

水稻对 ^{137}Cs 的叶面吸收

范仲学

(山东省农业科学院原子能应用研究所, 济南 $yBurao$)

徐世明 赵文虎 李 霞

(中国农业科学院原子能利用研究所, 北京 $xraaZA$)

摘 要 水稻不同生育期污染主茎单个叶片结果表明, ^{137}Cs 向植株未污染部位的转移与污染叶的叶位有关, 植株中的 ^{137}Cs 主要分布在茎叶中。受污染的水稻各部位 ^{137}Cs 积累量与污染量呈线性正相关, 植株各未污染部位 ^{137}Cs 比活度大小顺序为叶 Δ 茎 Δ 根 Δ 穗。

关键词 水稻 ^{137}Cs 叶面吸收 积累 分布

核电站正常运行时是安全的, 但在事故情况下 θ_{xk} , 将有大量的放射性物质进入环境, 其中半衰期长、数量大的 ^{137}Cs 可通过根部和根外两个途径转移到农作物体内, 并通过食物链进入人体, 造成危害。摸清 ^{137}Cs 在进入人体各种途径中的吸收、积累、运转规律, 对于减轻其对人类的危害有重要的现实意义。我国对农作物根部吸收 ^{137}Cs 的研究已有许多报道 θ_{y-}^{Bk} , 但对农作物叶面吸收 ^{137}Cs 的研究较少 θ_{y-}^{Bk} 。本文用水稻为试材, 进行了 ^{137}Cs 叶面污染的模拟试验, 为我国环保、卫生等部门提供基础数据。

1 材料与方

1.1 材料

本试验所用水稻品种为嘉粳 Δ 号, ^{137}Cs 为前苏联进口的无载体 ^{137}Cs θ ϕ_z 溶液。所用北京地区草甸褐土的基本农化特性是 $H_4\Phi E u w$, 全氮含量 $w u EZ\%$, 全磷含量 $w u z\%$, 有机质 $x i B z\%$, 速效磷 $x B u w v v w o s$ 速效钾 $x A E i B_1 v v w o$ 。栽培用白瓷盆直径 $z r \pi_1$ 、高 $z A \pi_1$ 。

1.2 方法

试验采用盆栽, 在网室中进行。按 ^{137}Cs θ ϕ_z 溶液体积的 $w u B\%$ 加吸附剂, 用微量进样器严格控制 ^{137}Cs 污染量。所有样品置 $E u^{\circ}C$ 烘箱中烘干, 称干重后放入干净的坩埚内在电炉上碳化, 称炭重后磨细, 然后按样品放射性大小分别在 $T\Psi-y\Gamma a w$ 和 $T\Phi-A u E$ 上测量。 ^{137}Cs 的分布及转移率^[1]的计算公式分别如下:

分布 $\theta\%$ $K\theta$ 植株上某些未污染部位 ^{137}Cs 总活度 $\theta O_3 p v$ 植株全部非污染部位 ^{137}Cs 总活度 $\theta O_3 p \kappa \times x a w\%$;

转移率 $\theta\%$ $K\theta$ 植株上非污染部位 ^{137}Cs 总活度 $\theta O_3 p v$ 污染到植株上的 ^{137}Cs 总活度 $\theta O_3 p \kappa \times x a w\%$ 。

1.3 试验设计

$x u w$ 分蘖期相同污染量

Γ 月 $y B$ 日, 污染植株主茎上第 B, Γ, Δ 片叶, 单株 ^{137}Cs 污染量为 $z y \Gamma z u A O_5$, 共 $x w$ 盆。两周后开始取样, 取样间隔 $\Delta-x A \rho$ 。

$x u w$ 分蘖期不同污染量

表x 不同时期污染单个叶片^{xxΔ}I_{II} 在植株中的分布

污染 叶序	分 布 %ρ				向整个植株的 转移率 %ρ
	根	茎	叶	穗	
Γ	x _Γ Δ	zZ _Γ Δ	zB _Γ Δ	y _Γ Δ	yΔ _Γ Δ
E	w _E Δ	AA _E Δ	yy _E Δ	zy _E Δ	BΓ _E Δ
剑叶	w _Δ Δ	B _Δ Δ	xy _Δ Δ	zΓ _Δ Δ	EB _Δ Δ

表y 水稻器官^{xxΔ}I_{II} 比活度变化₀ O₅ /ρ

污染后 天数	根	茎	叶	穗	植 株 平 均
xΔ	x _x Δ	x _Δ Δ	x _Δ Δ	—	x _B Δ
yΔ	Z _y Δ	x _E Δ	xy _Z Δ	BB _E Δ	xx _w Δ
yE	A _Δ Δ	B _E Δ	Z _A Δ	zw _E Δ	Γ _w Δ
Ay	y _A Δ	B _A Δ	Γ _y Δ	y _w Δ	A _w Δ
AZ	x _A Δ	y _A Δ	Ay _Δ Δ	x _A Δ	y _Δ Δ

设B个处理，单株^{xxΔ}I_{II} 污染量分别为ΓΓ_ΔO₅、zzzw_ΔO₅、xITB_ΔO₅、zyΓ_ΔΔO₅、EzyB_ΔO₅，共xw盆。成熟时一次取样。

x_ΔΔ 不同生育期污染主茎上单个叶片

分别于Γ月yB日Δ月xy日Δ月xZ日污染主茎上第Γ叶、第E叶、剑叶，单叶污染量都是yΔΔB₀，共Γ盆。成熟时一次取样。另设z盆水稻作为整个试验的对照。

y 结果与分析

y_w ^{xxΔ}I_{II} 向水稻植株的转移率及其在未污染部位的分布

污染水稻主茎上单个叶片试验结果表明，^{xxΔ}I_{II} 可由污染叶片转移到植株未污染的各个部分及新生部分，^{xxΔ}I_{II} 向水稻植株的转移率与污染叶的叶位有关，随叶位上升不断增大，如污染第Γ片叶时，转移率为yΔ_ΔΔ%，污染剑叶时，转移率为EB_ΔΔ%(表x)。

从表x可以看出，污染第Γ片时，^{xxΔ}I_{II} 在水稻各部位的分布茎Δ叶Δ穗Δ根，当污染叶位上升到第E叶和剑叶时，^{xxΔ}I_{II} 在水稻各部位分布变为茎Δ穗Δ叶Δ根，穗中的^{xxΔ}I_{II} 含量仅次于茎，超过了叶中的^{xxΔ}I_{II} 含量，另外，^{xxΔ}I_{II} 在根和叶中的分布随污染叶位的上升而减少，^{xxΔ}I_{II} 在茎和穗中的分布随污染叶位的上升而增加。

表z 水稻器官^{xxΔ}I_{II} 总活度变化₀ O₅ /株ρ

污染后 天 数	根	茎	叶	穗	Σ
xΔ	y _w Δ	x _A Δ	x _Δ Δ	—	y _Z Δ
yΔ	y _x Δ	xy _A Δ	x _Δ Δ	Z _Δ Δ	y _E Δ
yE	x _E Δ	Z _x Δ	Z _Δ Δ	y _Δ Δ	y _Z Δ
Ay	Γ _Δ Δ	E _x Δ	Γ _E Δ	Ay _Δ Δ	x _Z Δ
AZ	E _w Δ	BB _E Δ	BB _E Δ	z _Δ Δ	x _B Δ

表A 水稻各部位对^{xxΔ}I_{II} 的积累量

随污染量的变化 ₀ O ₅ /株ρ					
污染量	根	茎	叶	穗	
ΓΓ _Δ	x _Δ Δ	z _Δ Δ	B _Δ Δ	x _E Δ	
zzzw	x _Δ Δ	zw _Δ Δ	yy _Δ Δ	y _w Δ	
xITB _Δ	A _Δ Δ	E _Δ Δ	E _y Δ	B _y Δ	
zyΓ _Δ	B _Δ Δ	xx _B Δ	xy _Δ Δ	AZ _Δ Δ	
EzyB _Δ	y _Δ Δ	E _A Δ	Δ _Δ Δ	A _Δ Δ	

y_Δ 水稻植株未污染部位^{xxΔ}I_{II} 的变化

污染分蘖期水稻主茎上第B、Γ、Δ片叶后，^{xxΔ}I_{II} 迅速向植株未污染部位及新生部位转移。分期取样测量结果表明，叶面污染后第xΔ₀，总体来看未污染部位^{xxΔ}I_{II} 比活度最高，以后逐渐下降（表y），这是植株不断长大干物质积累逐渐增加和整个植株未污染部位总活度下降(表z)造成的。但具体到某个器官，以上两方面的因素哪个占主导地位，则比较复杂。因为穗中总活度先上升最后又下降，而穗中比活度仍是逐渐下降，说明就穗而论，干重增加是导致比活度下降的主要因素。穗中^{xxΔ}I_{II} 总活度在污染后yΔ—Ay_Δ不断增加，是其它器官中的^{xxΔ}I_{II} 转移到此时的生长中心——穗中的结果。植株^{xxΔ}I_{II} 总活度逐渐减小可能与水稻时刻都在进行的矿质代谢有关，但尚需进一步证实。根部吸收土壤中^{xxΔ}I_{II} 结果表明，水稻植株^{xxΔ}I_{II} 比活度在污染后第zw_Δ较高，而后逐渐下降，但总活度仍然上升^{BB_Δ}。

从表y可以看出，^{xxΔ}I_{II} 在各器官中的比活度大小顺序是叶Δ茎Δ根Δ穗。水稻从土壤中吸收^{xxΔ}I_{II} 在各器官中的比活度大小顺序与此不同，其顺序为根Δ叶Δ茎K穗^{BB_Δ}。

表B 水稻各部位 ^{137}Cs 积累量 ρ 与
污染量 ρ^2 的相关性

部位	回归方程	r 值	T 值
根	$\lambda K w u r B B y + w u r a y A$	$w u Z E a \Delta A i y I Z B^{**}$	
茎	$\lambda K - \Gamma w u d T B B + w u r a y Z$	$w u Z I B v A w i B Z E \Delta^{**}$	
叶	$\lambda K - A \Gamma w u x y w + w u r d E \Delta E$	$w u Z \Delta A x B B i d Z I x^{**}$	
穗	$\lambda K - y \Gamma i y x z z + w u r A Z x$	$w u Z B E x z z u B Z B A^{*}$	

注: $T_{w m B} K x w u x T_{w m x} K z A i y y$

2.2 水稻植株 ^{137}Cs 积累量与污染量的关系

为了探讨水稻植株各部位对 ^{137}Cs 的积累量与叶面污染量之间的关系,在水稻分蘖期分别用相同体积不同比活度的B种 ^{137}Cs 溶液污染主茎上第B— Δ 叶。收获后测量结果表明,植株各部位 ^{137}Cs 积累量随污染量的增加而增加(表A),两者呈 $\lambda K \xi + o_2$ 相关关系(见表B)。经 T 检验,其线性回归达显著甚至极显著水平。这与 ^{137}Cs 叶面污染春小麦的试验结果一致^[7]。其中 o 值都很小,说明水稻各部位对 ^{137}Cs 积累量的增加远比污染量的增加缓慢。

3 小结

3.1 水稻不同生育期分别污染主茎上单个叶片, ^{137}Cs 由污染叶向植株其它部位的转移率按污染叶位自下而上的顺序逐渐增大;转移到植株中的 ^{137}Cs 大部分($\Gamma z u E\% - \Delta B u y \Gamma\%$)分布在茎叶中,其次分布在穗中,根中最少,只占 $w u x y\% - x u \Delta\%$ 。

3.2 分蘖期污染水稻主茎第B、 Γ 、 Δ 叶片后, ^{137}Cs 在植株中的比活度和总活度在第 $x A \rho$ 都达最大值,以后逐渐减小;水稻各器官 ^{137}Cs 比活度大小顺序是叶 Δ 茎 Δ 根 Δ 穗。
3.3 相同生育期叶面污染的水稻,植株各部位 ^{137}Cs 积累量随污染量的增加而增加,两者呈显著的直线正相关($\lambda w u Z B$);在本试验所达污染水平($E z y B u w O_5 v$ 株)下,未发现对水稻植株造成辐射损伤。

参考文献

- 1 施仲齐等.核电站的环境影响.北京水利电力出版社,1984
- 2 中国农科院原子能所二室. ^{137}Cs 、 ^{137}Cs 在农作物中的吸收分布规律的研究.放射医学,1992,9(1):1-11
- 3 袁同才.探索利用植物净化 ^{137}Cs 、 ^{137}Cs 污染的土壤.农业环境保护,1992,2(1):1-4
- 4 李特特等.施肥措施对农作物从土壤中吸收 ^{137}Cs 及 ^{137}Cs 的影响.原子能农业应用,1984,2(1):1-4
- 5 路子显等. ^{137}Cs 在水稻体内及土壤中动移、累积与分布.中国核科技报告,1992,11(1):1-11
- 6 范仲学等. ^{137}Cs 叶面污染在春小麦中的转移、积累与分布.中国核科技报告,1992,11(1):1-11
- 7 范仲学等.茄子叶面吸收 ^{137}Cs 的研究.核农学通报,1992,1(1):1-11
- 8 $\Delta \delta \xi \sigma_6 T \Sigma \sigma \xi_0 u \rho \xi \rho \xi \sigma \pi \sigma_3 \nu_3 \xi \tau \sigma_6 \Pi \varphi \sigma_6 2 3 0 \sigma_0 u \phi_0 0 \sigma \chi \varphi \sigma \rho_0 \Psi \varphi_2 \delta \chi \sigma_3 \xi_7 7 3 7 7 \partial \sigma \rho u Z Z z H \tau d - x \tau d$

作者简介

范仲学,男,32岁,助理研究员,1984年12月获中国农科院研究生院生物物理专业硕士学位,现在山东农科院原子能应用研究所从事省科委课题“同位素示踪研究单产 $\Gamma B u w$ 小麦栽培技术体系”研究工作。

$T_0 \xi \nu \sigma \Xi_0 7 3 6 4 8 \chi_2 3 \tau^{137}\text{Cs} 0_3 \rho \chi \tau \sigma u T \xi_2 \eta \varphi_3 2 \nu_2 9 \sigma \sigma \xi_0 w X_7 8 \chi_8 9 8 \sigma \tau_3 6 \Xi_4 4 0 \chi \tau \xi_3 \chi_2 3 \tau \Xi_3 1 \chi \tau \Sigma_1 \sigma_0 \nu_3 S S \varphi \xi_2 \rho_3 2 \nu \Xi \pi \xi \rho_3 1_3 3 \tau \Xi_0 \nu \chi \tau 9 0 8 9 6 \xi_0 s \pi \rho_2 \pi \sigma_1 s \Psi_2 \xi_2 y B u r a y s \Xi_0 6 3 \rho_2 2 \sigma \chi_3 2 1 \sigma_2 s \xi_0 \phi_0 3 8 \sigma \tau \chi_2 2 S x Z Z E s x \Delta_0 x p I E - x w$
 $\alpha \varphi \sigma_1 \chi_0 \sigma_0 0 \sigma \xi_2 3 \tau 6 \chi \tau 7 8 \sigma_1 1 \xi_1 \xi_0 8 \chi \tau \xi_0 0_3 \pi_3 2 8 \xi_1 \chi_2 \xi_8 \sigma \rho_1 \chi \varphi^{137}\text{Cs} \xi_8 \rho \chi \tau \sigma_0 \sigma_2 8 u 6 3 1 8 \varphi 7 8 \xi \nu \sigma_1 8 3 7 8 9 \rho_3 \chi_7 \tau_0 \xi \nu \sigma \xi \rho_7 3 6 4 8 \chi_2 \xi_2 \rho_8 \xi_2 7 0 3 \pi \xi_3 \chi_2 u \alpha \varphi \sigma_0 \sigma_1 7 9 0 8 7 1 \varphi_3 1 \sigma \rho_8 \varphi \xi_8 8 \varphi \sigma 8 6 \xi_2 7 0 3 \pi \xi_3 \chi_2 2 6 \xi_8 \sigma_3 \tau^{137}\text{Cs} 8 3 2 3 2 - \pi_3 2 8 \xi_1 \chi_2 \xi_8 \sigma \rho_4 \xi_6 8 7 3 \tau 8 \varphi \sigma 4 0 \xi_2 8 1 \xi_1 6 \sigma \xi_8 \sigma \rho_8 3 8 \varphi \sigma 4 \varphi_0 0 0 3 8 \xi_2 \chi_2 3 \tau 8 \varphi \sigma \pi_3 2 8 \xi_1 \chi_2 \xi_8 \sigma \rho_0 \sigma \xi_2 u \in 3 7 8 3 \tau^{137}\text{Cs} 1 \xi_1 \rho \chi_8 6 \chi_0 9 8 \sigma \rho \chi_2 0 \xi_0 \sigma_1 \xi_2 \rho_7 8 \sigma_1 7 u \alpha \varphi \sigma_0 \sigma_1 \xi_1 \xi_1 4 3 7 \chi_8 \chi_2 0 \chi_2 \sigma_2 6 \sigma \xi_3 \chi_2 2 7 \varphi \chi_1 0 \sigma_8 1 \sigma \sigma_2 8 \varphi \sigma \pi_3 2 8 \sigma_2 3 \tau^{137}\text{Cs} \chi_2 2 3 2 \mu \sigma_3 2 8 \xi_1 \chi_2 \xi_8 \sigma \rho_4 \xi_6 8 3 \tau 8 \varphi \sigma 4 0 \xi_2 8 \xi_2 \rho_8 \varphi \sigma \xi_1 3 9 2 8 3 \tau^{137}\text{Cs} \tau_3 6 8 \chi_8 \rho_0 \alpha \varphi \sigma^{137}\text{Cs} \chi_2 2 3 2 - \pi_3 2 8 \xi_1 \chi_2 \xi_8 \sigma \rho_4 \xi_6 8 7 3 \tau 8 \varphi \sigma_0 \chi \tau \sigma 4 0 \xi_2 8 1 \xi_1 \xi_0 6 \xi_2 \nu \sigma \rho \xi_1 \tau_3 0 0 3 1 7 \chi_2 \xi_2 3 6 \rho \sigma_0 3 \tau \chi_7 \xi_0 \rho_3 \chi_8 H \sigma \xi_2 \tau A 7 8 \sigma_1 \Lambda 6 3 3 8 \Lambda \sigma \xi_0 u$
 $\Omega \sigma_3 1 3 6 \rho_1 H \chi \tau \sigma s^{137}\text{Cs} \xi \rho_7 3 6 4 8 \chi_2 2 S 8 6 \xi_2 7 0 3 \pi \xi_3 \chi_2 2 u$

金华地区氟污染成因危害及对策(I) *

—氟地球化学环境特征

许晓路 申秀英

(浙江师范大学科研处, 金华 $zyxvaw$)

摘 要 研究表明, 氟高值区域主要分布在茆道—武义一线两侧, 氟含量高值区呈北东风条带状展布, 与萤石矿带吻合; 各地层氟丰度不一, 矿区附近较高; 该地区降水量较大, 酸性红壤土、重碳酸钙型为主的水化学类型限制了高氟地表环境的形成, 而盆地结构、人为污染加剧了地表水氟丰度; 高氟环境污染了水体、土壤及植物, 并引起地方性氟病; 地方性氟病等是由于饮用含氟水引起的, 改水降氟是控制地氟病的有效方法。

关键词 金华 萤石 氟 地方性氟病

氟是人体必需元素之一，体内平均含量为 $z\Delta uvv$ 。含氟量过多或不足，均不利于人体健康，当氟过量时造成人体患氟斑牙、氟骨症，而含量不足时易患龋齿。人体主要通过饮水摄入氟，故水中氟离子含量和人体含氟量密切相关。金华地区是我国主要萤石产地，主要分布在武义、永康、义乌、东阳、金华等县(市)。全市萤石矿的储量总计在 $z\Delta av$ 万吨以上，年产萤石精粉石方 zB 万吨(约占全省的一半、全国的 xvA)，已知矿床点 yZT 处，其中储量在 $yaav$ 万吨以上的大型矿床 B 处，如武义后树、杨家、永康花街等。由于矿藏量大、品位高，萤石采矿业和氟化学工业已成为该地区重要的支柱产业。经过 Δv 余年开发利用后，大量的氟进入水体和土壤，污染了环境，影响了人体健康。本文通过取样分析、流行病学调查，结合基础资料，对金华地区氟污染成因、现状及对策作了探讨，供有关部门决策参考。

材料与方 法

xx 样品采集

xuxu 水样

采集调查点浅层地下水、河水。采样时,河宽 $A \sim 200$ 的河流,取左、中、右三点;河宽在 $xB \sim 200$ 的河流,取左、右二点;小于 xB 的河流,取河中间一点。各水样均取自水面以下 200 处。

 $xuxy$ 植物样

桔子叶采自一人高左右、自最新枝向下第二枝节处,采样时,若在坡地,采用对角线采样法,若在平地则采用梅花形采样法;多年生草本植物车前草采取污染河流或其它水体附近。各植物样均擦干净后放在鼓风干燥箱中($Aw-70^{\circ}\text{C}$)烘干,粉碎待测。

x y 分析方法

样品分析均采用氟离子选择电极法。

xuz 氟斑牙调查

以自然村为点,随机抽样调查 xyw 人,按相同性别比例,分年龄段,目测检查。

y 氟地球化学环境特征

地质概况

*浙江省教委重点资助项目;胡忠行,张明卓等同志参加了取样分析工作;各县市的环保局、防疫站等单位提供了基础资料,在此深表感谢。

收稿日期 $xZZ\Delta - w\Delta - wE$

图 x 金华地区地质与萤石矿床分布图

金华地区位于江山—绍兴深断裂、东南至丽水—余姚深断裂之间的余姚—云和萤石成矿带的中段。出露地层有中生代侏罗世上统(Ψ_s) 大爽组、高坞组、西头山组、九里坪组,以及下白垩统(Ω_x 、 Ω_y) 馆头组、朝川组、方岩组,在金华市附近出露的有上白垩统(Ω_y) 金华组,在武义茆道东北侧出露有前震旦系陈蔡群($\Xi_2\eta\pi\varphi$) 变质岩系。区内断裂构造发育,主要是北东向及北西向,是该区控矿、控岩和容矿构造(图 x)。

1.2.1 各环境介质中的氟丰度

1.2.1.1 各地层岩石的氟丰度

研究表明:全区平均岩石氟含量为 $w_{\text{氟}}\Gamma\%$,各地层分布不均,如武义一带上侏罗统地层平均含量为 $w_{\text{氟}}\text{BE}\%$,馆头组 $w_{\text{氟}}\text{EZ}\%$,朝川组为 $w_{\text{氟}}\Delta v\%$,方岩组为 $w_{\text{氟}}\text{B}\Delta\%$ (表 x)。

矿区附近氟含量明显增加。以武义杨家

图 y 金华地区氟地球化学图

一大陈坑矿为例,上侏罗统分布较广的流纹质玻屑强熔结凝灰岩含氟量为 $w_{\text{氟}}\Delta\Gamma - z_{\text{氟}}\Delta v\omega\omega$,萤石硅化带、次生石英岩化等矿化蚀变较强段含氟量可达 $z_{\text{氟}}\omega v\omega\omega$ 以上。

1.2.1.2 水系沉积物氟丰度

对 $x:y\tau\omega$ 万水系沉积物地球化学测量结果综合分析可知:区内河流沉积物氟含量在 $w_{\text{氟}}\Delta - y_{\text{氟}}v\omega\omega$ 之间,下白垩统地层分布区为 $x_{\text{氟}}\text{BB}v\omega\omega$;第四系分布为 $w_{\text{氟}}\text{AZ}v\omega\omega$ 。从经滑动平均后成图的氟地球化学图可见,本区水系沉积物氟丰度多在 $w_{\text{氟}}\text{E}v\omega\omega$,其高值区主要分布在茆道—武义一线两侧;而在金华、茆道—武义一带、永康—雪峰村一带及其以东地区是氟偏高地区。其高氟区分析与萤石矿带分布相吻合,均呈北东向条带状展布(图 y)。

1.2.1.3 水体氟丰度

$y_{\text{氟}}v\omega\omega$ 地表水中的氟含量 一般情况下,

表x 岩层氟丰度值 $v\omega p$									
项 目	上侏罗统白垩系						馆头组	朝川组	方岩组
	磨石山组 $\Psi_1 p$								
	Ψ_1^x	Ψ_1^y	Ψ_1^z	Ψ_1^A	Ψ_1^B	合计	Ω_v	Ω_{II}	Ω_{τ}
样品数	yZx	$xZ\Delta$	xzA	Az	ΔB	Δkv	Z	BZ	$y\Gamma$
变化区间	$w_{\text{氟}}E$	$w_{\text{氟}}E$	$w_{\text{氟}}z$	$w_{\text{氟}}B$	$w_{\text{氟}}B$	$w_{\text{氟}}B$	$w_{\text{氟}}BA$	$w_{\text{氟}}yZ$	$w_{\text{氟}}ex$
	$y_{\text{氟}}TE$	$A_{\text{氟}}\Gamma w$	$y_{\text{氟}}\Delta$	$w_{\text{氟}}EZ$	$A_{\text{氟}}kv$	$A_{\text{氟}}\Gamma w$	$x_{\text{氟}}z$	$x_{\text{氟}}AZ$	$w_{\text{氟}}EZ$
氟丰度	$w_{\text{氟}}BE$	$w_{\text{氟}}\Delta x$	$w_{\text{氟}}By$	$w_{\text{氟}}Z$	$w_{\text{氟}}\Delta\Gamma$	$w_{\text{氟}}BE$	$w_{\text{氟}}EZ$	$w_{\text{氟}}\Delta v$	$w_{\text{氟}}B\Delta$

表 y 武义若干地表水氟含量 $\rho_1 \nu / \partial \rho$

类别	采样数	含氟区间	平均氟含量	水化学类型
水库	yZ	$wuwx-wuyA$	$wuwx\Delta\Gamma$	$\Phi\Pi\phi_z-IE\xi$
河流	zB	$w-wuEB$	$wuy\Delta A$	$\Phi\Pi\phi_z-IE\xi$

地表水含氟浓度较低，但该区在高氟地球化学背景下，局部水体氟含量较高，尤其是在矿区附近，因萤石矿的开采，经水的淋溶作用使部分固态氟转变为游离氟，从而增加氟的浓度(表 y)。

$yuy\kappa uy$ 第四系孔隙潜水中的氟含量

赋存在河漫滩和第四系松散层中的孔隙潜水，因其上部为粘土、亚粘土，下部为砂砾层，过滤性能较好，因此是居民的主要饮用水源。取样分析后可知 H 含氟区间为 $Hw-wuZB_1 \nu v \partial$ ，平均含氟量为 $wuy\Delta\Delta_1 \nu v \partial$ 。

$y\kappa$ 影响地表水体氟丰度的因子

水体中氟浓度除受人类活动影响外，还和其特定的地理环境密切相关，如气候、水化学环境、地表物质、地貌等。

$y\kappa w$ 气候因素

降水量和蒸发强度是影响地下水氟含量的主要气候条件，它们对氟的聚集和迁移起重要作用。由于该地区属亚热带季风气候，降水年内变化较大，河流枯、丰、平水期明显，氟浓度变化较大。如设置在武义熟溪的五个观察点的观测结果表明，流速为 $wuwx\Delta_1 \nu \tau$ 的枯水期河水，平均含氟量为 $wuB\Gamma_1 \nu v \partial$ ，而流速为 $z_1 \nu \tau$ 的丰水期河水，则平均含氟量为 $wu\kappa w \nu v \partial$ 。

$y\kappa uy$ 土壤和水介质的 Φ 值

对 xAB 只经 Φ 值测试的水样进行含氟测定并加以统计分析可见 $H_1 \Phi$ 值 $\Gamma-\Gamma uZ$ 之间的 AZ 只样品，平均仿氟量为 $wuB_1 \nu v \partial$ ； Φ 值在 $\Delta-\Delta uZ$ 之间的 EB 只样品，平均含氟量为 $wuB_1 \nu v \partial$ ； Φ 值在 E 以上的 Z 只样品，平均含氟量为 $y\kappa B_1 \nu v \partial$ 。表明水介质向碱性发展时，水体氟含量增加。这是因为萤石溶解度与水介质 Φ 值密切相关：强酸性

图 z 塔山低温热水含氟量变化地质剖面图

条件下，萤石溶解度较大；当 Φ 为 $A-B$ 时，溶液中的 T^- 与 IE^{y+} 结合成 IE^yT_y ，溶解度降低；当 Φ 增至 E 以上时，溶解度又开始上升($\epsilon_{3000}^{0.0} s \sigma^8 \xi^0 uxZEu$)。

地表水的 Φ 值主要取决于地表土壤的 Φ 值。在碱性土壤中，原来以氟化钙或氟磷灰石等形式存在的较为稳定的氟化物，此时释放出自由态的氟 $IE^oT_y + \phi \Phi^- \rightarrow IE^o\phi \Phi\rho_y + T^-$ ，从而形成富氟环境。由于地表水的水浸作用，导致 Φ 值向碱性发展，水体含氟量上升。在中性或偏酸性土壤中，水体中的氟即被土壤粘土和铁铝胶体所吸附，部分生成 IE^yT_y 沉淀，水体含氟量减少。由于金华地区以酸性红壤为主，限制了地表高氟环境的形成和发展。

$y\kappa \kappa$ 温度和水化学性质

大多数萤石矿床属岩浆期后中低温热液填充矿床，含氟地下热液上升至地表对高氟环境化学特征形成极为重要。研究表明，地下含氟热液上升过程中，由于温度下降、压力递减及溶液中各种离子强度的变化，含氟热液不断析出萤石，从而使热液上升过程中逐步降低其含氟量。如图 z 所示，该温泉在上升过程中氟浓度逐渐降低。当钻孔在负标高 AE_1 时，水温 zAC ，含氟 $AuA_1 \nu v \partial \Theta$ 当热水上升到标高近 xaw 时，水温下降至 xEC ，含氟量仅为 $xuy_1 \nu v \partial$ 。当向水平方向移动 ku

走向的山地，山上的萤石矿构造水流入杨梅峡并富集，水氟含量明显增加。

氟污染因素

人为污染能导致局部地区地表水和浅层地下水氟含量升高。随着国民经济建设高速发展，工业“三废”排放量日益增加，导致局部地区浅层地下水氟含量逐渐升高。如武义东风萤石公司浮选厂排出的大量污水汇入小白溪，由于浮选过程中加入的 H_2SO_4 、 H_2O_2 、油酸、烤胶等药剂的反应，污水中的离子难以沉淀，使溪水氟含量保持在 1.0 mg/L 以上，扩大了氟污染区域。矿山开采后大量任意堆放的含氟废矿，遇到酸性、碱性较强的水介质时，便析出离子态的氟化物，使水体氟含量增加。此外，虽然有些工业本身并不含氟，但排放的废水呈强酸或强碱、或在工艺流程中使用酸或碱，也使地表废矿大量析出游离氟离子，导致周围水体氟含量增加。如武义汽车保养场充电污水， pH 值为 1.5 ，含氟 1.0 mg/L ；制镜厂污水， pH 值为 1.2 ，含氟 1.0 mg/L ；剪刀厂电镀污水， pH 值 1.0 ，含氟 1.0 mg/L ；卫生用品厂漂白污水， pH 值 1.0 ，含氟 1.0 mg/L 。这些工厂排放的废水都使周围水体氟浓度上升。

作者简介

许晓路：男，1982年出生，2004年毕业于浙江农业大学环境系取得硕士学位后在浙江师大任教，2006年破格晋升为副教授，主要从事环境地学、环境污染及其防治等领域研究，参与或主持了国家自然科学基金、省教委、省科委等多项课题研究，迄今已公开发表学术论文近40篇。

图A 浙江省主要温泉水化学、水温变化中的氟含量

后，氟含量进一步降至 0.5 mg/L 。

对该区及浙江省其它地区的若干温泉水化学类型与含氟量统计对比后可知：随水温下降，水化学类型从重碳酸钠型向重碳酸钙型转变（ $\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{CaHCO}_3$ ），此时，水体氟含量剧减（图A）。实验室研究结果也证实了这一变化规律。如理查森实验发现 HCO_3^- 离子浓度为 1.0 mmol/L 的 NaHCO_3 溶液，当温度从 60°C 降至 10°C 时， HCO_3^- 离子浓度上升， CO_2 离子浓度下降，萤石析出量迅速增加，溶液中氟的含量相应减少。由于金华地区地表水以重碳酸钙为主，而温度又属常温条件，使深部含氟热液在上升过程中析出大量 CaF_2 ，限制了该地区高氟环境扩散。

地貌因素

地貌条件决定地表水和地下水的流向、流速，影响氟的迁移和聚集。氟元素在迁移过程中，通常顺应地势向低处迁移，而富集于地势低洼地。如浦江杨梅峡，两侧是东西

HCO_3^- 离子浓度为 1.0 mmol/L 的 NaHCO_3 溶液，当温度从 60°C 降至 10°C 时， HCO_3^- 离子浓度上升， CO_2 离子浓度下降，萤石析出量迅速增加，溶液中氟的含量相应减少。由于金华地区地表水以重碳酸钙为主，而温度又属常温条件，使深部含氟热液在上升过程中析出大量 CaF_2 ，限制了该地区高氟环境扩散。

地貌条件决定地表水和地下水的流向、流速，影响氟的迁移和聚集。氟元素在迁移过程中，通常顺应地势向低处迁移，而富集于地势低洼地。如浦江杨梅峡，两侧是东西走向的山地，山上的萤石矿构造水流入杨梅峡并富集，水氟含量明显增加。

氟污染因素

人为污染能导致局部地区地表水和浅层地下水氟含量升高。随着国民经济建设高速发展，工业“三废”排放量日益增加，导致局部地区浅层地下水氟含量逐渐升高。如武义东风萤石公司浮选厂排出的大量污水汇入小白溪，由于浮选过程中加入的 H_2SO_4 、 H_2O_2 、油酸、烤胶等药剂的反应，污水中的离子难以沉淀，使溪水氟含量保持在 1.0 mg/L 以上，扩大了氟污染区域。矿山开采后大量任意堆放的含氟废矿，遇到酸性、碱性较强的水介质时，便析出离子态的氟化物，使水体氟含量增加。此外，虽然有些工业本身并不含氟，但排放的废水呈强酸或强碱、或在工艺流程中使用酸或碱，也使地表废矿大量析出游离氟离子，导致周围水体氟含量增加。如武义汽车保养场充电污水， pH 值为 1.5 ，含氟 1.0 mg/L ；制镜厂污水， pH 值为 1.2 ，含氟 1.0 mg/L ；剪刀厂电镀污水， pH 值 1.0 ，含氟 1.0 mg/L ；卫生用品厂漂白污水， pH 值 1.0 ，含氟 1.0 mg/L 。这些工厂排放的废水都使周围水体氟浓度上升。

作者简介

许晓路：男，1982年出生，2004年毕业于浙江农业大学环境系取得硕士学位后在浙江师大任教，2006年破格晋升为副教授，主要从事环境地学、环境污染及其防治等领域研究，参与或主持了国家自然科学基金、省教委、省科委等多项课题研究，迄今已公开发表学术论文近40篇。