运移	33
2.1.8 溶质运移的计算	34
2.1.9 氮元素运移示意图	36

2.2	农药在饱水带中的运动	37
2.2.1	饱水带中的水流	37
2.2.2	含水层的类型	38
2.2.3	潜水含水层中的水流	39
2.2.4	承压含水层中的水流	39
2.2.5	径向流	40
2.2.6	单位释水系数	40
2.2.7	水力传导率系数	41
2.2.8	导水系数	42
2.2.9	饱水带中的溶质运动	43
2.2.10	水动力弥散系数	44
2.2.11	流量和运移方程的数学解法	47
	符号表	53
第三章	化肥和农药对地下水水质的影响	56
	(V. Houzím, J. Vávra, J. Fuksa, V. Pěkný, J. Vrba, J. Stibral)	
3.1	引言	56
3.2	有机肥料	57
3.2.1	有机肥料的类型	58
3.2.2	有机肥料在土壤中的生物化学降解	61
3.3	无机肥料	62
3.3.1	肥料的化学分解	65
3.3.2	无机肥料的物理和化学性质对地下水水质的 影响	68
3.3.3	肥料的生物吸附及其对地下水水质的影响	69
3.3.4	其它营养素的循环	71
3.4	农药	72
3.4.1	农药的化学分解	81
3.4.2	农药在土壤中的生物降解	83
第四章	排灌的影响	87
	(E. Romijn)	
4.1	引言	87

4.2	排灌的目的	87
4.2.1	目的	87
4.2.2	土壤水的条件	88
4.2.3	排灌的重要意义	89
4.3	发展排灌系统的准则	89
4.3.1	灌溉	89
4.3.2	排水	92
4.4	排灌对地下水水量和水质的副作用	94
4.4.1	灌溉的副作用	94
4.4.2	排水的副作用	96
	符号表	98
第五章	数学模型	100
	(J. Balek)	
5.1	系统方法	100
5.1.1	问题的确定	101
5.1.2	可利用资料的确定	102
5.1.3	模拟系统的确定	103
5.1.4	限制因素的确定	103
5.1.5	模型的选择	103
5.1.6	模型的检验	104
5.1.7	模型的适应	104
5.2	模型的分类	104
5.2.1	根据模拟过程进行的分类	105
5.2.2	根据数学方法所作的分类	107
5.2.3	根据模型目的所作的分类	112
5.3	结语	115
第六章	不同农业条件下的地下水水质监测	116
	(J. Vrba)	
6.1	引言	116
6.2	农业活动造成的污染源	117
6.2.1	牲畜排泄物	117
6.2.2	无机肥料和土壤添加剂	118

6.2.3	农药	118
6.2.4	灌溉回流	118
6.3	监测系统	119
6.3.1	监测区的划分和监测系统的设计	119
6.3.2	数据采集	120
6.3.3	数据的传输、存储和处理	128
6.3.4	数据的检索和分析	129
6.3.5	运用数据进行决策	131
6.3.6	保护措施的法律、行政管理和技术实施	131
第七章	农业对地下水影响的控制和管理	133
	(V. Kolaja, J. Vrba, K. H. Zwirnman)	
7.1	引言	133
7.2	氮和水资源——一个管理和控制系统的简介	133
7.3	地下水污染的控制	137
7.3.1	地下水系统的预防保护	138
7.3.2	污染源的控制	141
7.4	农药——管理政策简介	148
7.5	受农药和化肥污染的地下水对人类健康的影响	150
7.6	结语	154
7.6.1	农业方面	154
7.6.2	供水及其管理	155
7.6.3	对人类健康的影响	155
实 例		157
	——干旱和半干旱地区农业灌溉对地下水的影 响	157
	(M. C. Agarwal, A. C. Goel, R. K. Malik)	
	——爱尔兰的农业对地下水的影响	164
	(C. R. Aldwell, D. J. Burdon, M. Sherwood)	
	——新西兰高度放牧的牧场区地下水中硝酸盐	

含量的增高.....	179
(R. J. Burden)	
——英国白垩系非饱水带中农业土壤淋滤液的 分布	185
(S. S. D. Foster 和 A. H. Bath)	
——预测受牲畜废水灌溉影响的地下水水质的 变化	198
(V. M. Goldberg)	
——土壤氮的运移和转变对地下水污染影响的 数值模拟	206
(M. Mehran, J. Noorishad), K. K. Tanji	
——细菌和病毒在地下水中运移的因素	217
(A. Pekdeger 和 G. Matthess)	
——氮在土壤剖面中的性状模型	225
(H. M. Selim)	

第一章 大气-土壤-植被 系统和水循环

E. Romijn

1.1 引言

为了研究农业对地下水水量及水质的影响，必须将农业系统划分成不同的分系统。这些分系统往往是一些专业性很强的分支学科。因此，本专著只能着重从水文地质学的角度来论述一些比较突出的事实。

所划分的一些分系统有：

a) “非生物”分系统

- 大气、气候和天气；
- 水文循环（包括排灌）；
- 土壤和底土；
- 地球化学循环（包括施肥）；
- 能流（energy flow）。

b) “生物”分系统

- 农作物及其生物化学；
- 微生物；
- 同农作物直接有关的动物：昆虫、牲畜等。

c) “人类”分系统

- 农场类型；
- 采用的技术；
- 社会经济情况。

不难看出，这些非生物、生物和人类分系统是互相联系、互

相影响的。因此，无法直接谈论农业对地下水水量及水质的影响，而只能分析其过程，阐述其状况。下面只讲述非生物和生物分系统。

1.2 非生物分系统

1.2.1 蒸发和蒸腾^①

辐射平衡

大气中和地球表面作用的主要能源是太阳。因此，这里先简单地讲一下太阳辐射和辐射平衡。

以铅垂于地球—太阳方向入射至地球上的单位面积的太阳能被称为太阳常数 S_0 ， $S_0=1.39\text{kW/m}^2$ （约等于 $2\text{cal}^{\text{②}}/\text{cm}^2\cdot\text{min}$ ）。地球每平方米水平面上平均接收 $S_0/4=0.35\text{kW/m}^2$ （约 $0.5\text{cal}/\text{cm}^2\cdot\text{min}$ ）。

实际上，辐射分布是不均匀的，赤道上的年辐射量约为两极附近的2.4倍。99%的太阳辐射波长在 $0.15\text{—}4.0\mu\text{m}$ 的范围内（即短波），其中45%为可见光波段（ $0.4\text{—}0.7\mu\text{m}$ ）。一部分太阳辐射被吸收，一部分被云、尘和空气分子（包括水蒸气）反射或散射回来。被散射的太阳辐射的主要部分以漫射形式（ S_d ）到达地球。在低于 $0.3\mu\text{m}$ （由臭氧和分子氧所致）及高于 $0.7\mu\text{m}$ （由水蒸气和二氧化碳所致）的波长上，吸收率最高。 S_b 是直接的波束辐射。在到达地表的全球辐射（ S_b+S_d ）中， r （漫反射率）是被反射的部分。在大气顶部的辐射入射中， S_b 平均约占31%， S_d 约占22%。水面的漫反射率为6%，植被为10—25%，雪和云可达90%。

地球表面被太阳加热后，在主要为 $0.4\text{—}50\mu\text{m}$ 波长的红外波段（长波）向外辐射。云层吸收长波辐射，此外还有水蒸气（ 5.3—

① 参见本章末的符号表。

② $1\text{cal}=4.1868\text{J}$ 。——编者注