

0119100704

CNIC-00372

IAAE-CN-0026

中国核科技报告

¹²⁵I 对农产品的污染

THE CONTAMINATION ON
FARM PRODUCTS FROM ¹²⁵I

(In Chinese)



原子能出版社

北京·1990.2

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00372

IAAE-CN-0026

¹²⁵I对农产品的污染

赵文虎 徐世明 侯兰欣

(中国农业科学院原子能利用研究所, 北京)

摘 要

研究了¹²⁵I对瓜、果等15种农产品污染的特点及¹²⁵I对处于生长阶段的菜豆、茄子、小麦等12种农作物污染后, 对其所结果实、种子污染的可能性。结果表明, 放射性在瓜果上的分布主要集中在表层, 且由表层向内部迅速降低, 幼苗期受到污染的蔬菜几乎不会造成果实的污染。

关键词 ¹²⁵I 污染 农产品 果实

THE CONTAMINATION ON FARM PRODUCTS FROM ^{125}I

Zhao Wenhui Xu Shiming Hou Lanxin

(Institute for Application of Atomic Energy, CAAS, Beijing)

ABSTRACT

The ^{125}I contamination on 15 farm products have been investigated. The effects of 12 farm crops(wheat, bean, eggplants and other vegetables)contaminated by ^{125}I during the growing stage on their fruits and seeds have been studied. The results show that the ^{125}I radioactive substance is mainly concentrated on the fruit surface, and the radioactivity rapidly decreased towards its kernel. The fruits and seeds would not be contaminated when plants were contaminated in the seedling stage.

前 言

核电站正常运行时，是安全的，但核电站存在着发生事故甚至严重事故的可能性^[1]，一旦发生事故将有大量的¹³¹I排入大气^[2]中，对田间生长作物，暴露放置的农产品等造成污染，本文试图在人工控制条件下，应用¹³¹I气体研究其对暴露放置的农产品，田间生长作物所结果实，种子的污染及消除措施，为在核事故情况下制定应急措施提供依据。

1 材料和方法

在密闭的塑料薄膜空间内，于三角瓶中加入2mCi Na¹³¹I，制得¹³¹I₂气体，具体反应如下式：



密闭空间内放置的农产品有：西瓜、冬瓜、西红柿、柿子椒、黄瓜、土豆、洋葱、大蒜、茄子、豆角、洋白菜、玉米果穗、香蕉、苹果、桃等15种农产品及12种农作物，农作物的生长状况列于表1。各种农产品及作物污染时间为1h，空间内温度为25℃，污染后取出农产品分成不同部分测其放射性；农作物取出后继续生长至结果并测其放射性，所使用的测量仪器为FT 613自动计算¹³¹I放免测量仪，测量误差小于10%。

表1 试验作物及生长状况

指标	洋葱	茄子	柿子椒	西红柿	小萝卜	莴苣	春麦	冬麦	豌豆	蔬菜	水稻	大豆
株高,cm	14	15	19	19	13	27	42	60	20	30	65	60
叶片数	3	6	11	11	5	13—25	5	6	7	10	6	—
生育阶段	苗期	苗期	营养生长	营养生长	前期	营养生长	孕穗	抽穗	开花	散粉	抽穗	结实

2 结果与讨论

2.1 ¹³¹I对暴露放置农产品的污染

2.1.1 ¹³¹I对农产品表面的污染

此次试验农产品在形状上大致可分为球形及圆柱形两大类，它们在污染时均自然放置于密闭空间内的地面上，图1是冬瓜(L=50cm, φ=17cm)表面污染状况示意图，图中有4条横的及一道环状数字，这4条横的代表冬瓜放置地面时的上、下、左、右4个方位，中间的环代表冬瓜中部的一圈，图中每个数字代表面积为3×3cm²、厚度为2mm表皮的污染量(cpm/3×3cm²)，数字表明，上部污染最重，平均为430.6cpm/3×3cm²，下面最轻，平均为42cpm/3×3cm²，上部比下部高10.3倍，两侧居中，平均分别为127.6cpm/3×3cm²和71.8cpm/3×3cm²，中间一圈的污染量上部最重，为490cpm/3×3cm²，由上往两侧逐渐降低，到了底部污染量仅为4cpm/3×3cm²，图2是西瓜(φ=25cm)表面污染示意图，这个图表示，将西瓜以其自然放置的位置，从前部分东、南、西、北四个方向，由上往下呈四条线连

续取若干方块（每块面积为 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ ，厚为 2 mm ）测放射性。图中四条线交会处为顶部，支端为底部。结果表明：顶部污染最严重达 $400 \text{ cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$ 以上。

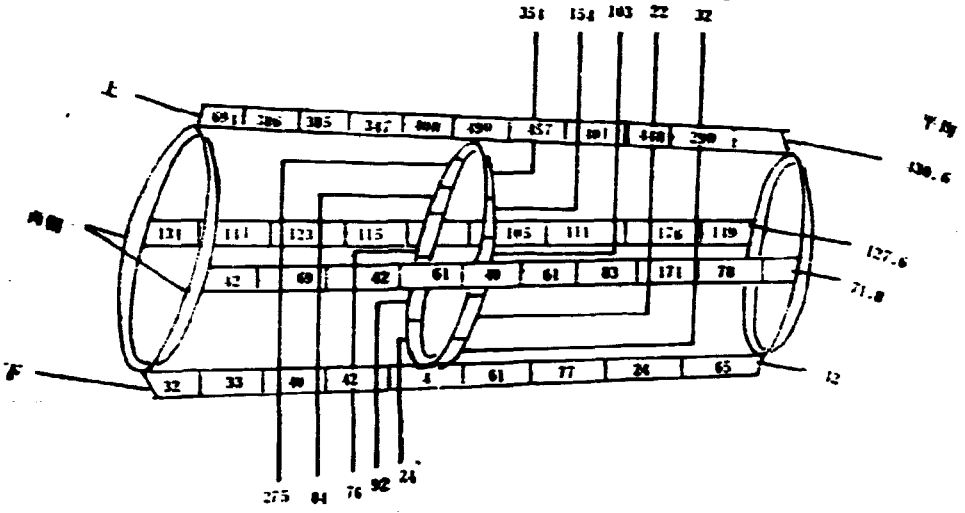


图1 西瓜表面污染情况示意图
污染量($\text{cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$)

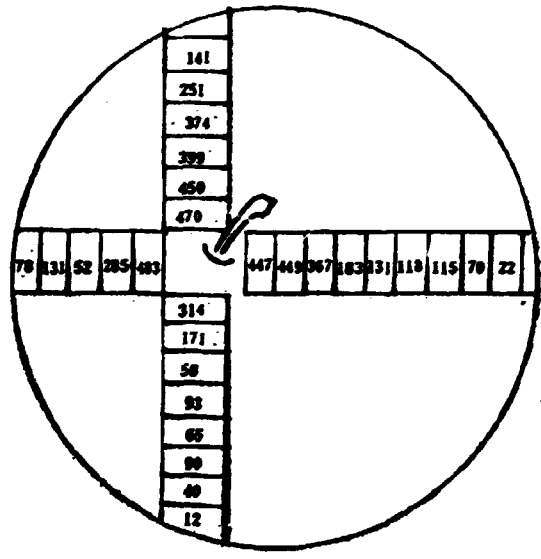


图2 西瓜表面污染状况示意图
污染量($\text{cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$)

污染量由顶部向底部逐渐下降，底部达最低值为 $12 \text{ cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$ 。

图3为茄子（ $\phi=12 \text{ cm}$ ）表面污染状况示意图，图中十字形交叉点为顶部，十字形支端为底部，数字表明：其污染规律与上述冬瓜、西瓜相同。豆角和柿子椒的污染，上表面分别为 $1592 \text{ cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$ ，和 $404 \text{ cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$ ；下表面分别为 $461 \text{ cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$ 和 $195 \text{ cpm} / 3 \times 3 \text{ cm}^2$ 。

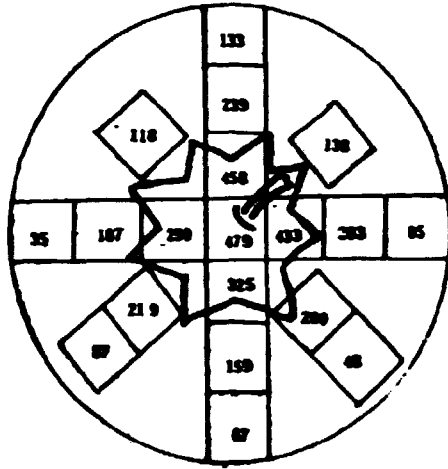


图3 茄子表面污染状况示意图
污染量($\text{cpm}/3 \times 3 \text{cm}^2$)

2.1.2 ^{131}I 在污染农产品表面垂直方向上的分布

图4是 ^{131}I 在苹果4个方向上由表面到核心部位的分布示意图,图中每层厚度为5mm,图5是 ^{131}I 在桃的5个方向上由表面到核心部位的分布示意图,图中每一小格代表一层,端点代表表层,交叉点代表核心部位,每层厚度为5mm。由图4、5的数字表明,这两种水果不同方向上 ^{131}I 的污染主要集中在表面,由表面往下到核心处迅速降至最低值,有的为零。表2为西瓜、冬瓜、土豆等5种农产品不同层次(每层厚5mm,第1层为表层)的污染状况,结果表明,污染也主要集中在表层,并由表层向下迅速降低,其中以表面下第一层下降幅度最大,其下降百分率都在70%以上,土豆为98.1%,冬瓜为86.6%。这说明,各种农产品表皮对 ^{131}I 的通透性不同。西瓜的测量结果表明:表面以下第10~20层均为本底。

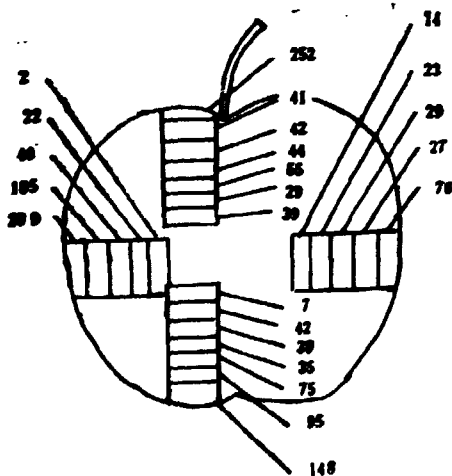


图4 苹果不同方向、不同层次污染示意图
污染量(cpm/g)

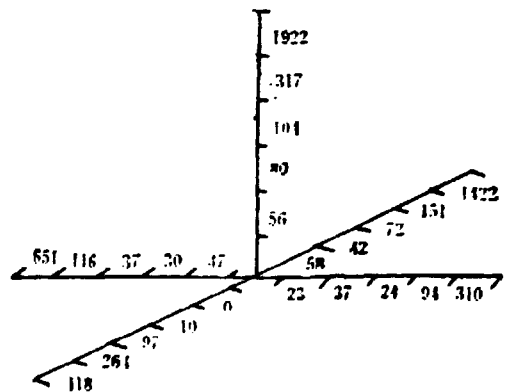


图5 桃不同方向、不同层次污染示意图
污染量(cpm/g)

表2 西瓜、冬瓜等5种农产品不同层次的污染状况

层次	放射性(cpm/g)									
	西瓜		冬瓜		土豆		杏子		西红柿	
	放射性	%	放射性	%	放射性	%	放射性	%	放射性	%
1	449	100	490	100	528	100	458	100	9022	100
2	124	27.6	66	13.4	10	1.9	116	25.3	2289	25.4
3	60	13.4	106	21.6	13	2.5	21	4.6	1316	14.6
4	77	17.1	45	9.1	39	5.7	54	11.8	364	4
5	26	5.7	6	1.2	14	2.7	42	9.2		
6	28	6.2	33	6.7	28	5.3	24	5.2		
7	5	1.1	7	1.4	20	3.8	29	6.3		
8	11	2.4	13	2.7	8	1.5				
9	10	2.2	23	4.7	0					
10	0	0	2	0.4						
11~20	0	0								

本试验曾对¹³⁷I在冬瓜表皮上的垂直分布做了进一步的分析,在45cm²污染冬瓜表皮上,将上面白霜及极薄的绿色表皮刮下(厚约1mm),然后用干纱布(面积4×4cm²)擦净刮后的表皮,最后再切下1mm厚的冬瓜,分别测其放射性,结果表明:刮下的0~1mm带有白霜的绿色表皮所含放射性活度占0~2mm内的74.2%(详见表3)。黄瓜也同样,在一段

表3 ¹³⁷I在污染冬瓜表面上分配

措施	污染量	
	cpm/g	百分率
总放射性	1837	100
带霜表皮	1363	74.2
干纱布擦净	86	4.7
刮后表皮	388	21.1

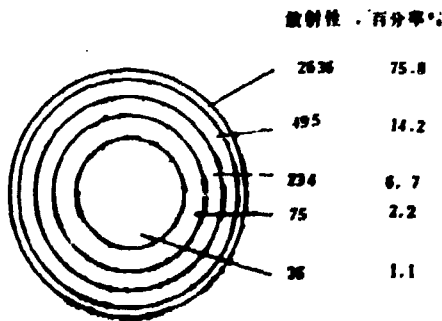


图6 黄瓜不同层次污染示意图
放射性(cpm/g)

$L=4\text{cm}$ 、 $\phi=3\text{cm}$ 的污染黄瓜上，表皮 $0\sim 1\text{mm}$ 绿色表皮的污染量占该部分以下全部污染量的75.8%（详见图6）。

2.1.3 洋葱、大蒜等农产品的外皮可减轻内部的污染

表4为洋葱、大蒜各层外皮污染状况，数据表明：外部各层对内部起了良好的防护作用，如洋葱，表层污染量为3954cpm/g，第二层即降为398cpm/g，减少近90%，到第三层已降为0。大蒜也同样，表皮污染量为748cpm/g，第二层即减少近80%，由于5层外皮的保护，使得其中的可食部分几乎没有受到污染。

表4 洋葱、大蒜不同层次污染状况

层次	洋 葱		大 蒜	
	放射性	%	放射性	%
1	3954	100	748	100
2	398	10.1	143	19.1
3	0	0	61	8.1
4	7	0.17	45	6.0
5	12	0.3	20	2.6

图7为玉米果穗污染状况，数据表明：苞叶起到了很好的防护作用，如最外层污染量为648cpm/g，第二层降为113cpm/g，减少了82.6%，到第四层已减少了98.4%，内部的籽

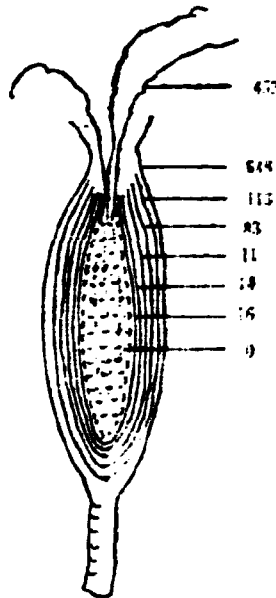


图7 玉米果穗污染状况
污染量 (cpm/g)

粒由于6层苞叶的包裹没有受到污染。图8为第1、2、3层苞叶污染的细微分布状况，它表明

污染是不均匀的，(图中每一方块的面积为 $3 \times 3 \text{cm}^2$)，如第1片苞叶的最高污染量为 1616cpm/g ，最低为 273cpm/g ，相差5.9倍；第3苞叶最高污染量为 1018cpm/g ，最低为0，这是由于放置位置不同及是否外露等因素造成的。洋白菜的外层叶对内部也起到了防护作用。本次试验所用洋白菜共有23片叶，其中仅第1片叶至第5片叶有不同程度的污染，第6片叶以后即为本底水平(详见表5)。

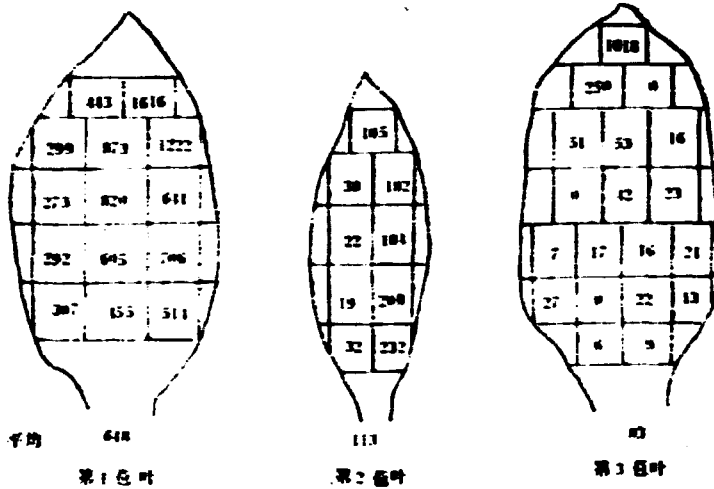


图8 洋白菜第1、2、3片苞叶污染的细微分布
污染量(cpm/g)

表5 洋白菜不同叶片的污染量

叶片	第1叶	2	3	4	5	6
污染量	341	182	36	15	16	3

^{137}Cs 污染在洋白菜叶片上的细微分布也是不均匀的(详见图9)，图中每方块的面积为 $3 \times 3 \text{cm}^2$ 。

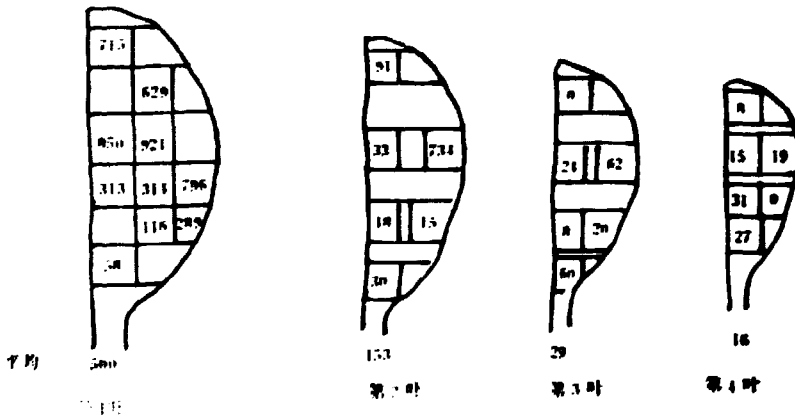


图9 洋白菜第1~4片叶污染的细微分布(只取半片叶)
污染量(cpm/g)

2.1.4 污染农产品的去污

试验表明：用干纱布（面积为 $4 \times 4 \text{cm}^2$ ）擦拭污染西红柿、桃、柿子椒、冬瓜的表皮，去污率可达42.2%以上，其中桃的去污率最高，可达67.3%，其它详见表6。在同一块

表6 干布擦拭对西红柿、桃等去污效果

处 理	污 染 量 ($\text{cpm}/3 \times 3 \text{cm}^2$)							
	西 红 柿		桃		柿 子 椒		冬 瓜	
	污 染 量	百 分 率	污 染 量	百 分 率	污 染 量	百 分 率	污 染 量	百 分 率
擦拭前表皮	2586	100	1606	100	688	100	550	100
干布擦拭	1436	55.5	1001	67.3	290	42.2	310	56.4
擦拭后表皮	1150	44.5	525	32.7	308	57.8	200	43.6

污染的西瓜和苹果的表皮上（ $3 \times 3 \text{cm}^2$ ），用3块干纱布（面积： $4 \times 4 \text{cm}^2$ ）分三次擦，第一次去污率最高，西瓜为49%、苹果为51.7%，以后去污率随着擦拭次数增加而降低（详见表7）。表8列出了用干纱布（面积 $4 \times 4 \text{cm}^2$ ）及分别配水，1%的KI，NaOH， Na_2CO_3 擦拭

表7 不同擦拭次数对西瓜、苹果的去污效果

处 理	放 射 性 ($\text{cpm}/3 \times 3 \text{cm}^2$)			
	西 瓜		苹 果	
	放 射 性	百 分 率	放 射 性	百 分 率
擦拭前表皮	860	100	1006	100
第一次擦拭	422	49	561	51.7
第二次擦拭	95	11	95	9.7
第三次擦拭	80	9	58	5.3
擦拭后表皮	263	31	372	34.3

污染西红柿表皮（面积： $3 \times 3 \text{cm}^2$ ）的去污效果，结果表明：配1%的 Na_2CO_3 溶液擦拭，去污率最高可达77.5%，其次为配1%的NaOH溶液擦拭，去污率为63.3%，其它详见表8。

表8 不同清洁剂对西红柿的去污率

去污率	放 射 性 ($\text{cpm}/3 \times 3 \text{cm}^2$)				
	干 纱 布 擦	湿 纱 布 擦	配KI擦	配NaOH擦	配 Na_2CO_3 擦
擦拭前表皮	864	1126	1156	2616	2179
擦拭后表皮	646	621	815	960	480
去污率%	25.2	44.8	29.5	63.3	77.5

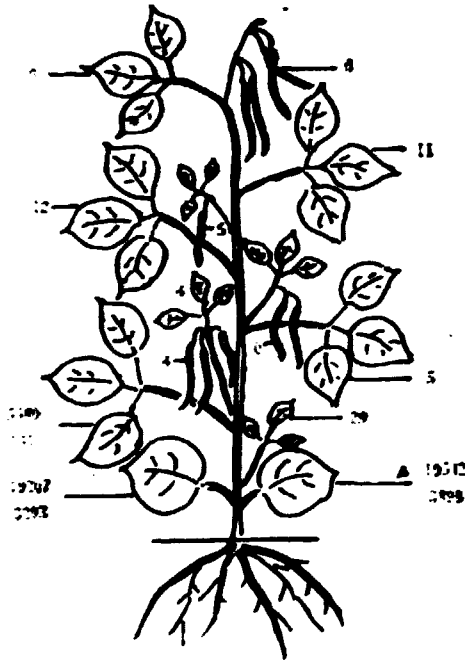
2.2 ^{131}I 对粮食作物、蔬菜所结果实和种子的污染

本次试验所用的作物包括粮食作物、蔬菜两大类共12种，它们的生长状况详见表1，各叶片的污染状况详见表9。本试验着重观察了各种作物污染后对结所结果实和种子的污染状况，图10为菜豆污染后35天收获时各部分的污染状况，该株在污染时高14cm，3片叶，此时有7片

表9 各种作物各叶片污染状况

放射量 (cpm/g)

叶位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
蚕豆	26870	47424	22341											
茄子	16846													
柿子椒	5845	8185	8806	7280	8344	7240	8272	9888	11190	7422				
西红柿	6750	15333	22681	35789	27176	35722	27727	31000						
小萝卜	3810	5087	2774	3141	4866									
蒜花	17345	13532	15645	13777	10897	17848	11445	12500	17623	11034	15007	13978	14192	10628
荞麦	14625	12325	11222	8313	7363	1250								
冬瓜	5333	6000	4600	4666	3825									
豌豆	6422	15829	17527	19094	23530	24341	5201							
菠菜	18682													
水稻	36000	11000	9000	7000	5000									
大豆	46000	27000	21000	24301	8005	10050	11010	17025						

图10 蚕豆不同部位污染时间
污染量 (cpm/g)

叶，高55cm并已结豆角，图中由下往上第1、2、3片叶旁有2个数字，上边的数字代表污染后2天测，下边的为35天后收获时测，第4~7片叶的数字为收获时测，数据表明，受到直接污染的第1、2、3片叶经过35天后依然有污染，但减少了80%以上，新生的第4~7片叶的放射性

为本底水平，所结豆荚也为本底水平，只是在第1片处生长的腋叶有轻微的污染，污染量为 29cpm/g 。图11为茄子污染后35天进行收获所得到的放射性测量结果，污染时为6片叶，其

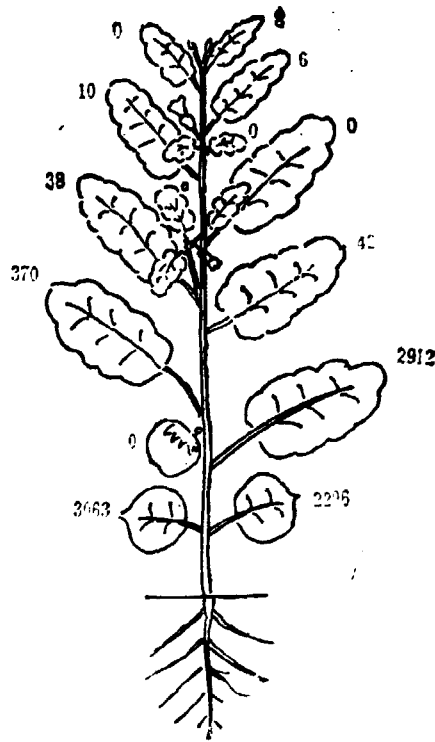


图11 茄子不同部位污染状况
污染量 (cpm/g)

中第1、2、3片叶已完全张开，第4、5、6片叶为卷曲细小的心叶，污染后2天测叶片的污染水平为 16846cpm/g ，35天后1~6片叶依然有不同程度的污染，新生的第7~11片叶为本底水平，所结果实未测出放射性。西红柿污染时有9片叶，污染水平为 $6750\sim 32789\text{cpm/g}$ ，35天后收获，1~9片叶依然有污染，但污染水平下降了80%以上，新生的第10~15片叶未测出放射性，所结果实也未测出放射性。柚子椒在污染时有9片叶，污染水平为 $5045\sim 11190\text{cpm/g}$ ，35天后收获，原污染叶片依然有污染，污染量为 $478\sim 3972\text{cpm/g}$ ，新生的叶片及果实未测出放射性。冬麦在污染时正值抽穗期，主茎具5片叶，各叶片污染水平为 $3825\sim 5333\text{cpm/g}$ ，第1、2分蘖叶片也受到污染，污染时主茎的穗全部抽出，第一分蘖的穗全部抽出，第二分蘖的穗未抽出，污染后35天收获，主茎、分蘖的叶片仍有污染，但穗部的污染不一样，主茎的颖壳有明显污染，污染量为 450cpm/g ，籽粒有轻微污染，污染量为 24cpm/g ，第1分蘖的颖壳有轻微污染，籽粒无污染，第2分蘖的颖壳、籽粒均无污染。春麦在污染时正值孕穗期，35天后收获，叶片依然有污染，颖壳、籽粒均无污染（详见表10）。由上述冬麦、春麦收获时穗部污染状况可以看出，收获时穗部是否有污染与污染时穗子是否抽出有关，污染时穗子抽出的将受到污染，未抽出的无污染。大豆污染时为开花期，当时叶片污染水平为 $8005\sim 46000\text{cpm/g}$ ，50天后收获，豆荚从无污染至严重污染（详见图12），豆荚的

表10 冬麦、春麦收获时污染状况

污染量(cpm/g)

叶 位	冬 麦			春 麦
	主 茎	第一分蘖	第二分蘖	主茎
第1叶	3897	2272	1555	—
2	3906	2300	920	1516
3	3758	918	23	1000
4	3066			513
5	2762			0
麦 壳	450	16	0	0
籽 粒	24	0	0	0

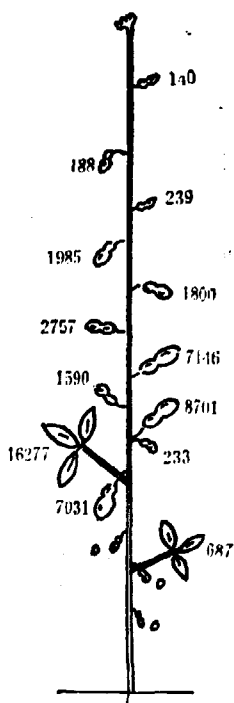


图12 大豆收获时豆荚污染状况
污染量 (cpm/g)

污染量与其大小关系密切，如图12中污染最严重的两个豆荚（污染量分别为7146cpm/g和8701cpm/g）长约4cm、宽约1.5cm，其它污染较轻的长约2.5cm宽1cm，下部无污染的 都是收获前不久形成的幼嫩豆荚，这说明：豆荚形成时期与污染时期相距越远，污染的可能性 越小。碗豆在污染时正值开花期，各叶片污染水平为5201~23530cpm/g，35天后收获，叶 片污染量为7062cpm/g，豆荚有明显污染，污染量为503cpm/g，籽粒有轻微污染，污染

量为63cpm/g。菠菜在污染时正值开花散粉期，叶面污染水平为13022~22975cpm/g，25天后收获，种子有明显污染，污染量为311cpm/g。水稻在污染时个别植株开始抽穗，叶片污染水平为5000~140000cpm/g，50天后收获，在稻谷里测到轻微污染，污染量为166cpm/g。综上所述可以看出：最后对收获的果实、种子能否造成污染，与污染时植株的生育阶段关系密切，若在污染时处于营养生长阶段，则最后对果实或种子不会造成污染；若处于生殖生长阶段，则对果实或种子会造成污染。当然这些放射性是直接污染，还是由内部转移进去的，还需进一步研究。对于分蘖能力强的作物如水稻、小麦及无限花序作物如大豆等，在污染期过后继续开花所结的果实或种子，污染较小或无污染。开花期距污染期越远污染越小直至不受到污染。

莴苣是食用膨大的地上茎的蔬菜，本次试验的莴苣在污染时高27cm，15片叶，地上茎刚开始膨大，直径约1.5cm，叶片污染水平为1544~17848cpm/g，35天后收获，此时株高67cm，30片叶，莴苣最粗处直径4cm，收获后测各叶片放射性，并将食用部分切成2cm长的若干段，在每段横截面上削2mm厚的若干层，分别测其放射性，由图13可以看出，收获时原污

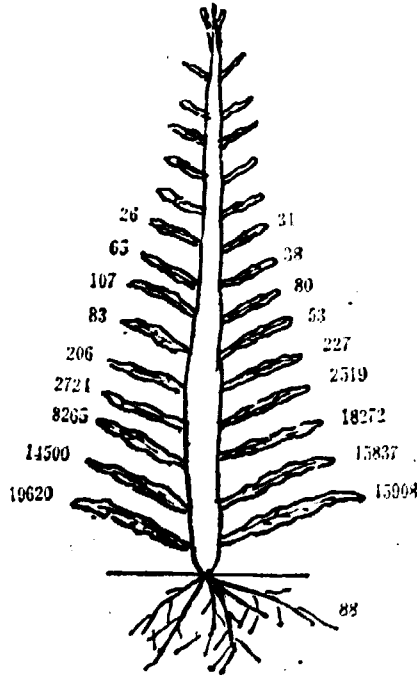


图13 莴苣收获时叶片污染状况
污染量 (cpm/g)

染叶片(1~15片叶)，依然有程度不同的污染，污染量为65~19620cpm/g，新生的16~30片叶大部分未测出放射性，仅16~18片叶有轻度的污染，污染量为26~38cpm/g。食用部分由根部往上共9段(每段长2cm)有轻度污染，污染量为32~90cpm/g，比叶片低2~3个数量级，18cm以上未测出放射性(详见图14)，图14表明，在0~18cm有污染的这一段，放射性主要分布在表面4mm以内，这部分的放射性占该段总放射性的64.4%。小萝卜是食用其

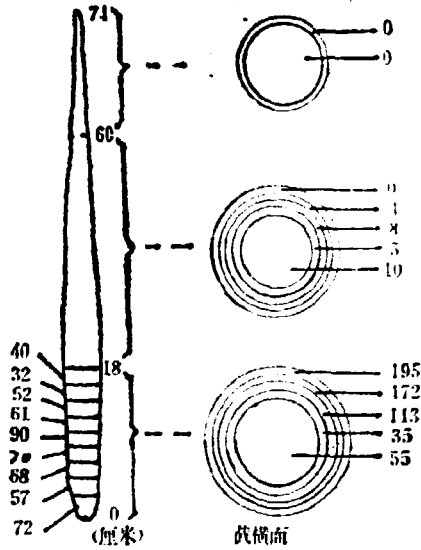


图14 苜蓿收获时可食部分污染状况
污染量 (cpm/g)

地下根的蔬菜，污染时有5片叶，根部刚开始膨大，其 ϕ 为1cm，L为3cm，叶片污染水平为2774~5087cpm/g，图15为收获后各部分放射性的分布状况，该图表明：原污染叶片此时仍有污染，污染水平为60~1059cpm/g，新生的叶片无污染。图15还列出了食用部分不同层次污染状况（每层厚2mm），结果表明：污染很轻微，污染水平为15~53cpm/g，比叶片最高污染量低2个数量级，而且呈均匀分布。但是在所测的萝卜中也有的的是上半部表皮有污染，下半部无污染，有的是表皮有污染，内部无污染，总的来说污染都很轻微，约比收获时叶片的污染量低1~3个数量级，一般污染水平在2位数以下。

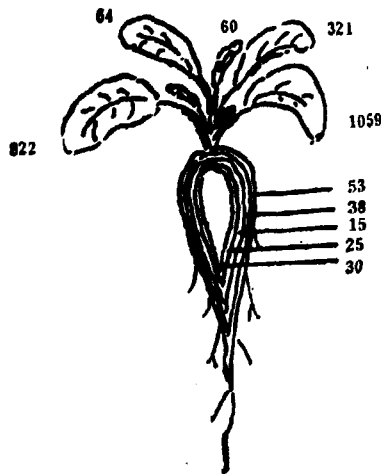


图15 小萝卜收获时叶片及食用部分放射性的分布
放射性 (cpm/g)

3 小 结

本试验研究了 ^{131}I 对瓜、果等15种农产品及12种农作物所结果实、种子的污染状况,这些作物包括粮食作物和蔬菜两大类,在生育期上包括营养生长和生殖生长两个时期,该试验可对评价核事故对农业的危害,以及如何采取应急措施方面提供一些有益的启示。

3.1 ^{131}I 污染对农业损失的估计

核事故产生的 ^{131}I 污染对农业损失的估计,是以对农产品及农作物所结果实、种子等可食部分,是否有污染及污染的严重程度来评价的,通过试验可以认为:

(1) ^{131}I 污染发生在不同季节,对农业所造成的损失不同,一般是:

秋季>夏季>春季>冬季

因为在秋季各种作物都进入了开花结果阶段,对人们的食用部分会造成直接污染,故损失最大,冬季大部分作物都已收获,所以损失最小。

(2) 对各种农作物的损失是:

蔬菜>粮食作物

对蔬菜的损失是:

叶菜类>果菜类>根菜类

(3) 在同一季节中处于生殖生长阶段作物的损失大于营养生长阶段的作物,因为试验表明:对于食用果实或种子的作物,在幼苗期受到污染,后期不会向种子或果实转移。

3.2 防护措施

(1) 已经可以收获的蔬菜、农作物、果树的果实在污染空气到达前应抢收、抢摘。

(2) 幼苗期受到污染的农作物、蔬菜(果菜类)可以继续留苗生长。

(3) 正在开花的果菜类如茄子、菜豆、西红柿等受到污染时,可将污染的花朵和果实及枝条尖端打去,促进新生枝条及花芽的形成。

(4) 幼苗期受到污染的莴苣,收获后将食用部分的下部切去15cm左右,其余部分削去外皮。

(5) 散放暴露的农产品,在污染空气到达前应尽快将其堆放,并用塑料布、苫布、树叶、柴草等盖上。

(6) 对于受到污染的农产品可用干布、湿布、1%的 NaOH 、 Na_2CO_3 溶液擦拭,或削去表皮,剥去外部包裹层、苞叶。

参 考 文 献

- [1] 施仲齐,方栋:云桂春,核电站的环境影响,水利电力出版社,1984。
- [2] 《环境放射性监测方法》编写组编,环境放射性监测方法,原子能出版社,1977。
- [3] 潘自强,放射性碘的污染和防护,原子能出版社,1979。

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

书号： 15175-00372

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre