

表 5 土壤有机质含量和氟化氢吸收量的关系

土壤层次	土壤有机质含量(%)	40 目土壤比重(克/毫升)	土壤含氟本底	熏后土壤含氟量(ppm)
A ₀ A ₁	48.20	0.39	10	991
A ₁	2.30	0.87	0	27

[注]: 熏气浓度 2—3 毫克 F⁻/米³, 18 小时

表 6 含氟土壤常温干燥放置后土壤含氟量的变化

土 样 号	熏前土壤含氟量 (ppm)	熏后土壤含氟量 (ppm)	常温干燥放置 16 个月后 土壤含氟量 (ppm)
9	2.5	234	45
14	10	991.3	385
12	2.5	194	80

前者的含氟量约为后者 42 倍(表 5)。说明有机质含量对土壤吸收氟化氢的能力有显著影响。土壤颗粒越细、有机质含量越多,对氟化物吸收量就越大。吸收氟化氢的能力显然是决定于吸收表面积的大小。我们将熏气处理过的土壤在常温的干燥条件下放置十六个月,然后测定含氟量,发现含氟量有减少的趋势(表 6)。这种情况说明,土壤对气态氟化氢的吸收机理有一部分是属于物理吸附。

此外,土壤吸收氟化氢后,土壤酸度有所增加。供试土壤 pH 值在 3.6—8.8 之间,吸收

了氟化氢以后 pH 值少的增加 0.2, 多的增加 0.9。

熏气试验证明,土壤对气态氟化物的吸收能力是相当强的,吸氟量因土壤质地、有机质含量而异。土壤吸收气态氟化物的机理,以及氟化氢气体对土壤性质的影响尚有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 云南林业学院,环境科学, 2, 63(1978).
- [2] Groth III, E., *Fluoride*, 8 (4)(1975).

含氟污水灌田试验的探讨

中国科学院成都地理研究所*

一、含氟污水灌田试验的依据

氟是自然界的广布元素,它在地壳中的重量克拉克值虽然只有 0.027%^[1],却广泛地分布于各自然要素中。特别是与作物生长关系最密切的水和土壤,一般都含有氟。植物体中一般含有一定数量的氟而不影响其生长发育,是已经证实了^[2]。这表明植物对环境中的氟有一定的适应性和吸收能力,为我们

利用含氟污水灌田提供了客观基础。

氟是人体的必需元素之一,人体中缺少氟就会引起龋齿病。因此,农作物中含有一定数量的氟对人是有益的(特别是在龋齿病流行区)。对于家养动物和牲畜也有类似情况。利用工业含氟污水灌溉农田,对增加水源和肥料,改良土壤,都有积极的意义。

* 由陈国阶同志执笔

植物对氟有一定的忍耐能力。作物及其生长环境对氟还有一定的净化能力。土壤可以通过物理、化学、生物等作用逐步消耗由外界增加进去的氟。据 McIntire 研究,每年在 100 平方米的土壤中仅被雨水淋失的氟就有 2 克^[3]。作物本身成熟后由人们收割,将含于植物体内的氟同时带走,实际上也是对土壤中氟的一次净化。

但是,氟对植物、动物和人类毕竟是敏感的微量元素,脊椎动物和人类的牙齿、骨骼对其需要量也是有限的。环境中过量的氟会引起农作物减产甚至死亡,也会引起动物的氟骨病,甚至引起人类的斑釉齿和骨折。因此,利用含氟污水灌田必须十分谨慎,必须控制在一定的灌溉浓度之下。这个浓度究竟以多大的标准为宜,我们认为应根据下列原则来确定:

(一) 不影响农作物的生长、发育,能增加农作物的产量。

(二) 农作物的质量不受影响,特别是作为人类食用的籽粒果实和牲畜的饲料(如牧草),氟的残留量不能超过卫生标准或人体正常吸收的水平,不超过牲畜饲料的含氟安全水平。

(三) 不致造成对土壤、地下水、地表水及邻近地区的污染,对灌区内外的环境质量不致产生有害的影响。

总之,应该兼顾生产效果和环境保护等各方面的效益。

二、含氟污水灌田对农作物生长发育及产量的影响

为了解氟对农作物生长发育的影响,找出含氟污水对农作物不致造成危害的最大允许浓度,我们于一九七五年分别做了盆栽试验和小区农田试验(试验管理工作由成都市农科所负担)。盆栽试验的具体处理是:用氟化钠分别配制成 2.5、8、25、75、250、1000 毫克/升 6 个浓度的灌溉水以及普通河水(以

下简称清水)和成都磷肥厂含氟污水(其浓度变化于 6.0—9.0 毫克/升之间,以下简称污水),共 8 个不同浓度。同一浓度同时栽种三盆。盆栽土为非污染区的成都平原冲积土。全生育期灌溉量为:早稻 58 升/盆,中稻 69 升/盆,茄子 14 升/盆。露天栽培,管理条件一致。

小区农田灌溉试验在青白江区,面积为 0.36 亩。用清水和污水分别灌溉水稻、玉米、油菜、黄瓜、莴苣,各重复两次。

一九七六年,盆栽试验灌溉水改用氟化铵配制,浓度改为 1.5、3、10、20 毫克/升(按氟离子计),加上清水和污水,共 6 个不同浓度。作物有水稻、玉米、大豆。全生育期灌溉量为:水稻 71 升/盆,玉米 27 升/盆,大豆 20 升/盆。小区农田试验作物有卷心菜、莴苣、玉米。其它条件与一九七五年相同,具体管理工作由四川农学院承担。

(一) 含氟污水灌田对水稻的影响

1. 对水稻种子发芽的影响

盆栽试验发现,氟化钠的浓度在 250 毫克/升以下,各盆栽水稻种子发芽不受影响。浓度为 500 毫克/升时,发芽势弱,发芽率约 50%。在 750 毫克/升和 1000 毫克/升的浓度时,种子则不发芽。这说明含氟化钠污水对水稻种子发芽的毒害浓度介于 250—500 毫克/升之间。

2. 对水稻生长发育和产量的影响

不同浓度处理的水稻在苗期未发现受害症状。当水稻分蘖后,处理浓度为 1000 毫克/升时,植株开始萎蔫,一月左右死亡。受害症状为边缘叶片出现褐色条斑,以后完全变黄,稻株外叶向外侧折断,根系变黑,最后枯死。250 毫克/升处理的水稻生长受到抑制,分蘖数减少,空秕数增加,千粒重降低,产量下降。(见表 1.2)。

从表 1 和表 2 可以看出,不论早稻和中稻,在 75 毫克/升以下各浓度的处理,对水稻的生长发育无明显的影响,作物产量也无

表 1 不同浓度氟化钠处理的早稻考种比较

项目 处理浓度 (毫克/升)	空秕数 (粒/株)	产量 (斤/3盆)	千粒重 (克)
清 水	6.6	0.35	20.9
污 水	6.6	0.50	21.1
2.5	7.3	0.50	21.0
8	5.1	0.55	21.8
25	4.3	0.53	22.2
75	6.5	0.50	21.5
250	8.3	0.30	20.6

表 2 不同浓度氟化钠处理的中稻考种比较

项目 处理浓度 (毫克/升)	分蘖数	株高 (厘米)	穗长 (厘米)	产量 (斤/3盆)	千粒重 (克)
清 水	53	85.0	21.1	0.65	22.5
2.5	53	85.7	21.5	0.52	22.7
8	46	90.5	20.7	0.54	22.9
25	49	88.2	22.5	0.55	22.4
75	51	89.2	21.6	0.55	23.8

明显变化.说明若仅从水稻的生长发育考虑,即使用 75 毫克/升浓度的含氟化钠污水灌溉,基本上也是安全的。

从磷肥厂含氟污水与清水灌溉比较可看出,在盆栽和小区试验中,污灌比清灌略有增产.小区污灌亩产达 804 斤,而清灌仅 761 斤.其它经济性状变化不大(见表 3).说明磷肥厂的含氟污水若灌溉得当,是一个重要的水源和肥源。

表 3 小区农田清灌污灌对水稻经济性状的影响

项目 处 理	株高 (厘米)	穗长 (厘米)	每穗粒 数	每穗空 秕数	千粒重 (克)
清水	97.82	22.24	162.39	13.41	24.1
污水	98.96	22.21	152.52	9.61	23.6

(二) 含氟污水灌溉对其它作物的影响

从 1975 年对茄子的盆栽试验和对玉米、蔬菜、黄瓜、莴苣等小区农田试验的结果来

看,在各种浓度下,作物生长正常,与清灌基本一致.特别是茄子,在用 1000 毫克/升这样高的浓度灌溉后,从外观上仍看不出有受害症状,生长发育一直很正常,展开度、株高、结果期与清灌基本一致,产量差别也不大,说明茄子是一抗氟性的作物。

其它作物在小区农田对比试验中,还显示出污水灌溉有一定的增产效果(见表 4)。

表 4 几种作物的小区农田试验产量

单位: 公斤/亩

作物 处 理	玉米	蔬菜	黄瓜	莴苣
清水	513	1499	2290	953
污水	533	1707	2190	1125

1976 年我们对大豆、玉米进行盆栽试验,结果表明,20 毫克/升的处理浓度对大豆的生长有抑制,40 毫克/升的浓度可使大豆种子不发芽.1.5、3、10 毫克/升的浓度未见与清水有明显差别,对玉米也未见有伤害,但对产量稍有影响。

三、含氟污水灌田后氟的累积状况

含氟污水灌田后,氟在作物和土壤中的累积情况及其与灌溉浓度之间的关系如何,对了解氟的灌溉效应和对环境质量的影响,确定含氟污水合理的灌溉指标,具有重要作用.从两年的实验中我们得出以下几种有实际意义的情况。

(一) 含氟污水灌田对作物含氟量的影响,没有大气氟污染那样敏感。

植物的叶片能直接吸收大气中的氟,由表面吸收而累积于植物体内的含氟量可高达空气中氟浓度的百万倍,空气中只要含 0.0001 ppm 的氟就能使敏感性植物受害^[4].但含氟污水灌田对水稻含氟量的影响,在 25 毫克/升以下各浓度反应并不敏感,就是说,随着灌溉浓度的加大,未引起水稻含氟量相应的成规律地增加,只有 75 毫克/升以上的处

理浓度,水稻含氟量才有较明显的增加,并有随灌溉浓度增高而增高的趋势。

用 20 毫克/升以下各浓度灌溉玉米和大豆,其含氟量与清灌也无显著差异,说明灌溉浓度对其根系吸收氟的影响也不敏感。

(二) 茄子含氟量与试验浓度之间不成有规律的数量关系。

表 5 不同试验浓度对茄子含氟量的影响
单位: 毫克/公升

处理 (毫克/升)	2.5	8	25	75	250	1000	污水	清水	清洁区
含氟量	7.73	6.48	5.19	8.63	5.26	8.91	8.22	5.62	5.22

从表 5 可以看出,在高达 1000 毫克/升的试验浓度时,茄子的含氟量仍无明显的增加。试验浓度由低到高的变化,未见茄子含氟量有相应的递增,联系到茄子在上述灌溉浓度下,生长发育正常,产量不减,说明茄子对氟的吸收受根外溶液氟离子浓度的影响甚小,对环境高浓度的氟有相当大的抗性。

(三) 含氟污水灌溉后,作物所吸收的氟主要累积于根部。

一些文献记载,植物从土壤或空气中吸收的氟,主要累积于植物叶片,特别是累积于叶片边缘和叶尖^{[5][6]}。我们在空气氟污染区的研究也表明,乔木灌木和水稻叶片含氟量都远高于茎和果实。但从含氟污水灌田的试验中,却发现一个有趣现象,即不管是水稻还是玉米、大豆,其所吸收的氟主要累积于根部,其次才是叶片,含氟最少是果实(见表 6)。同时还可见到,水稻根的含氟量远高于旱作

表 6 污灌后作物含氟量分异
单位: 毫克/公斤

作物名称	样品数	根	叶	壳*	籽实
水稻	6	133.3	16.3	6.5	4.0
大豆	6	68.6	19.0	16.9	13.4
玉米	6	38.3	17.1	14.3	6.5

* 水稻为谷壳、大豆为荚壳、玉米为蕊。

作物根的含氟量,而且,水稻根的含氟量有随灌溉浓度增高而增高的趋势,而旱作物则不明显。

(四) 在同一灌溉浓度下,旱作土壤氟的残留量大大超过水稻土的残留量。

尽管在盆栽试验中,水稻的灌溉量高于大豆、玉米的灌溉量几倍,但收获后,大豆和玉米的土壤残留量却比水稻土高几倍。这与我们对青白江区土壤的研究所得出的结论相一致,在该区的污染区内旱作土中的可溶性氟的含量远高于水稻土中的可溶性氟的含量。这说明含氟污水灌溉的水稻土壤中的氟大多数受雨水或灌溉水所淋失,而旱作土,氟受淋失较弱,较多的氟残留于土壤中,残留量绝对值明显增加。因此,水稻种植区与旱作区含氟污水的灌溉效果,对土壤的氟累积来说,有明显的差别。

四、对确定含氟污水灌溉水质指标的若干看法

含氟污水灌田试验是一项新的工作,也是细致复杂的研究课题。为了适应工农业发展的需要和环境保护的要求,尽快制订出适合我国实际的、科学的灌溉标准,是一项迫切的任务。对于该项指标的确定,我们认为有一些问题需要提出来商讨。

(一) 从目前我们对含氟污水灌田的试验结果来看,在 20 毫克/升以下的各种浓度,对作物的生长发育以至产量、质量都没有造成危害,对地下水、土壤微生物等也没发现有明显的影响。作物果实的氟残留量与清水灌溉差别不大,不致引起人体的氟中毒。作为我国南方耕牛饲料的稻草含氟量,也低于 30—40 ppm 的中毒水平。因此,采用 3 毫克/升的浓度指标,对环境保护来说是可靠的。

(二) 我国幅员广大,土地辽阔,地跨热带、亚热带、温带、寒温带。从我国东南部至西北部的气候变化上看,则由高温多雨的湿

润区变至半湿润区、半干旱区最后至干旱区。氟与其它有害物质(如铅、镍、砷、氰、酚、苯、汞等)有一明显的差别:即其它有害物质在第一环境(即原生环境)中地域的自然分异不十分明显,而氟是最活泼的卤族元素,在第一环境里的分布、迁移、累积受各地的水热条件的影响极大。目前,地壳表生带的自然氟的分布很不均匀,有的地区本底含氟浓度就已对人类和牲畜造成危害,而有的地区含氟量则还不能满足人类对它的需要。同时,目前我国含氟量相对较多的干旱区,氟还有继续累积的趋势,含氟量偏少的湿润地区,氟还有继续淋失的趋势,加之全国各地土壤类型、耕作条件、作物种类、灌溉方式等差异极大,对氟的吸收、累积、迁移、净化有显著区别。因此,我们认为全国只采用一个指标,是不符合国内自然条件和农业耕作复杂多样、差异悬殊的实际情况的。

(三)考虑到灌溉指标不可能搞得太多、太繁琐,使问题复杂化,又考虑到我国南北方从地理环境到耕作制度有显著差别,特别考虑到氟在我国北方气候干燥地区是明显的累积区,南方气候湿润多雨是氟的淋溶区;北方多种植小麦、玉米、高粱、大豆等旱作,南方则主要种植水稻。因此,我们认为,我国湿润区与干旱区的灌溉标准应该有所差别。建议把全国的指标定为两个:干旱区仍保持3毫克/升以下的浓度不变,湿润区是氟的缺乏区(除个别含氟矿区外),建议提高到3毫克/升以上、5毫克/升以下的范围。因为湿润区即使含氟污水浓度稍大,但淋失很快。另外,即使作物中的氟残留量有一定提高,对缺氟区来说,倒可以补充人类对氟的需要。从目前的情况,看不出在5毫克/升的浓度以下作物对氟有明显的累积。总之,提高湿润区的灌溉指

标,有利于合理利用污水,而不致降低环境质量。

(四)对于干旱区和湿润区界限的划分,我们认为基本上可以水稻耕作区和旱作区(北方的一些水稻耕作区如北京西郊、天津郊区、河套平原、延边自治州和沈抚灌区等仍划归旱作区)为界,具体界线可以考虑以淮河—伏牛山—秦岭—龙门山—邛崃山—云南横断山脉为界。这样,将全国划分成东南部 and 西北部两部分,西北部属干燥半干燥的旱作区,在该区氟处于易富集状态,灌溉指标不宜超过3毫克/升。东南部属湿润水田区,氟处于易淋溶状态,目前大部分地区氟量不足,灌溉指标可以大于3毫克/升,但不宜超过5毫克/升。

除这样划分外,还应该指出,在自然氟中毒的地区,一般应禁止用含氟污水灌田,以免加重氟地方病的危害。

(五)含氟污水灌田是一项新的工作,目前所得资料不多,现在提出的水质灌溉标准,还不很成熟。建议标准正式出布后,仍应不断总结经验,对氟在不同土壤类型中的迁移累积规律、不同作物对氟的吸收能力和累积规律、不同工业部门含氟污水灌溉效应的比较进行反复验证,制定出更符合客观实际、有利于发展生产和保护环境的灌溉标准。

参 考 资 料

- [1] 南京大学地质系:《地球化学》,科学出版社,(1966年)
- [2] K. H. Wedepohl: Handbook of Geochemistry, Vol. II-3 (1972)
- [3] 王华东、于激,地理 第3期 (1963年)。
- [4] 刘东生,环境地质与健康,第2期(1975。)
- [5] 黄银晓译,大气氟化物被植物吸收后的分配,植物生态学译丛,科学出版社,第2集(1975)。
- [6] 李耶波译,氟污染与肥料的相互影响,植物生态学译丛,科学出版社,第2集(1975)。