Archive of SID

طب‌نظامی
بهار ۱۳۸۲، شماره ۵ (۱)
صفحات: ۵۶-۴۷

آلودگی رادیواکتیو حاصل ازحملهٔ هسته‌ای درمنابع گیاهی

عباس عزیزی .B. Sc

آدرس مکاتبه: دانشگاه صنعتی مالک اشتر - مرکز تحقیقات علوم و فن‌آوری زیستی
گروه رادیوبیولوژی-تهران - ایران

خلاصه

پس ازیک حمله هسته‌ای یاحادثه مشابه آن، مواد رادیواکتیو در محیط پخش شده و باعث آلودگی می‌گردد. این آلوگی وارد هوا، آب، خاک و نیز گیاهان و جانوران می‌شود. انسان به‌عنوان مهمترین جزء محیط هم از طریق محیط فیزیکی اطراف و هم از طریق منابع گیاهی وجانوری آلوده درمعرض آلودگی رادیواکتیو پخش شده در محیط می‌باشد و تحت تأثیر سمیت شیمیایی و نیز سمیت تشعشعی این مواد قرار می‌گیرد.

دراین میان گیاهان به‌عنوان منبع اصلی پایه غذایی انسان که به‌صورت مستقیم پردازش شده، و یا با واسطه مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند. بنابراین، بررسی آلودگی رادیواکتیو قابل جذب در محیط گیاهی، رادیونوکلئیدهای مهم جذبی، کمیت وکیفیت جذب آنها درگیاهان مختلف، پارامترهای مؤثر در جذب، تجمع رادیونوکلئیدی درگیاه، سرعت و نحوه انتقال آلودگی به جانوران، انتقال آلودگی به محصولات دامی، انتقال آلودگی به انسان به‌ویژه از طریق محصولات غذایی گیاهی، از جمله مواردی هستند که قابل توجه می‌باشند.

شناخت کمی وکیفی این موارد در مجموع، به مردم به‌طور اعم و به ارگان‌ها و سازمان‌های مسئول وتصمیم‌گیرنده به‌طور اخص، این توانایی را می‌دهد که درجریان یک جنگ هسته‌ای، استراتژی خود را درقبال منابع گیاهی مختلف که تأثیر زیادی درابعاد مختلف زندگی انسان دارند، تعیین کنند و در کوتاه مدت و بلند مدت نحوهٔ استفاده از این منابع را مشخص نمایند.

واژه‌های کلیدی: حمله هسته‌ای، رادیونوکلئید، آلودگی رادیواکتیو، آلودگی گیاهی

مقدمه

آلودگی رادیواکتیو تولید شده درجریان یک انفجار و یا حملهٔ هسته‌ای، متشکل از رادیونوکلئیدهای مختلف با خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت می‌باشد. این عناصر رادیونوکلئیدی وارد محیط زیست شامل: محیط فیزیکی و محیط بیولوژیک شده و برآنها تأثیر می‌گذارند.

مراحل مختلفی درانتقال آلودگی رادیواکتیو درزنجیرهٔ غذایی موجود درطبیعت وجود دارد که اهم آنها عبارتند از:

www.SID.ir

Archive of SID

۱- جذب رادیونوکلئیدها توسط گیاهان به‌وسیلهٔ برگ یا ریشه و انتقال آنها از برگ و ریشه به میوه و یا در مورد غله و حبوبات به دانه
۲- بازداری رادیونوکلئیدی درگیاه، که به فاکتورهای متفاوتی مربوط است
۳- انتقال رادیونوکلئیدها ازگیاه و علوفه به‌حیوان و محصولات حیوانی

بنابراین انسان درچرخهٔ بیولوژیک، هم از طریق گیاهان و هم محصولات حیوانی آلوده می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. لذا، توجه به آلودگی گیاهان از نظر رادیواکتیویته و مکانیسم‌های جذب آن ضروری می‌نماید.

مقدار آلودگی رادیواکتیو درگیاهان و موادغذایی مختلف با توجه به استعداد جذب آنها متفاوت است. رژیم غذایی مصرف شده، مقدار مصرف، محل تهیه، و راه‌های تهیهٔ غذا خواه گیاهی و خواه حیوانی درتأثیراتی که آلودگی گیاهی می‌تواند برانسان بگذارد، دخالت دارند که باید مورد توجه قرار گیرند.

با توجه به این‌که هدف عمده از بررسی آلودگی رادیواکتیو در منابع گیاهی، تأثیر برانسان می‌باشد، اهمیت مطالب فوق مشخص می‌شود[۱، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۹، ۲۵].

رادیونوکلئیدهای عمده درمحیط گیاهی

پس از یک انفجارهسته‌ای، تعداد زیادی از رادیونوکلئیدهای تولید شده، در زمین و روی گیاهان رسوب می‌کنند و وارد گیاه و زنجیرهٔ غذایی وابسته به آن می‌شوند. عمده‌ترین آنها را می‌توان I_{131} و Sr_{90} و Cs_{137} ذکر کرد.

رادیونوکلئیدها وارد چرخه‌های مختلف محیطی شده و درآنها تأثیر ات سوء رادیواکولوژیکی برجای می‌گذارند ولی کمیت وکیفیت این تأثیرات متفاوت خواهد بود که همین تفاوت‌ها تعیین‌کنندهٔ اهمیت رادیونوکلئید موردنظر می‌باشند.

استرانسیوم(Sr90) ، یک آلایندهٔ مهم گیاهی

Sr_{90} یکی از رادیونوکلئیدهای مصنوعی است که خاک و گیاهان را آلوده می‌کند. چون استرانسیوم در خاک نسبتاً غیرمتحرک است، ترسیب آن برروی گیاه و آلودگی ناشی از آن برای گیاه اهمیت بیشتری نسبت به جذب از خاک دارد. ولی باید توجه داشت که مقدار استرانسیومی که با آلودگی مستقیم از برگ‌ها به‌گیاه منتقل می‌شود نیز زیاد نیست و از طرفی این عنصر درخود گیاه نیز تحرک زیادی ندارد، به‌ویژه حرکت آن از موضع آلودگی سطحی درجهت پایین قابل صرف‌نظر است.

درگیاهانی نظیرکلم و کاهو که قسمت‌های خوراکی با برگ‌های بیرونی محافظت می‌شود، آلودگی مستقیم استرانسیومی، با جدا کردن برگ‌های بیرونی به‌راحتی حذف می‌شود و بعد از آن، گیاه عاری از آلودگی خواهد بود. بنابراین شستشوی میوه و سبزیجات مؤثر است.

در مورد گیاهان ریشه‌ای نیز باید گفت که تقریبا به‌وسیلهٔ Sr_{90} حاصل از ترسیب مستقیم تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند و برای آنها آلودگی برگی مستقیم با Sr_{90}، در مقایسه با آلودگی ریشه‌ای، قابل توجه نیست. در مراتع با محصول کم، به‌دلیل تماس گیاه با حجم بیشتری از آلودگی اهمیت نسبی بیشتری برای آن متصور است.

استرانسیم رسیده به ریشهٔ گیاه هم از لیچینگ آلودگی برگی و هم ترسیب مستقیم برروی ساقه و ریشه می‌تواند حاصل شود. به‌ویژه در مراتع دایمی، این عنصر برای دورهٔ قابل ملاحظه‌ای ممکن است دراین بستر بماند و جذب از ریشهٔ گیاه انعکاسی از ترسیب حاصل از زمان‌های قبل باشد.

استرانسیوم ۹۰ از نظر رفتاری شبیه به کلسیم عمل می‌کند، پس تا حدودی درخاک و ساختمان گیاه و یا درغذاها جای کلسیم را می‌گیرد. به‌عنوان مثال نسبت Sr /Ca درکشور کانادا براثر حوادث هسته‌ای مولد Sr_{90}، درغلات یک دوم تا یک سوم و درسبوس یک چهارم می‌باشد.

روش‌های چندی برای کاهش جذب استرانسیوم توسط ریشه گیاه ارایه شده است. نظیر استفاده از آهک، بارورکننده‌های خاص و بعضی از مواد آلی. این روش‌ها حداکثر تا ۵۰ ٪ جذب استرانسیوم را کاهش می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID

در مبحث .بازداری رادیونوکلئیدی، بازداری اولیهٔ Sr_{90} درعلوفهٔ مراتع ۳۰-۱۵٪ و به‌طور متوسط ۲۲٪ از ترسیب کل رادیونوکلئیدی بر واحد سطح، تخمین زده می‌شود.

فاکتور از دست‌دهی منطقه‌ای، برای حدود دوهفته،۵۰٪ می‌باشد که براساس واحد سطح زمین بیان می‌شود. این فاکتور، براساس واحد وزن گیاه حدود ۹ روز است.

سزیم۱۳۷، یک آلایندهٔ گیاهی دیگر

سزیم ۱۳۷ به‌صورت محکم، به‌خاک معدنی رسی که دردسترس گیاه قرار دارد، می‌چسبد. به‌همین دلیل جذب ریشه‌ای آن کم است، اما جذب برگی آن به‌خصوص وقتی که ریزش اتمی درجریان است، مهم می‌باشد. سزیم، همزاد(congener) پتاسیم می‌باشد. همان‌طور که استرانسیوم همزاد کلسیم است، اما برخلاف نسبت ثابت Sr/Ca، نسبت Cs/K ثابت نیست. جذب سزیم با میزان پتاسیم خاک نسبت عکس دارد. تجربه نشان داده است، انتقال سزیم۱۳۷ از طریق جذب ریشه‌ای آنقدرکم است که می‌توان از آن صرفه‌نظر کرد. بنابراین ترسیب آن روی گیاه اهمیت بیشتری دارد و باتوجه به این‌که روش مقابله با این نوع ترسیب و آلودگی چنانکه قبلاً گفته شد درشستشوی گیاه و یا پوست گرفتن میوه و دانه‌هایی مانند گندم می‌باشد، تاحدودی خطر آن‌را می‌توانیم کاهش دهیم.

این عنصر تمایل به تجمع درگونه‌هایی خاص از قارچها از جمله گونه‌هایEdible دارد. غلظت آن درگیاهان آونددارِ گل‌دار، نسبت به انواع بدون‌گل و نهانزاد ۱۰٪ و یا کمتر دیده شده است.

گلسنگ‌ها به‌عنوان جزء اصلی و مهم بعضی اکوسیستم‌ها نظیر اکوسیستم‌های آلپی، محل تجمع این عنصر محسوب می‌شوند. تفاوت زیادی که در جذب آن بین گونه‌های مختلف گلسنگ مشاهده می‌شود، عموماً مربوط به‌محل رشد آنها می‌باشد. گونه‌هایی که در برونزدهای سنگی و در محل‌هایی در معرض باد رشد می‌کنند، دارای بیشترین حجم سزیم ۱۳۷ می‌باشند.

گیاهانی که درقسمت‌های برآمدهٔ کوه(تیغهٔ کوه) رشد می‌کنند(نظیر خزه و گلسنگ)، نسبت به آنها که درمناطق محافظت‌شده رشد می‌کنند، دارای تجمع سزیمی بیشتری می‌باشند. درمورد این عنصر، آلودگی حاصل از ترسیب سطحی (Rate Dependent)، نسبت به‌نوع دیگر آلودگی یعنی تجمعی ریشه‌ای (cumulative–dependent)، ارجح می‌باشد.

بازداری سزیم و فاکتورهای از دست‌دهی منطقه‌ای آن در گیاهان، تقریبا مشابه استرانسیوم است. جذب از طریق ریشهٔ گیاه، یکی از عوامل عمدهء ورود سزیم به گیاه می‌باشد. اگرچه ممکن است نسبت به استرانسیوم بازدهی کمتری داشته باشد. در مناطقی که درصد مواد آلی خاک، به‌ویژه درلایهٔ سطحی آنها زیاد است. مانند مناطق قطبی و سرد. ممکن است جذب سزیم به‌وسیلهٔ ریشهٔ گیاه مهم‌تر باشد زیرا بعد از ورود آن به خاک دسترسی به آن زیاد می‌شود. درمواردی نظیرگلسنگ‌ها، برگ‌ها و ریشهٔ گیاه، نقش واحدی دارند و در واقع به یک صورت عمل می‌کنند.

سزیم، درمقایسه با استرانسیوم، قدرت حرکت بیشتری درگیاه دارد و به‌راحتی درداخل گیاه انتقال می‌یابد به‌طوری‌که جذب مستقیم سطحی منجربه آلودگی وسیعی درقسمت‌های دیگر می‌شود. حرکت سزیم ۱۳۷ از خاک تا گیاه ارتباط نزدیکی با pH خاک دارد. برای گروه‌های مختلف خاک که دارای pH های متفاوتی می‌باشند، ضرایب حرکت و انتقال برای دانه‌های کشاورزی عمده ۳ تا ۲۹ برابر تغییر می‌کند که با تغییر نوع دانه‌ها، این اختلاف به ۴۵ برابر می‌رسد. مقدار متوسط ضرایب انتقال سزیم ۱۳۷ درمنطقهٔ kief طی سال‌های ۸۹-۱۹۸۷، به‌شرح جدول۱ می‌باشد

ید۱۳۱

دیگرآلایندهٔگیاهی ید ۱۳۱ است نیمه عمر ید رادیواکتیو یعنیI131، کوتاه است(۸ روز) و به‌همین علت یک آلایندهٔ چندان مهم محسوب نمی‌شود.

در واقع زمان تلاشی آن نسبت به مدت عمر و رشد گیاه، کوتاه است ولی به‌خاطرضریب انتقال بالایی که دارد، دارای اهمیت می‌باشد.

اهمیت جانوری ید مربوط به‌این امر است که برای کار هورمون‌های تیروئید لازم است. خطر ید رادیواکتیو مربوط به‌چند مورد است:

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مـواردی‌که رسوباتِ دارای ید رادیواکتیو، روی موادغذایی(برگ‌ها) نشسته باشند و مستقیماً خورده شده و مورد مصرف قرارگیرند

۲- مـواردی‌کـه ایـن آلودگی برروی گیاه بنشیند یا جذب گیاه شود و حـیوان علـف‌خوار از آن استفاده نماید و در محصولات حیوانی ظهور یابد

جدول ۱: Bq / kg محصول طبیعی بر Bq / km^2 از خاک

نوع محصول	گروه خاک باpH های مختلف			درجه اختلاف
-	pH ۴/۵– ۵/۵	pH ۵/۶ - ۶/۵	pH ۶/۶ - ۷/۵	-
یونجه	۰/۹	۰/۲	۰/۱	۹
شبدر	۰/۸–۲/۹	۰/۳	۰/۱	۲۹
ماش	۱/۱–۴/۵	۰/۴	۰/۲	۲۲
نخود	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۲/۵
علف سبز	۰/۶	۰/۳	۰/۲	۶
گندم زمستانی	۰/۵	۰/۲	۰/۰۵	۱۰
گندم سیاه زمستانی	۰/۴	۰/۱	۰/۰۷	۶/۸
چغندر	۰/۶	۰/۳	۰/۰۶	۱۰
(درجهٔ اختلاف)	۴۵	۸	۱۰	-

حـدوداً ۱۰٪ از ید ۱۳۱ موجود درخاک جذب گیاه می‌شود ولی به‌خاطر نـیمه‌عمـرکوتاه آن، محدودیـت رادیولوژیکـی معنی‌داری پیدا می‌کند و تصـفیهٔ آن از گـیاه(تصـفیهٔ مجـازی) سـریع صـورت مـی‌گـیرد. میوه و سبزیجات، قابلیت زیادی برای جذب و تجمع این رادیونوکلئید دارند.

اورانیوم وعناصراکتینیدترانس اورانیک

فهـم رفـتار اورانیوم، توریم و عناصرترانس‌اورانیک اکتینیدی که به‌طور مصـنوعی تولـید می‌شوند، از این لحاظ مهم است که، نیمه عمرطولانی دارنـد و گسـیل‌کننـدهٔ آلفـا می‌باشند. این عناصردرطبیعت وجود ندارند. معمـولاً در مـنابع گیاهـی جـذب کمـی دارنـد ولی به‌عنوان یک سری آلایندهٔ رادیواکتیو گیاهی، هرچند با غلظت کم، قابل بررسی می‌باشند.

تأثیر تریتیم وکربن۱٤ درگیاه

تریتـیم و کربن ۱۴ باتوجه به‌ساختار شیمیایی DNA می‌توانند درآن نفـوذ کـرده و بـا آن ترکیـب شـوند و از این طریق، علاوه بر حضور درسـاختار گـیاه، تأثـیرات ژنتیکـی شدیدی روی آنها گذاشته و میزان جهش DNA را تسریع نمایند.

در مـورد I_{131}، Sr_{90} وCs_{137} ، هرچـند جذب گیاهی خوبی دارنـد ولـی نـه بـه‌صورت نفوذ درشبکهٔ DNA بلکه با پرتودهی که دارنـد، اثـرات ژنتیکـی ایجاد می‌کنند[۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۱، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۴].

مکانیسم‌های جذب رادیونوکلئیدها توسط گیاه

گیاهان معمولاً با دو مکانیسم رادیونوکلئیدها را جذب می‌کنند:

۱-جذب مستقیم گیاهی

مـواد رادیواکتـیو می‌توانند به‌وسیلهٔ ترسیب مستقیم از هوا، گیاهان را آلـوده کنـند و بعد از ترسیب سطحی، به‌صورت مستقیم یا متابولیکی، برحـیوانات علـف‌خـوار و انسان‌ها تأثیر بگذارند. این مواد وقتی روی زمیـن رسوب می‌کنند نیز می‌توانند علاوه برجذب ریشه‌ای، گیاهان را بـا مکانیسـم پاشـیدن و پـرتاب شدن از سطح زمین(Rain Splash) همچـون ترشح سیلابی ـ آلوده کنند. ذرات کوچکتر از۱۰۰ میکرومتر مـی‌توانند تا ارتفاع ٤۰cm به‌وسیلهٔ اصابت قطرات باران، به‌بالا پرتاب شـده و درسـطح گیاه رسوب کنند. این مکانیسم دربعضی موارد مانند رادیواکتـیو که نیمه‌عمر کمی دارد(۸ روز) و قبل از این‌که توسط گیاه جذب و تحلیل شود و
اپاشی می‌کند که معمولاً مهم‌تر از مسیرخاکی است.

در آلودگـی مسـتقیم دوفـاز مطـرح است. فاز اول هنگامی اسـت کـه آلودگـی جـذب سـطح می‌شود و فازدوم موقعی است که آلودگـی جـذب بافـت‌های گیاه می‌گردد که گاهی اوقات این دوفاز با یکدیگـر مخلـوط مـی‌شوند. در ترسیب مداوم(continuous) اثرکلی هـر دو فاز دیده می‌شود. براساس این‌که دوفاز مخلوط بشوند یا نه اثر حاصـل ازآلودگی مستقیم درگیاه می‌تواند تشخیص داده شود یا نشود.

www.SID.ir

Archive of SID

ایـن موضـوع همچنین تابعی از رفتار مربوط به‌نوع عنصرنیز می‌باشد، مگر هنگامی‌که فاکتور زمان این دو را بتواند کاملاً از هم جدا کند.

کیفیـت فیزیکـیِ ریـزش اتمـی نـیزدرجذب مسـتقیم آلودگی از هوا، بـه‌وسیلهٔ گیاه مؤثر است. اغلب این آلودگی توسط آب باران حل شده و پاییـن آورده می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که درسطوح تَر، بیشتر موجـود باشـد. ریـزش بـا بـاران بهتریـن حالـت بـرای شـبیه‌سـازی آزمایشـگاهی میباشـد کـه با اسپری یک محلول رادیواکتیو روی گیاه امکان‌پذیر است.

گـیاهان درجـذب مسـتقیم، در سـه موضع می‌توانند آلوده شـوند: بـرگ‌هـا، گـل‌ها، ریشه‌های سطحی و ساقهٔ گیاه. این مواضع به‌صورت foliar، floral، Plant-base معرفی می‌شوند.

اهمیـت نسـبی هرمـوضـع با نوع رادیونـوکلئید آلاینـده، نوع گـیاه(فاکتورطول عمرآن) و نیزآب و هوا تغییر می‌کند. آلودگی گل و دانـه بـه‌ویـژه بـرای دانـهٔ حبوبات و غله مهم است، زیرا دراین موارد قسـمت محصـول و دانـهٔ گـیاه خـورده مـی‌شود. آلودگی برای مراتع دایمـی از محـل ریشـه و سـاقهٔ گیاه مهم‌تر از بقیهٔ مواضع است زیرا زمیـن مانـند یـک اسـفنج آلودگـی را نگـه مـی‌دارد و آن‌را بـه‌تدریج دراختیار گیاه قرار می‌دهد.

آلودگـی برگـی بـرای گیاهانـی کـه بخـش‌هـای برگی و سـطحی آنهـا مـورد مصـرف قرار می‌گیرد، مهم است چرا که محل ویژه‌ای برای ایزوتوپ‌هایی که نیمه‌عمرکم دارند، محسوب می‌شود.

نوع گیاه و حفظ آلودگی ترسیب شده

شـکل گـیاه کـه تابعـی از نوع آن است تأثیر زیادی درجذب و حفظ آلودگـی ترسیب شده دارد، به‌طوری‌که اگرگیاه سطحی را فراهم آورد کـه آلودگـی بتوانددئـ درآن گیر افتد، نگهداری و حفظ رادیونوکلئید نـیز بیشتر می‌شود. بهترین مثال علوفه است که شکل برگ‌های آن بـه‌صـورتی اسـت کـه بـرگ‌هـا و سـاقه یک شکل قیف مانند برای جمع‌کردن رسوبات می‌سازند.

همـهٔ اکتیویـته‌ای کـه در ابـتدا بـر روی گیاه رسوب می‌کند به‌شکلی باقـی نمـی‌مـاند کـه توسـط حـیوانات خـورده شـود. براسـاس انـدازه‌گـیری‌هـای واقعـی انجام شده، بعد از یک روز از ترسیب اولیه فقـط ۱/۴ ازآن روی گـیاه باقی می‌ماند و بخش مهم آن به‌وسیلهٔ باد یا حرکاتی که دیگر جانوران به گیاه می‌دهند، از آن جدا می‌شوند. آب بـاران مـی‌توانـد آلودگـی روی گیاه را لیچینگ نماید که به‌وسیلهٔ این فرآیـند و تشـکیل محلـول فقـط بخـش کوچکی از اکتیویته می‌تواند بـه‌سـرعت جذب گیاه شود و بقیه شسته می‌شود. در هر حال، توانایی بخـش‌هـای مخـتلف گـیاه درنگهداری آلودگی ممکن است، متفاوت باشد.

فاکتورگیراندازی درجذب مستقیم

فاکتورگـیراندازی بـه‌صـورت نسـبت کـل رسوب جذبی چه به‌صورت خشـک و چـه به‌صورت تر به‌وسیلهٔ biomass گیاهی منطقه تعریف شده و به‌شکل ذیل محاسبه می‌شود:

$$r = 1-\exp(-u.Yv)$$

که درآن:

ثابـــت جـــذب برحســـب kg / m2 وزن خشـــک گـــیاه = (بیومس منطقه‌ای)u

YV = چگالـی وزن خشـک بـیومس منطقه‌ای برحسب Kg/m2 از سطح خاک

بنابرایـن ۰‹ r ‹۱ تغییـر می‌کند. این فاکتور به‌عنوان فاکتور جذب فرا زمینـی(above ground interception) نیز معروف است. این ثابت جـذب بـرای سـبزیجات پربـرگ مانند کلم نسبت به گیاهان کم‌برگ مثل گوجه‌فرنگی و پیاز بزرگتر است. چون محصولات گیاهی معمولاً بـه‌صـورت تـازه مصرف می‌شوند. برای اجتناب بیشتر از آلودگی، تنها بـاید مـیوهٔ گیاهان گوجه‌ای، درختان میوه سیبی، درختان با میوه‌های مغزدار مثل بادام و پسته مصرف شود.

مقدار r بسته به‌شرایط مختلف متفاوت بوده وتغییر می‌کند،

r برای رسوب مرطوب $< r$ برای رسوب خشک است.

www.SID.ir

Archive of SID

r برای رسوب خشک روی علف‌های مرطوب < r برای رسوب خشک روی علف‌های خشک است.

r برای رسوبات دانه ریز < r برای رسوبات دانه درشت است.

که علامت < میزان گیرافتادن توسط گیاه را نشان می‌دهد.

جذب مستقیم توسط گیاه به‌طور کلی بستگی به‌سرعت جریان ترسیب ریزش اتمی دارد. به‌عبارتی این نحو جذب را Rate Dependent گویند.

جدول ۲ : اکتیویتهٔ ویژه بر واحد اکتیویته ترسیب شده بر واحد سطح (Bq / kg f.w. per Bq /m^2)

	Cs-137	Ba-140	Ru-106	I- 131
۱میلی	۰/۰۹۵	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۳۳
۲ میلی	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۶
۳ میلی	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۲۸
۴ میلی	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۲۸
۵ میلی	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۲۷
۶ میلی	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۴

زمان بازداری برای آلودگی مستقیم

فاکتور بازداری روتینم۱۰۶ (Ru_{106})، برخلاف انتظار اندکی کمتر از I_{131} است. دلیل آن می‌تواند ترکیب شیمیایی روتنیم درریزش باشد.

مدل ecosys-87 برای بازداری سه عنصر Ru, Cs, Ba نسبت به ید، برمبنای ترسیب‌تر، پیش‌بینی می‌کند که بازداری ید آنیونی نسبت به کاتیون Sr, Ba که ۲ ظرفیتی‌اند، ۴ برابر کمتر و نسبت به کاتیون یک ظرفیتی Cs، ۲ برابر کمتر می‌باشد.

درضمن با افزایش میزان باران، بازداری کاهش یافته و با افزایش بیومس محصولات، بازداری افزایش می‌یابد.

اهمیت نسبی آلودگی سطحی درگیاهان

اهمیت آلودگی سطحی با فصل رشد تغییر می‌کند، به‌این صورت که خطر حاصل از این ناحیه قبل از برداشت محصول به هنگام برداشت و یا هنگام چرای فعال به‌وسیلهٔ جانوران اهلی(نظیرآنها که تولید شیرمی‌کنند) بیشتر است.

اهمیت نسبی آلودگی شاخ و برگ همچنین وابسته به‌ساختمان گیاه و نقش قسمت‌های مختلف گیاه درارتباط با غذای انسان یا جانور می‌باشد.

ساختار خوشهٔ گندم به‌شکلی است که منجر به‌جذب و گیراندازی زیادی برای ریزش‌های اتمی می‌شود. ممکن است به‌همین دلیل باشد که گندم یک منبع عمده از Sr_{90} حاصل از تست سلاح‌ها براساس تحقیقی برروی غذاهای مصرفی غربی می‌باشد. عموماً حبوبات به‌عنوان نمونه‌ای از جذب سطحی بالا مطرح می‌باشند.

خطر در ماه‌های زمستان که محصولات روی زمین نیستند، کمترین است . هرچند که حتی دراین ماه‌ها ممکن است ریزش مستقیم برروی زمین درمراتع دایمی ، تا بهارآینده ذخیره شود و درآن زمان به‌وسیلهٔ گیاهان درحال رشد جذب شود. این‌گونه ضبط و نگهداری، برای گیاهانی که بخش‌هایی از اندام‌شان نظیرساقه‌های پیر یا ریشه‌های سطحی درمعرض می‌باشد، بیشتر خواهد بود. به‌طورکلی، آلودگی مستقیم کمتراز آلودگی به‌وسیلهٔ خاک مورد توجه قرارگرفته است زیرا فاکتورهای تعیین‌کننده و دخیل درآن تنوع و تعدد بیشتری دارند و بنابراین، نتایج تحقیقات نیز اعتبار کمتری دارند. از طرفی طراحی(set) آزمایش‌ها و تکنیک‌های آزمایشگاهی برای گسترش اطلاعات دراین زمینه طراحی خاصی را می‌طلبد درحالی‌که مطالعات درمورد جذب غیرمستقیم از طریق خاک بسیار راحت‌تر می‌باشد.

حذف آلودگی سطحی یا مستقیم

این نوع آلودگی به‌وسیلهٔ واپاشی رادیواکتیوی می‌تواند حذف شود. از دیگر راه‌های حذف، لیچینگ به‌وسیلهٔ باران، فرار(volatilization) ، دیگر اثرات آب و هوایی مانند باد، مرگ و میر و از دست رفتن قسمت‌های گیاه، و البته به‌وسیلهٔ شستشوی قبل از مصرف به‌وسیلهٔ انسان می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

درتحقیقی که برای استرانسیوم۹۰ درکشتزار صورت گرفت، نیمه عمرحذف آن از اجزای گیاه درطی فصل رشد، بدون توجه به واپاشی رادیواکتیوی، ۱۴ روز مشخص شد. عدد متوسط مفیدی است اما این زمان به‌وسیلهٔ گیاه و اختلاف درخواص فیزیکی و شیمیایی رادیونوکلئیدها تغییرکرده و تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

نیمه عمر برداشت استرانسیوم اسپری شده روی محصولات از ۱۹ روز در تابستان تا ۴۹ روز در زمستان تغییر می‌کند. با تمام شدن یک دورهٔ رشد، دورهٔ بعدی رشد شامل کمتر از ۱٪ از ترسیب اولیه می‌باشد. درتحقیقی از دست رفتن ۰/۰۵ در روز برای چند هفتهٔ اول بعد از ریزش دیده شد ولی بعد از آن سرعت از دست رفتن کاهش می‌یابد. ازکاربردی‌ترین روش‌ها، برای حل مشکل برگ‌های آلوده عملیات انتقال و تدفین برای برگ‌های آلوده می‌باشد.

دخالت سایز ذرات ترسیبی درآلودگی مستقیم گیاهی

ذراتی که روی گیاه قرار می‌گیرند به نسبت عکس سایزشان، درمحل ریزش شده باقی می‌مانند .ذرات بزرگتر از ۵ میکرومتر نسبتاً سریع جدا می‌شوند که ۹۹٪ آنهایی که از سطوح گیاه جدا می‌شوند این گونه‌اند. ذرات کوچکتر به‌وسیلهٔ نیروهای سطحی نگه داشته می‌شوند و حدود ۲۰٪ امکان باقی ماندن دارند.

ید۱۳۱

دیگرآلایندهٔگیاهی ید ۱۳۱ است نیمه عمر ید رادیواکتیو یعنیI_{131}، کوتاه است(۸ روز) و به‌همین علت یک آلایندهٔ چندان مهم محسوب نمی‌شود.

جریان هوای اطراف در سطح پهن برگ و آیرودینامیک آن می‌باشد. بیشترین ترسیب I_{131} به‌این روش است اما بخارات ید ممکن است روی غبارات جذب شوند و سپس به‌همان صورت ذرات جامد عمل کنند[۱، ۲، ۴، ۱۳، ۱۸، ۱۹].

۲- جذب ریشه‌ای توسط گیاه

قسمت اعظم غذایی که توسط انسان مصرف می‌شود، مستقیم یا غیرمستقیم از خاک به‌دست می‌آید. بجز عناصری مانند کربن و اکسیژن که ممکن است از اتمسفر حاصل شوند، این خاک است که تغذیه‌کنندهٔ اصلی اکوسیستم زمینی که غذای انسان درآن رشد می‌کند، می‌باشد.

جدول ۳: ضرایب تصحیح در معادلهٔ فوق برای غلات، خوراک دام و علوفهٔ دامی

	a	b	c	D
ایزوتوپ‌های سزیم	−۰/۸۷	+۰/۰۳	−۰/۱۲	−۰/۰۲۷
استرانسیوم	−۰/۸۴	+۰/۰۵۷	−۰/۰۵۰	−۰/۰۰۶
پلوتونیوم	+۰/۰۵۸	+۰/۰۱۱	+۰/۲۴۰	−۰/۰۵۰
سیزیجات و خانوادهٔ سیب‌زمینی				
سزیم	−۰/۰۵۴	−۰/۰۲۴	−۰/۳۰	−۰/۱۰
استرانسیوم	−۰/۸۲	+۰/۲۰۱	−۰/۰۰۴	−۰/۰۱۸
پلوتونیوم	+۰/۳۳	+۰/۰۱۱	−۰/۱۵	−۰/۴۱

درتحقیقی، جذب رادیونوکلئیدها در گیاهانی مانند گیاهان برگ‌بیدی که درمعرض آلودگی هوا قرار دارند، کمتر از جذب برای گیاهانی بود که درمعرض مایعات و آب‌های مخلوط با گرد وغبارهای آلوده قرار داشتند.

دربررسی توانایی جذب آلودگی توسط گیاه با تعیین حجم آلودگی دردسترس توانایی جذب ریشه‌ای بیش از ته نشست مستقیم و یا پاشیدن باران و یا سوسپانسیون می‌باشد.

رادیو نوکلئیدهایی نظیر Ra_{226} , Po_{210} که به‌صورت طبیعی درخاک موجود می‌باشند، به‌شکل متابولیک وارد گیاهان شده و درنهایت وارد زنجیرهٔ غذایی انسان می‌شوند. رادیونوکلئیدهای مصنوعی نیز به‌روشی مشابه عمل می‌کنند.

آلودگی جهانی زنجیرهٔ غذایی به‌وسیلهٔ رادیونوکلئیدهای تولیدی دراثر تست سلاح‌های هسته‌ای با گذشت ده‌ها سال هنوز وجود دارد. انتقال این آلودگی‌ها به گیاه، با هر مکانیسمی که اتفاق افتد،

www.SID.ir

Archive of SID

بـه‌صـورت مسـتقیم و یـا جـذب متابولیکـی از گـیاه بـه جـانور مصرف‌کننده انتقال می‌یابند.

درجـذب ریشه‌ای ضریب انتقال مطرح است. ضریب انتقال استاندارد بیان‌گر میزان جذب رادیونوکلئید از خاک توسط گیاه است و به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

TFS = اکتیویته رادیونوکلئید درواحد وزن خاک (Bq/kg)/

اکتیویته رادیونوکلئید در واحد وزن محصول (Bq/kg)

جدول۴–رادیونوکلئید موردنظر

نوع خاک	نوع محصول	Cs ۱۳۷و۱۳۴	Sr ۹۰ و۸۹	Pu ۳۹
شنی	**علف**	۰/۰۴۱	۰/۰۸۶	$۴/۶\times۱۰^{-۵}$
–	**سبزیجات**	۰/۰۹۸	۰/۰۹۲	–
–	**غده‌ای**	۰/۰۲۸	۰/۰۵۵	$۱/۱\times۱۰^{-۳}$
–	**غلات و حبوبات**	۰/۰۱۶	۰/۰۹۰	$۵/۶\times۱۰^{-۵}$
لوم	**علف**	۰/۰۳۷	۱/۸	۳×۱۰^{-۵}
–	**سبزیجات**	۰/۰۷۳	۲/۲	–
–	**غده‌داران**	۰/۰۲۱	۰/۱۳	۳×۱۰^{-۴}
–	**غلات**	۰/۰۱۴	۰/۱۹	$۳/۷\times۱۰^{-۵}$
رس	**علف**	۰/۱۲	½	$۲/۱\times۱۰^{-۵}$
–	**سبزیجات**	۰/۰۴۸	۱/۱	–
–	**غده‌داران**	۰/۰۱۴	۰/۰۶۶	۲×۱۰^{-۱}
–	**غلات**	۰/۱۱۰	۰/۱۳	$۲/۶\times۱۰^{-۵}$

شـرایط اسـتاندارد یعنـی تا عمق ۱۰cm خاک علف‌زار و تا عمق cm ۲۰ خـاک گـیاهان زراعـی کـه مادهٔ آلی آن به‌ترتـیب ۱۰٪ و ۴٪ است، pH = ۶ و زمان آلودگی۲ سال.

رابطهٔ TFA واقعی و TFs به‌صورت زیر است:

TFA= TFs. Exp(pH-6)a.exp(OM-4or10). b..

exp(D-10 0r 20).c.exp(y-2)d

که در آن زمان آلودگی(سال) = y و عمق خاک (cm) = D

و

مادهٔ آلی = OM

a, b, c, d ضـرایب تصـحیح‌انـد که بستگی به رادیونوکلئید نوع گیاه زراعـی دارنـد. بعضـی از ضرایب تصحیح درجدول ۳ نشان داده شده است.

اعـدادی کـه مقادیـرTF بـه‌دسـت مـی‌دهـند بـر پایـهٔ وزن خشـک محصـولات مـی‌باشـد. امـا از آنجـا که محصولات به‌صورت تازه به بازارعرضه می‌شوند، وزن معمولی باید دخالت داده شود.

درجـذب از خـاک، عـلاوه‌بـر مـیزان تحـرک رادیونوکلئید درخـاک که وابسته به‌نوع خاک می‌باشد، میزان بارش و نیز واپاشی را نـیز بـاید مدنظـر قـرار داد. عمـق مناسب برای جذب رادیونوکلئیدها توسـط علوفـه ۱۰cm می‌باشد که برای گیاهان دیگر این عمق تغییر می‌کند.

تغییر مقدارجذب توسط گیاه، به‌صورت انتخابی

گـیاهان تقریـباً تمـام مـوادی را کـه درخاک به‌شکل محلول هستند، جـذب مـی‌کنـند. درمیان رادیونوکلئیدها سزیم ۱۳۷ و استرانسیوم ۹۰ بـه‌صـورت قابل ملاحظه‌ای توسط ریشهٔ گیاهان جذب می‌شوند. زیرا، این عناصر شباهت زیادی به ca و k دارند که درجریان فرآیند جذب گیاهی و درساختار گیاه معمول هستند.

یکـی از مهمتریـن ابزارها برای کاهش جذب آلودگی توسط محصـولات کشـاورزی ایـن اسـت کـه مـواد معدنی مغذی گیاه جهت رقابـت درجـذب رادیونوکلئـیدی دراختـیار گیاه قرار گیرد. با یک سری تحقـیقات مشخص شده است که پتاسیم دراین زمینه بالاترین بازدهی را دارد. اسـتفاده از نیـتروژن به‌صورت آمونیوم سولفات یا نیترات، تجمع سـزیم ۱۳۷ را درمحصول افزایش می‌دهد که گاهاً این افزایش به سه برابـر مـی‌رسد. بهترین نتیجه آن در استفاده از کودهای معدنی مخلوط یـا کمپلکس با مقدار متداول فسفر و پتاسیم(۲ تا ۳ برابر بیشتر از مقدار نیـتروژن) حاصل می‌شود. درتحقیقی در ایسلند، مشخص شده است که کمـبود پتاسـیم در خـاک جـذب سزیم ۱۳۷توسط گیاهان و جانوران را بیشـتر مـی‌کـند و اسـتفاده از کودهای پتاسیمی، باعث کاهش جذب و درنتـیجه عـدم تجمع بیولوژیک آن می‌شود. پتاسیم به‌صورت کود kcl

www.SID.ir

Archive of SID

مفیدتر است، به‌طوری‌که درآزمایشی ۲ برابر کردن مقدار پتاسیم باعث کاهش ۳ برابردر جذب Cs۱۳۷ شد. به‌طورکلی افزایش ایزوتوپ‌های طبیعی عناصر یا بعضی عناصر شیمیایی مشابه، می‌تواند انتقال بین خاک و گیاه را کاهش دهد. pH نیز در این زمینه مؤثر است. جذب استرانسیوم ۹۰ با افزایشpH کاهش می‌یابد. افزایش نمک‌های کلسیم همچنین استفاده از نمک‌های سزیم طبیعی درمیزان کاهش جذب استرانسیوم ۹۰ به‌دلیل افزایش pH مؤثرند.

درجذب ریشه‌ای گیاه عموماً مقدار کل رادیواکتیویتهٔ موجود درخاک مطرح است.

ضریب انتقال بین خاک و گیاه

این ضریب به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

Tc(m2/kg)= (Bq/ kg) میزان عنصر درگیاه / (Bq/m2) میزان عنصر در خاک

نوسانات موجود درمیزان جذب گیاهی ، دراثر تفاوت بین خاک‌ها و محیط‌های طبیعی مختلف و نیزنوع گیاه است. برای این‌که مقایسه‌ای درمورد فاکتورهای انتقال درخاک و گیاه بشود، تحقیقات زیادی انجام شده و نتایج زیرحاصل شده که جالب توجه است. فاکتور انتقال برای خاک‌های نرم ۰/۲۵ m2/kg برای خاک‌های آلی ۰/۲۷ m2/kg. است. نیز برای گندم ۰/۰۷ m2/kg ـ ۰/۰۰۵ و برای علوفه ۰/۲۹ m2/kg ـ ۰/۰۱ می‌باشد.

تأثیر پذیری گیاه از آب آلوده

علاوه بر این‌که آلودگی رادیواکتیو به‌وسیلهٔ خاک آلوده و یا جذب مستقیم به گیاه منتقل می‌شود، آب آلوده نیز خود یک منبع مهم آلودگی می‌باشد که قابلیت انتقال آن‌را به گیاه دارد. این گزینه به‌عنوان یکی از فاکتورهای محلی تأثیر گذار درآلودگی گیاهی، مطرح است. به‌عنوان مثال یکی از این فاکتورهای محلی تأثیرگذار آب رودخانه است. چنان‌که مثلاً آب آلودهٔ رودخانهٔ کلمبیا در هانفورد منجر به آلودگی Zn_{65} درمحصولات کشاورزی گردید. بنابراین آبی که برای آبیاری گیاهان استفاده می‌شود چه به‌روش آبیاری مصنوعی یا آبیاری با آب رودخانه درآلوده‌کردن گیاه و محصول گیاهی نقش دارد که نباید از نظر دور نگه داشته شود[۱، ۲، ۴، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۱۹].

نتیجه‌گیری

درجریان یک انفجار یا حملهٔ هسته‌ای رادیونوکلئیدهای زیادی تولید می‌شوند. یک سری از آنها که در محیط پخش می‌شوند، توسط گیاهان قابل جذب می‌باشند. درمیان آنها، رادیونوکلئیدهایی که نیمه عمری متوسط به‌بالا داشته و مدت زمان بیشتری در محیط باقی می‌مانند یا با عناصر مورد نیاز گیاه تشابه دارند، یا سرعت جذب آنها توسط گیاهان زیاد است، درآلودگی منابع گیاهی اهمیت بیشتری دارند. مهمترین آنها I131, Sr90، Cs137 می‌باشند. حال با شناخت مکانیسم‌های جذب گیاهی این عناصر و فاکتورهای دخیل درآنها می‌توان به‌شکل کامل‌تری به آلودگی رادیواکتیوی گیاهان پرداخت و به‌این وسیله آن‌را تحت کنترل درآورده و یا اثرات منفی مربوطه را کاهش داد. علاوه برآن شناخت کمی وکیفی این فاکتورها درمجموع به مردم به‌طوراعم و به ارگان‌ها و سازمان‌های مسئول وتصمیم‌گیرنده به‌طوراخص، این توانایی را می‌دهدکه درجریان یک جنگ هسته‌ای استراتژی خود را در قبال منابع گیاهی آلوده که تأثیر زیادی درجوانب مختلف زندگی انسان دارند، تعیین کنند و درکوتاه مدت وبلند مدت نحوهٔ استفاده از این منابع را مشخص نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1- Eisenbud Merril(1987). Environmental radioactivity, 3th. API, New York, P. 89 – 113, 285 - 317

2- Winteringham FPW(1989). Radioactive fallout in soils,crops and food." IAEA , FAO, P. 2.1 – 2.5.

3- IAEA(1986). Summary report on the post – Accident review meeting on the chernobyl accident..Safety Series. No.75-INSAG:1.

4- NEA AEN(1995). Chernobyl ten years on. by OECD NEA, P. 18 - 25.and 47 - 52.

5-Liaurado M, Vidal M, Rauret G(1994). Radiocaesium behaviour in mediteranian conditions. J Env Rad; 23: 81 - 100.

6- Povinec P, Shudy M, Sykora I(1990). Radioactivity in slovakia after the chernobyl accident Acta physica univ. comen XXX, P. 45 - 62.

7- Cebulska Antonina, Wasilewsk A(1992). Tradescantia stamen-hair mutation bioassay. on the mutagenicity of radioisotope-contaminated air fallowing Mutation Research; 270: 23 - 29.

8-Hutchinson D(1976). Radioecology and energy resources Ross,Inc The ecological society of america. P.10.

9-Gunnerod TB, Blakan I(1989). Fresh water and alpine ecosystems response to chernobyl fallout in Norway. IAEA, SM, P. 306: 41.

10-Aycik GA, Golge T(1989). Studies of I - 131, Cs - 137, Cs - 134 in air,milk,water in Ankara following the chernobyl accident. IAEA-SM, P. 306: 25.

11-Kushar VP, Baryakhtar VG(1994).The chernobyl catastrophe and its environmental consequences Chemistry for sustainable development; P. 357 - 366.

12-Donaldson LR, Enymour AH(1997). University of washington radiecological studies in the marshal island,1946-1977 .Health Phys; 73(1): 214 - 222.

13-Jacob P, Muller H, Prohl G(1993). Environmental behavior of radionuclides deposited after the reactor accident of chernobyl and related exposures. Radiat.Environ.Biophys; 32: 193 - 207.

14-Walker RB, Gessel SB(1997). The ecosystem study on Rongelap Atoll. Health Phys;73(1): 223 - 233.

15-Bretten S, Gaare E, Skogland T(1992) Investigations of radiocaesium in the natural terrestrial environment in Norway following the chernobyl accident. Analyst; 117: 501- 503.

16- Naught lw(1966). Nuclear weapons and their effects.

17-Selnaes TD, Strand Per(1992). Comparison of the uptake of radiocaesium from soil to grass after nuclear weapons tests and the chernobyl accident. Analyst; 117: 493 - 495.

18-Prister ES, Tkachenko NV(1994). Radioactive contamination of forest ecoystems and its contribution to the radiation situation in Kief in 1986. The Science of The Total Environment; 157: 333 - 338.

19- University of Aston in Birmingham(1972). Isotopes and radiation in biology. The department of biological sciences, P. 72.

20-Matsuoka N, Okamura M(1992). Study of the environmental behavior of chernobyl, derived radionuclides in Kushu Island.Japan Appl Radiat Isot; 43(5): 651 - 657.

21-Cooper EL(1992). Radioactivity in food and total diet samples collected in selected settlements in the USSR. J Env Rad; 17: 147 - 157.

22- Saxen P, Pantavaara A(1984). Environmental radioactivity in finland after the chernobyl accident. IAEA – SM, P. 306.

23-Lew HW(1996). Radioactive deposition in europe after the chernobyl accident and its long-term consequences: Ecol Res; 201 - 216.

24-Bagsal Arif, Yazici K(1995). Radioactive contamination in lichens collected from Akcaabat and Camlihemsin in the eastern blacksea Toxicological and Environmental Chemistry; 48: 145 - 148.

25-Glasstone S, Dolan PJ(1977). The effects of nuclear weapons. 3th. USDOE, P. 197.

www.SID.ir