

文章编号:1000-8551(2011)02-0326-06

## $^{137}\text{Cs}$ 在灌耕灰棕漠土腐殖质各组分的分布

艾克拜尔·伊拉洪<sup>1,2</sup> 贾宏涛<sup>1</sup> 吐尔逊·吐尔洪<sup>1</sup> A. I. Karpuhin<sup>2</sup> S. P. Torshin<sup>2</sup>

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 俄罗斯国立农业大学土壤、农业化学及生态学系,俄罗斯 莫斯科 127550)

**摘要:**研究了新疆灌耕灰棕漠土腐殖质组分及其性质,并利用凝胶过滤法室内研究了外源 $^{137}\text{Cs}$ 与土壤腐殖质各组分的结合性能。结果表明:在研究条件下, $^{137}\text{Cs}$ 与粘土矿物的结合率最高,占总量的78.37%;21.63%的 $^{137}\text{Cs}$ 积累于腐殖质中,其中与胡敏酸、富啡酸、胡敏素结合的分别为5.78%、6.60%和9.25%。腐植酸与 $^{137}\text{Cs}$ 结合形成分子量较小的4个复合体,即他们的质均分子量>700,392,168和<100。但胡敏酸与金属离子 $^{137}\text{Cs}$ 不仅结合成稳定的有机无机复合体,而且可以形成稳定性更高的腐殖质金属离子配合物。

**关键词:** $^{137}\text{Cs}$ ;灌耕灰棕漠土;腐殖质组分;质均分子量

### SIMULATION STUDY ON $^{137}\text{Cs}$ DISTRIBUTION IN THE EACH COMPONENT OF IRRIGATION-FARMED GRAY-BROWN DESERT SOIL HUMUS

AIKEBAIER·Yi-la-hong<sup>1,2</sup> JIA Hong-tao<sup>1</sup> TUERXUN·Tuer-hong<sup>1</sup> A. I. Karpuhin<sup>2</sup> S. P. Torshin<sup>2</sup>

(1. College of Prataculture and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052;

2. Russian State Agricultural University, Soil, Agricultural-Chemistry and Ecology Department, Moscow, Russia 27550)

**Abstract:** The components and characters of humus in irrigation-farmed gray-brown desert soil were studied and gel filtration method is used at indoor experiment to study the bond properties of the foreign source  $^{137}\text{Cs}$  and soil humus' components. Results show that the bonding rate of  $^{137}\text{Cs}$  was the highest in clay mineral, 78.37% of total. 21.63% of  $^{137}\text{Cs}$  was accumulated in the humus, the bonding rate of  $^{137}\text{Cs}$  with humic acid, fulvic acid, and humin were 5.78%, 6.60% and 9.25%, respectively. The humic acid and  $^{137}\text{Cs}$  formed four low weight complex moleculars, their average molecular weights are >700, 392, 168 and <100. But humic acid and  $^{137}\text{Cs}$  can not only be bonded into the stable organic-inorganic composite, but also into humus-metal ion complex with very high stability.

**Key words:**  $^{137}\text{Cs}$ ; irrigated-farmed gray-brown desert soil; humus component; mass-average molecular weight

$^{137}\text{Cs}$  为大气核试验和核反应堆排放的产物,是生物学上最危险的放射性核素之一,它的半衰期为30.17年,随干湿沉降到土壤后被强烈吸附于土壤粘粒和有机质上,随着土壤颗粒的物理迁移而在土壤剖面中再次分配。 $^{137}\text{Cs}$  作为 K 的营养类似物会被植物根部吸收,进而通过食物链进入人体内,人体内 $^{137}\text{Cs}$  过多积累则会产生畸形和癌变,具有很大危害性<sup>[1]</sup>。

腐殖质是已死的生物体在土壤中经微生物分解而形成的有机物质,在地球生态环境中分布最为广泛的天然高分子有机物,是具酸性、含氮、分子量很高的胶体状。腐植酸对金属离子具有的强烈结合能力使之成为环境中重金属离子接纳库和提供源,对于金属元素在环境中的迁移、转化和生物效应起着重要的调节作用<sup>[2]</sup>。所以土壤腐殖质-金属复合体是土壤理化性

收稿日期:2010-06-14 接受日期:2010-09-07

基金项目:国家自然科学基金(40861010),人事部留学回国人员择优项目(2005-129)

作者简介:艾克拜尔·伊拉洪(1963-),男,维吾尔族,新疆巩留人,双博士,副教授,研究方向为土壤化学及植物营养。E-mail:akbarilahun@sina.com

质的调节剂、缓冲物、植物的营养源、土壤污染的净化器和土壤肥力的基础。

土壤腐殖质金属离子复合体的形成及其生物有效性是目前土壤学、植物营养学和生态学等学科的主要研究领域之一<sup>[3,4]</sup>。土壤腐殖质是生态环境中固定重金属离子和放射性核元素的主要物质<sup>[5-8]</sup>。土壤腐殖质与放射性核元素<sup>137</sup>Cs在土壤-植物系统中的迁移和转化的研究报道表明,土壤腐殖质含量越高放射性核元素<sup>137</sup>Cs对植物的有效性就越低<sup>[9]</sup>,这说明土壤有机质是降低放射性核元素对植物有效性的主要物质之一。因此研究<sup>137</sup>Cs与土壤腐殖质之间的相互作用、性质、成分、土壤中的移动规律及其对植物的有效性和恢复土壤环境、食品安全等方面具有重要意义。本文以新疆南疆灌耕灰棕漠土为对象,研究了土壤腐殖质的分组(胡敏酸分成3组,富啡酸分成4组)及其性质,腐殖酸与放射性核元素<sup>137</sup>Cs复合体均分子量的分布规律。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

土壤样品采自新疆库车县伊西哈拉乡夏玛勒巴格村第三组棉花地里的灌耕灰棕漠土。

用标记好的氯化铯作外源<sup>137</sup>Cs源。凝胶过滤器及Серадексе G-10作为过滤介质,722型分光光度计,半微量定氮蒸馏器,Compugamma-1285(LKB,瑞典)伽马光谱仪。

### 1.2 研究方 法

1.2.1 土壤样品采集 2006年4月,在研究区选择几个1m<sup>2</sup>的代表性地块,在每个地块用土钻从0~25cm层取10个土样,混匀后,用四分法取2kg的混合土样,在实验室晾干磨碎过1mm筛后备用<sup>[10]</sup>。研究由俄罗斯国立农业大学土壤农业化学及生态学系土壤与核生物实验室和新疆农业大学草业与环境科学学院土壤与植物营养研究室合作进行。

1.2.2 腐殖质的分组 腐殖质的分组采用改良的B. B. Пономарёва И Т. А. Плотникова(1968)法进行:已处理好的土样首先用0.1mol/L的硫酸溶液进行脱钙,脱钙后用NaOH(pH 12.4)反复处理,直至提取液无色或接近无色,提取液中松结合态腐殖质(与钙和游离三氧化二物结合腐殖酸)的含量,用重铬酸钾-外加热法测定。残留的土样继续用同样方法用0.1mol/L的NaOH+0.1mol/L Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>混合液(pH≈13)重复处理,直至提取液接近无色,这部分提取物为稳结合态腐

殖质。最后残留的部分为紧结合态腐殖质,用0.02mol/L NaOH溶液在水浴锅里浸提6h后过夜,测定腐植酸与粘土矿物结合的紧结合态复合体(胡敏素与粘土矿物和稳定的三氧化二物结合的紧结合态复合体)。

1.2.3 胡敏酸的提取分离和纯化 土壤样品经风干后过1mm筛。参照文启孝方法,并结合邪光喜方法进行胡敏酸的提取分离纯化:即用0.1mol/L焦磷酸钠提取腐植酸,然后用0.1mol/L盐酸调pH=2.0,使胡敏酸沉淀分离,再用0.1mol/L焦磷酸钠调节pH=9.0,使沉淀溶解,再用盐酸沉淀,如此反复10次以上,直至上清液无色;然后用HCl-HF混合酸处理沉淀3次;再将沉淀用0.1mol/L焦磷酸钠溶解并调节pH=7.0,将溶液移入玻璃纸半透膜用蒸馏水透析,直至用AgNO<sub>3</sub>溶液检测不出Cl<sup>-</sup>离子。透析溶液经过强酸性苯乙烯阳离子交换树脂处理后,再用EDTA和717强酸性阴离子交换树脂处理,获得较纯的胡敏酸稀溶液。40℃减压浓缩或烘干,用玛瑙研钵磨细过0.19mm筛,密封存于干燥器中。

1.2.4 富啡酸(FA)的提取分离及纯化 上述胡敏酸提取过程中HCl沉淀胡敏酸的橙黄色上清液即为富啡酸粗提液。将富啡酸粗提液通过活化的活性炭层,用去离子水洗活性炭层数次,直至洗液呈微酸性。然后用0.1mol/L氢氧化钠溶液洗涤活性炭层至洗脱液近乎无色。洗脱出的物质即为富啡酸,将富啡酸的碱性溶液通过强酸性阳离子树脂后,40℃减压浓缩即得纯化的富啡酸。

1.2.5 <sup>137</sup>Cs在灌耕灰棕漠土腐殖质各组分中的分布研究 采用外源20000Bq的氯化铯按土壤最大持水量,将标记好的0.5g CsCl用蒸馏水溶解,浇灌在已准备好的土壤中,使其达到饱和状态。土样和氯化铯相互作用60d后,进行腐殖酸分组和各组分中的<sup>137</sup>Cs辐射强度测定。

各组分中<sup>137</sup>Cs辐射强度的计算方法:采用Серадексе G-10作为过滤介质,研究腐殖酸与<sup>137</sup>Cs复合体的质均分子量分布规律。质均分子量的分布根据凝胶过滤分散系数(K<sub>d</sub>)和分子量的大小来计算。凝胶过滤管主要参数列于表1。

分散系数的计算方法采用方格法  $K_d = f \lg MM$ 。

其中,  $V_i$ (洗脱液容积)以洗脱管中凝胶的干重量和凝胶本身的膨胀度来计算;  $V_p$ 为洗脱管中最小值和最大值的范围(在一定时间内从洗脱管里通过的洗脱液的最大和最小容积)见表1。

表 1 凝胶过滤管参数

Table 1 Parameters of gel filtration tube

(ml)

总容积 $V_t$ total capacity	凝胶容积 $V_g$ gel capacity	洗脱液容积 $V_i$ capacity of washed liquid	自由容积 $V_o$ free capacity	最大容积 $V_{\max}$ maximum capacity	最大最小值范围 $V_p$ interval of minimum and maximum value
25.8	6.9	13.8	5.0	18.8	5.0 - 18.8

1.2.6 腐殖质各组分测定 腐殖质各组分有机碳的测定采用丘林外加热法。胡敏酸(HA)与放射性核素 $^{137}\text{Cs}$ 复合体均分子量的分布规律用凝胶过滤法来测定<sup>[11,12]</sup>。利用分光光度计来鉴别各分子量分布范围,采用260 $\mu\text{m}$ 和450 $\mu\text{m}$ 波长处的光密度作为指标。根据测定结果,以顺序收集的洗脱液的光密度对洗脱液体积作图,绘出洗脱液曲线,曲线上洗脱峰的位置就是腐殖酸的分子量位置。 $^{137}\text{Cs}$ 放射活度用瑞典生

产的 Compugamma - 1285 (LKB, 瑞典)自动伽马光谱仪来测定。腐殖酸消光度用分光光度计测定<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 新疆灌耕灰棕漠土腐殖质组分的基本性质测定

新疆灌耕灰棕漠土的有机质碳总量、腐殖质组分等基本性质测定结果列于表2。

表 2 新疆灌耕灰棕漠土腐殖质的基本性质

Table 2 Basic properties of Xinjiang irrigation-farmed gray-brown desert soil humus

项目 item	含量 content
有机碳含量 organic carbon content (g/kg)	0.68
有机碳储量 organic carbon reserves(t/hm <sup>2</sup> 0~25cm)	37.44
腐殖质占有机质的比例 humus' proportion on organic matter(%)	68.00
腐殖质类型 type of humus HA/FA	0.68
游离 R <sub>3</sub> O <sub>2</sub> 结合的腐殖酸 humus combined with dissociate R <sub>3</sub> O <sub>2</sub> (%)	1.63
钙松结态腐殖酸 calcium slightly combined with humus(%)	19.61
钙紧结态腐殖酸 calcium tightly combined with humus(%)	1.80
胡敏素 humin (%)	42.81
腐殖酸吸光度 extinction ratio of humus 0.001% E <sub>495</sub>	0.04
C:N	8.18

从表2可以看出,新疆灌耕灰棕漠土有机碳含量很低,为0.68g/kg,0~25cm土层有机碳储量为37.44t/hm<sup>2</sup>。腐殖质占有机碳的含量只有68%,说明该土壤中腐殖质的积累没有分解快。腐植酸的类型是胡敏酸富啡酸型,说明新疆灰棕漠土中腐植酸的类型以富啡酸为主,即胡敏酸和富啡酸的比例为0.68小于1,这与土壤腐植酸中芳构化程度低、结构较简单有关。新疆灌耕灰棕漠土腐殖质有机碳含量、胡富比等性质都比相同的土壤低些<sup>[13]</sup>。

通过 В. В. Пономарёва и Т. А. Плотникова 的方法对腐殖质进行分组,结果列于表3和表4。用该方法根据腐殖质中的胡敏酸和富啡酸与钙、游离三氧化物、稳定的三氧化物或粘土矿物结合方式的不同,将胡敏酸分成3组,而富啡酸可分成4组,除此之外还有较高的胡敏素含量,主要以粘土矿物结合的无法分解的紧结合态复合体为主。胡敏素可以提高土壤环境

的缓冲性能而增强土壤对各种有机无机污染物的自净能力。从表3、表4可知,灌耕灰棕漠土中腐植酸复合体中胡敏酸与钙松结态腐植酸含量为19.61%,而富啡酸结合的含量为17.97%,胡敏酸和富啡酸与游离的三氧化二物结合的复合体含量分别为1.61%和4.91%,说明富啡酸与三氧化二物结合成复合体的能力比胡敏酸高,这可能是新疆干旱气候条件所决定的。

### 2.2 $^{137}\text{Cs}$ 在灌耕灰棕漠土腐殖质各组分中的分布规律

对腐殖质各组分中 $^{137}\text{Cs}$ 的测定结果表明,胡敏酸中 $^{137}\text{Cs}$ 的活度有1100Bq,即占总量(20000Bq)的5.78%;而富啡酸中 $^{137}\text{Cs}$ 的活度较高,达1320Bq,占总量的6.60%;胡敏素中的活度最高,达1850Bq,占总量的9.25%。但大部分(15765Bq) $^{137}\text{Cs}$ 滞留在土壤粘土矿物中,占总量的78.37%。说明腐殖质组分中 $^{137}\text{Cs}$ 主要分布在胡敏素中,而在胡敏酸中的含量最低。

用 0.1mol/L NaOH 提取的<sup>137</sup>Cs 胡敏酸复合体液体通过洗脱管凝胶过滤,根据胡敏酸的消光度可以把它分成 3 组(如图 1 - E),而按<sup>137</sup>Cs 活度分成 4 组(如图 1

- A)。通过<sup>137</sup>Cs 在胡敏酸中的分布概率来计算时可以获得 的 3 个组分胡敏酸和<sup>137</sup>Cs 所形成的复合体稳定性比离子交换所形成的复合体稳定性高(图 1)。

表 3 不同浸提液提取的有机碳含量

Table 3 Organic carbon content from different extraction method

项目 item	土壤总有机碳 soil total carbon	浸提方法 the way of extraction											
		土样直接用 0.1 mol/L NaOH 提取 directly extracted by 0.1 mol/L NaOH			土样直接 0.1 mol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 提取 directly extracted by 0.1 mol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			脱钙后 after calcium detached 0.1 mol/L NaOH			脱钙后 after calcium detached 0.02 mol/L NaOH		
		总碳 total carbon	HA	FA	总碳 total carbon	HA	FA	总碳 total carbon	HA	FA	总碳 total carbon	HA	FA
有机碳含量 content of organic carbon (g/kg)	0.68	0.097	0.01	0.087	0.06	0.26	0.12	0.14	0.02	0.011	0.0091		
比例 proportion (%)	100	15.85	1.63	12.79	9.80	42.48	19.61	22.88	3.27	1.80	1.47		

表 4 土壤腐殖质组分

Table 4 Components of soil humus

(%)

项目 item	胡敏酸组分 HA component				富啡酸组分 FA component				HA + FA	胡敏素 humin	HA/FA	
	1	2	3	总和 total	1 <sup>a</sup>	1	2	3				总和 total
比例 proportion	1.63	19.61	1.80	23.04	9.80	4.91	17.97	1.47	34.15	57.19	42.81	0.68

注:表格中 1 2 3 和 1<sup>a</sup> 分别表示胡敏酸和富啡酸在游离的 R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 结合态、钙结合态和稳定的 R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及粘土矿物结合的复合体。

Note: The 1 2 3 and 1<sup>a</sup> in this table are representation for free combined states of humic acid and fulvic acid in R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, combined states with Ca, the stable R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and the composite of clay minerals.

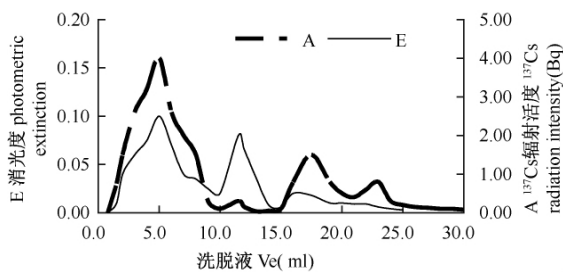


图 1 <sup>137</sup>Cs 在胡敏酸中的分布

Fig. 1 Distribution of <sup>137</sup>Cs in humic acid

第 1 个峰在洗脱液体积为 5.0ml 时出现,这符合凝胶过滤总规律,即这一组复合体的质均分子量大于 700(因为 Сeфадекс G - 10 的质均分子量范围是 100 ~ 700)。从表 5 可以看到高分子组复合体中 2.5mg

的碳可以与 70% 的<sup>137</sup>Cs (4.3Bq) 结合成高分子化合物。第 2 个峰在洗脱液体积为 11.5ml 时出现(其数值用分散系数计算),其分散系数 K<sub>d</sub> 为 0.47,通过方格法计算的质均分子量(MM)为 392,此组分中有机碳含量为 1.2mg(26.1%),它可以与 0.14Bq (2.4%) <sup>137</sup>Cs 结合。第 3 个峰在洗脱液体积为 17.5ml 时出现,此时的 K<sub>d</sub> 为 0.906,质均分子量为 168,在此组分中 0.9mg 有机碳(19.6%) 与 1.25Bq <sup>137</sup>Cs (20.2%) 结合成复合体。最后一个峰是在洗脱液体积为 23ml 时出现,此时的 K<sub>d</sub> 为 1.9,表明此时的胡敏酸<sup>137</sup>Cs 复合体处于电离平衡状态(V<sub>max</sub> = 18.8 ml),即此时形成的复合体和解离的复合体达到平衡状态。

综上,胡敏酸与<sup>137</sup>Cs 不仅结合成高分子的腐殖质-金属离子复合体,还形成一个稳定性很高的腐殖质-金属离子配合物。

表 5  $^{137}\text{Cs}$  与胡敏酸复合体分子量  
Table 5 Molecular weight of  $^{137}\text{Cs}$  and humic acid composite

组分 components	洗脱液 solvent for washing (ml)	分散系数 Kd	方格法算出结果 calculated by grid model	分子量 molecular weight (MM)	质均分子量 mass average molecular weight (MM)	有机碳含量 organic carbon content		$^{137}\text{Cs}$ 放射强度 intensity of $^{137}\text{Cs}$ radioactivity	
						C (mg)	%	Bq	%
I	5.0	-	-	>700	>700	2.5	54.3	4.30	69.5
II	11.5	0.470	1.629 3.570	425 359	392	1.2	26.1	0.14	2.4
III	17.5	0.906	0.225 0.519	169 167	168	0.9	19.6	1.25	20.2
IV	23.0	1.900	-	-	-	-	-	0.49	7.9

### 3 讨论

#### 3.1 新疆灌耕灰棕漠土有机质、腐殖质含量及其有关主要指标

本研究结果表明,新疆灌耕灰棕漠土中有机碳含量仅为 0.68%,腐殖质中游离腐殖酸含量极低,仅为 1.63%,而胡敏素含量高达 42.81%。但一般土壤中胡敏素含量在 40%~60% 甚至 70% 左右。腐殖酸类型是胡敏酸-富啡酸型,表明灌耕灰棕漠土的腐殖质结构中芳构化程度和分子量都较低。

腐殖质是地球生态环境中分布最为广泛的天然有机物。腐殖酸是腐殖质的主要组分,由于其复杂结构和所含多种功能基团,因而具有很高的反应活性<sup>[12-14]</sup>。土壤腐殖物质根据其在酸碱溶液中的溶解度分为胡敏酸(HA)、富啡酸(FA)和胡敏素(HM)3个组分。HA溶于碱溶液而不溶于酸,FA既溶于碱也溶于酸,HM是与矿物质紧密结合的腐殖物质<sup>[15]</sup>。在20世纪初,Oden首先提出了HM是腐殖物质的一个独立组分,它被定义为在任何pH条件下的水溶液中不溶的腐殖物质组分<sup>[16]</sup>。HM与粘土矿物牢固结合,并呈现不均一性,它一直被认为是土壤中的惰性物质。在土壤腐殖物质组分中,HM占有有机碳、有机氮的绝大部分,因此HM在碳截获、土壤结构、养分保持性、氮素循环、生物地球化学循环等方面都占有重要地位。

研究表明,碳酸盐森林棕壤和碳酸盐盐化棕壤中的胡敏酸含量分别为 25.5%和 26.5%,富啡酸含量为 19.5%和 20.6%,而新疆灌耕灰棕漠土胡敏酸含量为 23.0%,富啡酸含量为 34.1%。所以新疆灌耕灰棕漠土腐殖质类型是以胡敏酸-富啡酸型为主。新疆灌耕灰棕漠土胡敏素含量(42.8%)也低于上述2种土壤(46.6%和 49.0%)<sup>[17]</sup>。从本研究腐殖质组分中可以看出,新疆灌耕灰棕漠土胡敏酸与钙结合的复合体含

量为 19.6%,也低于以上2种土壤的 23.5%和 22.7%,而富啡酸与钙结合的复合体含量为 17.9%,与2种土壤的 16.7%和 17.4%基本相同。原因是植物组织降解产物、地理、生物和气候等条件的不同使腐殖质的组成存在很大差异。

#### 3.2 $^{137}\text{Cs}$ 在灌耕灰棕漠土腐殖质各组分中的分布

研究结果表明,20000Bq的氯化铯标记的灌耕灰棕漠土,腐植质中两种腐植酸所积累的放射性核素总量为 4325Bq,即 21.6%的 $^{137}\text{Cs}$ 积累于腐殖质中,其中胡敏酸的含量为 5.78%,富啡酸含量为 6.60%,而胡敏素的含量为 9.25%。外源 $^{137}\text{Cs}$ 积累最高的是粘土矿物,它所占的含量可达复合体总量的 78.37%。该研究结果与前人研究结果基本吻合<sup>[3,6]</sup>。

分子量是化学物质的一个基本性质,对于一个纯化学物质,其分子量有一个确定值,而对腐殖质这样天然的复杂有机质组成的混合大分子物质来讲,没有确定的分子量,仅有分子量分布范围。目前对腐殖酸的分级及测定分子量的方法很多,各种方法的原理和测得的分子量类型各不相同。常用的方法有体积排阻色谱法(Size Exclusion Chromatography, SEC),超滤(UF)、超速离心法(UC)、粘度法(Viscometry)、凝胶过滤法等等。本研究采用 Сефадекс G-10 凝胶过滤法研究了腐殖酸 $^{137}\text{Cs}$ 复合体均分子量的分布规律,通过凝胶过滤把腐殖质 $^{137}\text{Cs}$ 复合体按分子量大小分成4级,即 MM>700,MM为 392和 168,MM<100,这与曲凤臣等利用 Сефадекс G-50 凝胶过滤法研究的腐植酸分子量的分布规律结果基本吻合<sup>[18]</sup>。

胡敏酸与 $^{137}\text{Cs}$ 不仅结合成高分子的腐殖质-金属离子复合体,更重要的是形成一个稳定性更高的腐殖质-金属离子配合物,这大大提高了土壤生态环境对放射性核元素污染的自净能力。

$^{137}\text{Cs}$ 主要集中在粘土矿物中,因为新疆粘土矿物中伊利石含量较高,而伊利石中含钾量较高,且 $^{137}\text{Cs}$

的化学性质和离子半径等都跟钾素很接近,在土壤<sup>137</sup>Cs的含量达到一定程度后很容易与钾素以离子交换的方式而固定在土壤粘土矿物的晶格中。所以放射性核元素在土壤中的迁移、转化和固定不仅与土壤腐植酸含量有关,且在很大程度上也跟土壤粘土矿物的种类和含量有关。

## 4 结论

**4.1** 新疆灌耕灰棕漠土壤中有有机碳含量很低,为0.68%,腐殖质中游离腐植酸含量仅达1.63%,但胡敏素含量高达42.38%。腐植酸类型是胡敏酸-富啡酸型,腐植质结构中芳构化程度和分子量都较低。

**4.2** 腐植酸所积累的放射性核元素的总量为4325Bq,即21.6%的<sup>137</sup>Cs积累于腐殖质中,其中胡敏酸的含量为5.78%,富啡酸为6.60%,而胡敏素的为9.25%。外源<sup>137</sup>Cs积累最高的是粘土矿物,它所占的含量可达复合体总量的78.37%。

**4.3** 利用Ceфадекс G-10凝胶过滤法把腐植酸<sup>137</sup>Cs复合体均分子量分成4个不同的范围,即MM > 700,MM为392和168,MM < 100。

**4.4** 胡敏酸与<sup>137</sup>Cs不仅结合成高分子的腐殖质-金属离子复合体,还形成一个稳定性更高的腐殖质-金属离子配合物,这大大提高了土壤生态环境对放射性核元素污染的自净能力。

### 参考文献:

- [1] 钱娟,杨浩,杨九东,张明礼,王小雷,徐从安. 盆栽-自然土生长试验研究小麦对土壤中<sup>137</sup>Cs的吸收[J]. 核农学报, 2008, 22(5):686-692
- [2] Mantoura R F C, Dickson A, Riley J P. The complexation of metals with humic materials in natural waters [J]. Estuarine Coastal Mar

Sci, 1975, 5: 387-408

- [3] Карпунин А И, Сычѳв В Г. Комплексные соединения органических веществ с ионами металлов [М]. ВНИИА, 2005, 186.
- [4] Орлов Д С. Химия почв [М]. МГУ, 1985, 375
- [5] Гулякин И В, Юдинцева Е В. Радиоактивные продукты деления в почве и растениях [М]. Госатомиздат, 1962:276 с
- [6] Гулякин И В, Юдинцева Е В. Сельскохозяйственная радиобиология [М]. Колос, 1973:272
- [7] Илаху А, Карпунин А И, Торшин С П. Поступление радионуклидов в растения кукурузы с применением органических лигандов [J]. Плодороди, 2008 4:С 46-47
- [8] Павлоцкая Ф И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадения в почвах [М]. Атомиздат, 1974:215
- [9] Юдинцева Е В, Гулякин И В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия [М]. 1968:472
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [М]. 北京:中国农业出版社, 2007
- [11] Карпунин А И. Применение гелевой хроматографии в почвенных исследованиях [М]. МСХА, 1984:68
- [12] Карпунин А И. Методические указания для практического применения гель-хроматографии в почвенных исследованиях [М]. МСХА, 1984:38
- [13] Ковда В А, Розаннова Б Г. Почвоведение В 2 частях [М]. Москва «Высшая Школа», 1988:С 400
- [14] Chen Yu P, Ailen G O, Loughlin E. Molecular weight, polydispersity and spectroscopic properties of aquatic humic substances [J]. Environ Sci Technol, 1994, 28:1852-1858
- [15] 龚森. 土壤有机质. 李学垣主编. 土壤化学 [М]. 北京:高等教育出版社, 2001:19-49
- [16] Rice J A. Humin [J]. Soil Science, 2001, 11:848-857
- [17] Rice J A, MacCarthy P. A model of humin [J]. Environ Sci Technol, 1990, 24(12):1875-1877
- [18] 曲凤臣. 土壤腐植酸分级、表征及其光化学作用 [D]. 大连:大连理工大学, 2006

(责任编辑 邱爱枝)

### (上接第316页)

- [30] Bilyk A, Cooper P L, Sapers G M. Varietal differences in distribution of quercetin and kaempferol in onion tissue [J]. J Agric Food Chem, 1984, 32:274-276
- [31] Bilyk A, Sapers G M. Distribution of quercetin and kaempferol in lettuce, kale, chive, leek, horseradish, red radish and red cabbage tissues [J]. J Agric Food Chem, 1985, 33:226-228
- [32] Bilyk A, Saper G M. Varietal differences in the quercetin, kaempferol, and myricetin contents of highbush blueberry, cranberry, and thornless blackberry fruits [J]. J Agric Food Chem,

1986, 34:585-588

- [33] Vuorinen H, Maatta K, and Torronen R. Content of the flavonols myricetin, quercetin and kaempferol in Finnish berry wines [J]. J Agric Food Chem, 2000, 48:2675-2680
- [34] Huafu Wang, Keith Helliwell. Determination of flavonols on green and black tea leaves and green tea infusions by high-performance liquid chromatography [J]. Food Research International, 2001, 34:223-227

(责任编辑 高美须 裴颖)