جذب فلوراید توسط اسفناج و یونجه در یک خاک آهکی

الهام چاوشی[۱*]، مجید افیونی[۲] و محمدعلی حاج عباسی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸)

چکیده

فلوراید برای انسان و حیوانات یک عنصر ضروری محسوب می‌شود. در حیوانات نیز همانند انسان مصرف مقادیر زیاد فلوراید اثرات زیانباری را به همراه دارد. با توجه به اهمیت فلوراید در سلامت انسان و دام، جذب فلوراید از خاک توسط اسفناج *(Spinacia oleracea)*که یکی از سبزیجات مورد استفاده انسان است و به‌عنوان یک انباشتگر برای فلوراید شناخته شده است و یونجه*(Medicago sativa)* که یکی از علوفه‌های مورد نیاز دام‌ها می‌باشد، بررسی شد. دو گیاه در لایسیمترهایی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان کاشته شد. دو سطح گیاه (اسفناج و یونجه) و سه‌سطح غلظت فلوراید (صفر، ۳۱۸ و ۶۳۵ $mg\ kg^{-1}$) با سه تکرار درنظر گرفته شد.گیاهان ۱۲۵ روز بعد از شروع آزمایش، برداشت شدند و غلظت فلوراید آنها تعیین شد. نتایج نشان داد که غلظت فلوراید در ریشه به‌صورت معنی‌داری بیشتر از اندام هوائی بود. غلظت فلوراید در ریشه اسفناج ۲ تا ۲/۵ برابر غلظت فلوراید در ریشه یونجه بود. به‌طورکلی ضرایب انتقال فلوراید از خاک به ریشه و اندام هوائی اسفناج و یونجه بسیار پائین بود. این موضوع نشان می‌دهد که این دو گیاه فلوراید زیادی را از طریق خاک جذب نمی‌کنند.

واژه‌های کلیدی: فلوراید، اسفناج، یونجه، ضریب انتقال

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: chavoshie@yahoo.com

مقدمه

فلوراید در خاک، آب و گیاه وجود دارد. منبع اصلی جذب فلوراید توسط انسان که باعث ایجاد بیماری فلوروسیس می‌شود، آب آشامیدنی است اما برخی از مواد غذائی نیز مشارکت معنی‌داری در جذب فلوراید به بدن انسان دارند (۱۹). فلوراید برای گیاهان عنصری ضروری نیست اما برای انسان و حیوانات یک عنصر ضروری محسوب می‌شود. در حیوانات نیز همانند انسان مصرف مقادیر زیاد فلوراید باعث بروز بیماری فلوروسیس می‌شود و اثرات زیانباری را به‌همراه دارد (۱۸). برای تعیین سطح مناسب غلظت فلوراید در آب، خاک، هوا و گیاه نیاز به دانستن حد مناسب و مورد نیاز برای جانداران است (۱۲). سازمان بهداشت جهانی (۲۴) بیشینه مجاز فلوراید در آب آشامیدنی را ۱/۵ $mg\ L^{-1}$ تعریف کرده است. اما برای غلظت فلوراید در خاک و گیاهان هیچ استاندارد مشخصی تعیین نشده است که بالاتر از آن برای سلامت انسان زیانبار باشد.

از دیگر منابع فلوراید پخشیدگی آن به‌صورت گاز است که از فعالیت برخی صنایع نظیر کارخانه‌های ذوب آلومینیوم، صنایع تولید فولاد و کوره‌های آجرپزی تولید شده و باعث ایجاد اثرهای سمی در گیاهان می‌شود (۲۳،۴). گیاهان می‌توانند فلوراید را از خاک‌های آلوده نیز جذب کنند (۱). فلوراید جذب شده به اندام هوائی منتقل شده و بسته به غلظت آن باعث آسیب فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و ساختاری و حتی مرگ سلول می‌شود (۱۳). در خاک‌های غیر آلوده، غلظت فلوراید در بافت‌های گیاه کمتر از ۳۰ میلی‌گرم برکیلوگرم ماده خشک می‌باشد (۱۱). اما گیاهان در خاک‌های آلوده فلوراید را جذب کرده و در خود انباشته می‌کنند. برخی از گیاهان حتی در غلظت‌های بالای فلوراید (تا ۴۰۰۰ $mgF\ kg^{-1}$) نشانه‌های سمیت را نشان نمی‌دهند. اما سایر گیاهان نشانه‌های سمیت را در غلظت‌های پائین‌تر فلوراید نشان می‌دهند. برخی از گونه‌های گیاهان نیز حتی به غلظت‌های کمتر از ۲۰ $mgF\ kg^{-1}$ حساس می‌باشند (۱۵).

غلظت فلوراید در گیاهان به چند دلیل مورد بررسی قرار می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تعیین غلظت فلوراید در هوا(۷)
- ارزیابی خطر ناشی از غلظت‌های بالای فلوراید در گیاهان، برای حیوانات چراکننده(۱۴)
- ارزیابی خطر ناشی از غلظت‌های بالای فلوراید در گیاهان، برای انسان(۱۶)

جذب زیاد فلوراید در دام‌ها باعث بروز بیماری فلوروسیس می‌گردد (۱۴ و ۲۱). جذب بیش از حد فلوراید در دام‌ها علاوه بر ضایعات دندان و استخوان، تولید شیر و سایر محصولات را به شدت کاهش داده و عواقب زیانبار اقتصادی را به همراه دارد (۱۴). همچنین فلوراید از طریق مصرف انواع غذاها، سبزیجات و نوشیدنی‌ها جذب بدن انسان می‌گردد. نخستین گام در بررسی جذب فلوراید از طریق رژیم غذایی، تعیین غلظت آن در مواد غذایی مختلف است.

با توجه به اهمیت فلوراید در سلامت انسان و ورود آن به بدن از طریق مصرف مواد غذایی، در این مطالعه میزان جذب فلوراید در اسفناج که یکی از سبزیجات مورد استفاده انسان است، اندازه‌گیری شد. اسفناج به‌عنوان یک انباشت‌گر برای فلوراید شناخته شده است و توانایی جذب مقادیر بالای فلوراید را دارا می‌باشد (۹). از طرف دیگر به‌دلیل اهمیت فلوراید در سلامت دام، جذب فلوراید از خاک توسط گیاه یونجه با توجه به این‌که این گیاه یکی از علوفه‌های مورد نیاز دام‌ها می‌باشد، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش نمونه‌های گیاه در لایسیمترهایی با ابعاد ۱×۱×۱ مترمکعب در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (لورک)، کاشته شد. برای ساخت لایسیمترها ابتدا لایه‌هایی از خاک مزرعه برداشته شد. پس از نصب لایسیمترها ابتدا لایه‌ای از شن برای سهولت زهکشی در کف لایسیمترها ریخته شد و سپس لایه‌های خاک به‌همان ترتیب اولیه در لایسیمترها ریخته شد. بعد از نصب در طول سه

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های خاک مطالعاتی واقع در مزرعه لورک

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد ماده آلی	$pH_{(۱:۵)}$	$EC_{(۱:۵)}$ (dSm^{-1})
۰-۳۰	Si C L	۱۵	۴۸/۳	۰/۷	۸/۲	۰/۲۰
۳۰-۶۰	Si C L	۱۸	۴۳/۰	۰/۶	۸/۳	۰/۱۶

Si C L: silty clay loam

ماه آبیاری انجام شد تا خاک در اثر فرآیندهای تر و خشک شدن به حالت اول برگردد. سه ماه پس از نصب لایسیمترها تیمارها اعمال گردید. ویژگی‌های اولیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

ابتدا دو گیاه اسفناج و یونجه کشت شد. در هر لایسیمتر تعداد ۱۶ عدد گیاه نگهداشته شد. سپس فلوراید به‌صورت نمک فلوراید سدیم به خاک افزوده شد. بدین‌صورت که فلوراید سدیم در آب مقطر حل شد و روی سطح خاک اسپری شد. برای جلوگیری از اشباع شدن خاک سطحی، اسپری کردن در سه روز متوالی انجام شد. تیمار شاهد (بدون افزودن نمک فلوراید سدیم) نیز برای هر دو گیاه درنظر گرفته شد. آبیاری با استفاده از آب مزرعه با میزان فلوراید $۰/۳\ mg\ L^{-1}$ انجام شد. مقدار آبیاری با محاسبه تبخیر و تعرق روزانه و با درنظرگرفتن کارایی آبیاری معادل ۰/۸۵ تعیین شد.

گیاهان ۱۲۵ روز بعد از شروع آزمایش، برداشت شدند و بعد از انتقال به آزمایشگاه با آب مقطر شسته شدند. بخش ریشه و اندام هوایی آنها جدا شد و به‌مدت دو روز در دمای ۶۵ درجه سلسیوس خشک شده و سپس توزین شدند. درنهایت گیاهان آسیاب شدند. برای تعیین غلظت فلوراید، نمونه‌های گیاه با استفاده از روش هیدروکسید سدیم (۵) هضم شد. بدین‌صورت که ۵ گرم از گیاه خشک شده را در کروزه نیکل ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر سود ۱۰ نرمال به آن اضافه گردید. نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس خشک گردیده و سپس به‌مدت ۱۸ ساعت در دمای ۴۷۵ درجه سلسیوس در کوره هضم گردید. بعد از خروج از کوره، خاکستر تولید شده در آب داغ حل شده و بعد از عبور از کاغذ صافی واتمن ۴۲، ۱۸ میلی‌لیتر اسید کلریدریک و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول بافرسیترات به آن اضافه گردید تا pH محلول به ۶ برسد. در نهایت حجم محلول را به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده و پس از ترکیب شدن با نسبت ۱:۱ با تیزاب (Total ionic strength adjusting buffer)، با استفاده از الکترود فلوراید (متر اهم ای جی، سوئیس) و الکترود رفرنس، میزان فلوراید آن تعیین گردید.

عامل انتقال

انتقال عناصر از خاک به گیاهان یکی از مسیرهای ورود آنها به چرخه غذایی است. بنابراین از ضرایب انتقال خاک به ریشه و خاک به ساقه به‌منظور مقایسه پتانسیل خاک در نگهداری فلوراید و جلوگیری از آزادسازی و ورود آن به گیاه استفاده شد. این ضرایب عبارتند از:

$$RCF=C_{root}/C_{soil} \quad [۱]$$

$$SCF=C_{shoot}/C_{soil} \quad [۲]$$

که در آن، RCF (Root Concentration Factor) و SCF (Shoot Concentration Factor) به‌ترتیب ضرایب انتقال از خاک به ریشه و از خاک به اندام هوایی می‌باشند. C_{root} ، C_{shoot} و C_{soil} به‌ترتیب غلظت فلوراید در ریشه، اندام هوایی گیاه و خاک هستند.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

طرح آماری مورد استفاده، طرح کاملاً تصادفی با تکرارهای نامساوی بود. در برخی موارد به‌دلیل در اختیار نبودن مواد آزمایشی کافی، امکان داشتن تعداد تکرار برابر برای همه

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل و بعد از افزودن نمک سدیم فلوراید به خاک

عمق خاک (cm)	$pH_{(1:5)}$	$EC(ds/m)_{(1:5)}$	Na(meq/l)	$pH_{(1:5)}$	$EC(ds/m)_{(1:5)}$	Na(meq/l)
	قبل از افزودن سدیم فلوراید			بعد از افزودن سدیم فلوراید		
۰–۱۰	۸	۰/۲۱	۱/۵۴	۸/۵	۰/۸۷	۱۰/۴۵
۱۰–۲۰	۸/۲	۰/۲	۱/۴۵	۸/۴	۰/۳۰	۴/۵۹
۲۰–۳۰	۸/۳	۰/۱۹	۱/۳۶	۸/۳	۰/۲۹	۲/۱۸
۳۰–۴۰	۸/۴	۰/۱۶	۱/۳۲	۸/۴	۰/۲۹	۱/۷۹
۴۰–۵۰	۸/۱	۰/۱۶	۱/۰۵	۸/۱	۰/۲۷	۱/۵۷
۵۰–۶۰	۸/۳	۰/۱۸	۱/۱۴	۸/۳	۰/۲۱	۱/۵۷
۶۰–۷۰	۸	۰/۲۳	۱/۳۶	۸/۲	۰/۲۵	۱/۴۴
۷۰–۸۰	۷/۹	۰/۲۷	۱/۱۹	۸/۲	۰/۲۱	۱/۴۴
۸۰–۹۰	۸/۱	۰/۲۴	۱/۰۱	۸/۱	۰/۲۱	۱/۴
۹۰–۱۰۰	۸/۱	۰/۲۷	۱/۱۹	۸/۱	۰/۲۱	۱/۴

تیمارها وجود ندارد. پس طرح به‌صورت نامتعادل اجرا می‌شود. در این پژوهش نیز به‌دلیل محدودیت در تعداد لایسیمترها و هزینه بالای لایسیمترها، از تکرار نامساوی استفاده شد.

دو سطح گیاه (اسفناج و یونجه)، سه سطح غلظت فلوراید (صفر، ۳۱۸، ۶۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) با سه تکرار درنظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با کمک نرم‌افزار SPSS 16 (۱۷) انجام گرفت و تفاوت میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD ($P<۰/۰۵$) مشخص شد.

نتایج و بحث

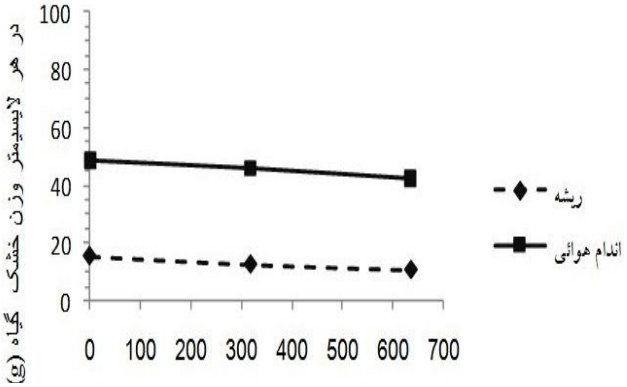
برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل و بعد از افزودن نمک سدیم فلوراید به خاک

برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه گردیده است. بیشترین میزان تغییرات مربوط به کاتیون سدیم است که ۱۲۰/۷ درصد افزایش یافته است که علت آن هم افزودن فلوراید به‌صورت نمک سدیم فلوراید به خاک است. بعد از آن هدایت الکتریکی و pH به‌ترتیب ۵۱ و ۱/۵ درصد افزایش یافته‌اند.

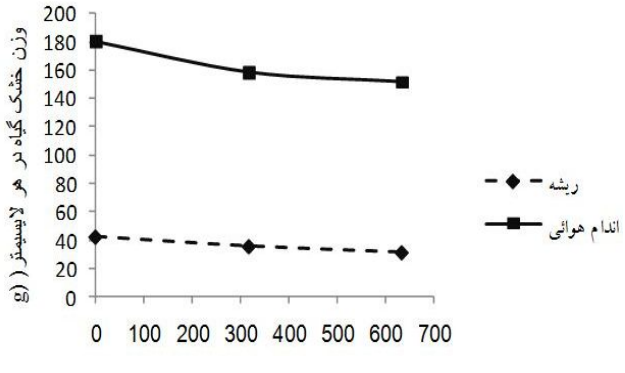
عملکرد زیست‌توده

با افزودن $mg\ kg^{-1}$ ۳۱۸ فلوراید به خاک، نشانه‌های مشخصی از سمیت در دو گیاه اسفناج و یونجه مشاهده نگردید، اگرچه کاهش رشد مشاهده شد. وزن خشک ریشه یونجه ۱۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت. افزودن $mg\ kg^{-1}$ ۶۳۵ فلوراید به خاک نیز کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی اسفناج و یونجه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌همراه داشت. وزن خشک ریشه و اندام هوایی در گیاه یونجه به‌ترتیب ۲۳ و ۱۵ درصد و در گیاه اسفناج به‌ترتیب ۳۱ و ۱۲ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل‌های ۱ و ۲).

جها و همکاران نیز در یک پژوهش کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام هوائی اسفناج را در تیمارهایی که غلظت‌های ۲۷۰ و $mg\ kg^{-1}$ ۳۶۰ فلوراید اعمال شده بود، مشاهده نمودند (۹). این پژوهشگران در پژوهش دیگری (۱۰)



شکل۱. وزن خشک ریشه و شاخسار اسفناج در غلظت‌های صفر، ۳۱۸ و ۶۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید

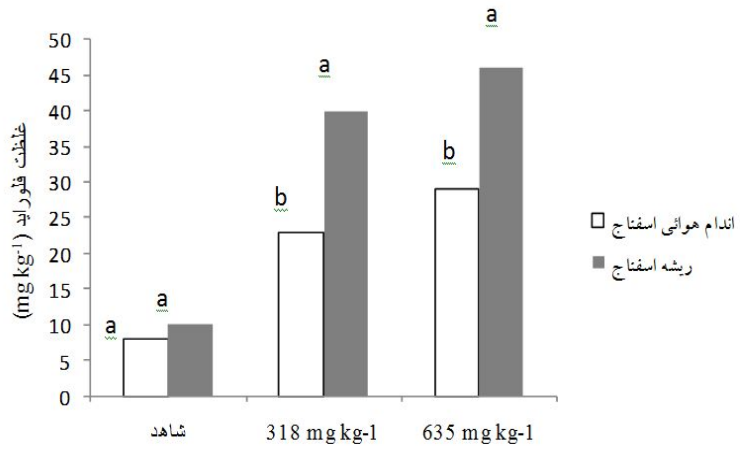


شکل۲. وزن خشک ریشه و شاخسار یونجه در غلظت‌های صفر، ۳۱۸ و ۶۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید

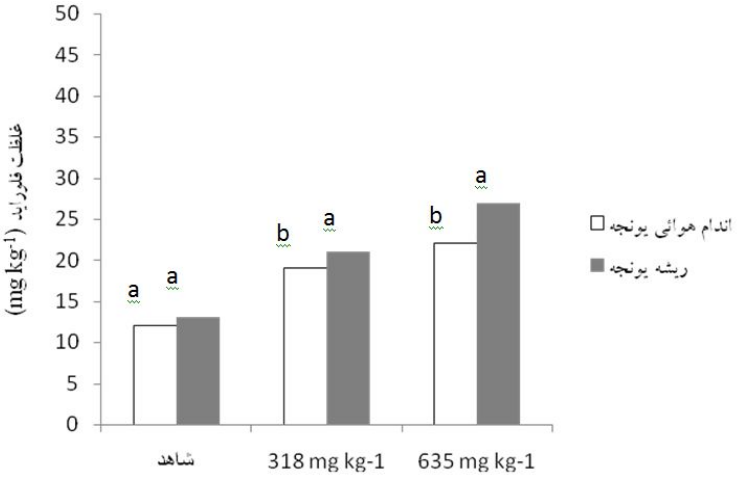
کاهش معنی‌دار زیست‌توده ریشه و اندام هوایی پیاز را در تیمارهایی که غلظت‌های ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰mg kg^{-1} فلوراید اعمال شده بود، مشاهده نمودند. استون و همکاران در مطالعه‌ای روی جو دوسر، تفاوت معنی‌داری در وزن خشک ریشه و اندام هوایی این گیاه در اثر افزودن فلوراید به محیط کشت، مشاهده نکردند. این محققان پیشنهاد کردند که جو دوسر قادر به تحمل مقادیر زیاد فلوراید در محلول خاک به‌واسطه جلوگیری از ورود فلوراید به ریشه یا سم‌زدایی در سطح سلولی در گیاه می‌باشد (۱۹).

در گیاه یونجه در تیمار ۶۳۵ mg kg^{-1} نشانه سمیت در تعدادی از برگ‌ها مشاهده شد. این نشانه شامل تغییر رنگ حاشیه‌های برگ به رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای بود. به‌عبارت دیگر نکروز در نوک و حاشیه برگ‌های پایینی مشاهده گردید. دلیل این نکروز انتقال فلوراید توسط آب و از طریق آوندهای چوبی به برگ‌ها می‌باشد. فلوراید در برگ‌ها در محل‌هایی که بیشترین میزان تعرق و در نتیجه انباشتگی انجام می‌شود، تجمع یافته و نشانه‌های آسیب‌دیدگی در این مکان‌ها مشاهده می‌گردد. آرنسن (۱) در پژوهشی روی شبدر سفید نشانه‌های سمیت ناشی از فلوراید را در غلظت ۲۰۰mg kg^{-1} فلوراید اضافه شده به خاک، در برگ‌های این گیاه مشاهده نمود. آرنسن همچنین بیان داشت که در غلظت‌های بیشتر از ۴۰۰ میلی‌گرم فلوراید بر کیلوگرم، نشانه‌های سمیت در تمام گیاهان مشاهده می‌گردد.

از طرف دیگر با وجود آبیاری پیوسته، در گیاه یونجه خشکیدگی عمومی مشاهده گردید. این خشکیدگی ممکن است در اثر آسیب احتمالی بافت‌های آوندی و اثر بازدارنده بر انتقال آب باشد. افزایش غلظت فلوراید باعث آسیب رساندن به متابولیسم گیاه می‌شود و خشکیدگی احتمالی گیاه را به همراه دارد (۲۲). علت دیگر خشکیدگی گیاه ممکن است آسیب دیدن غشای سلولی و از دست رفتن نفوذپذیری انتخابی سلول‌ها باشد (۱۹). استون و همکاران (۱۹) در مطالعه‌ای خشکیدگی بوته‌های گوجه‌فرنگی و جو دوسر تیمار شده با سدیم فلوراید را گزارش کردند و با مطالعه برروی این گیاهان، آسیب دیدگی غشای سلولی و از دست رفتن نفوذپذیری انتخابی آنها را دلیل این خشکیدگی گزارش نمودند. فورنزیرو (۶) علت خشکیدگی گیاه *H. perforatum* تیمار شده با فلوراید را، ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه و آسیب دیدگی غشای سلولی بیان نموده است. از طرف دیگر این پژوهشگر معتقد است که فلورین با منیزیم گیاه پیوند تشکیل داده و به‌صورت کمپلکس در می‌آید. این کمپلکس‌ها با عنوان ترکیبات "فلور- فلز" شناخته شده‌اند. این ترکیبات بر متابولیسم گیاه اثر گذاشته و باعث ایجاد اختلالاتی در تولید رنگدانه‌ها به‌ویژه کلروفیل می‌گردند. در گیاه



شکل ۳. غلظت فلوراید در بخش ریشه و اندام هوایی اسفناج در غلظت‌های صفر، ۳۱۸ و ۶۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید



شکل ۴. غلظت فلوراید در بخش ریشه و اندام هوایی یونجه در غلظت‌های صفر، ۳۱۸ و ۶۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید

H. perforatum نیز که توسط این پژوهشگر مورد بررسی قرار گرفته است، بافت‌های بیرنگی در برخی نواحی برگ‌ها مشاهده شده است که علت آن کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل گزارش شده است.

اسفناج برخلاف یونجه علائم سمیت را نشان نداد. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد اسفناج به‌عنوان یک انباشت‌گر برای فلوراید شناخته شده است (۱۵). اسفناج توانائی تحمل در برابر سطوح بالای فلوراید اضافه شده به خاک را به‌واسطه راه ندادن فلوراید به ریشه یا سمیت زدایی فلوراید در سطح سلولی دارا می‌باشد. این نتیجه با نتایج بررسی جها و همکاران (۹) همخوانی دارد.

غلظت فلوراید در ریشه و اندام هوایی گیاه

غلظت فلوراید در ریشه و اندام هوایی دو گیاه اسفناج و یونجه تحت سه تیمار صفر، ۳۱۸ و ۶۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید در شکل‌های۳ و ۴ ارائه گردیده است. در هر دو گیاه و هردو تیمار (۳۱۸ و $^{-1}$۶۳۵ mg kg)، غلظت فلوراید در بخش ریشه به‌طور معنی‌دار (سطح ۵ درصد) بیشتر از اندام هوائی بود. دلیل

جدول۳. ضریب انتقال فلوراید از خاک به گیاهان اسفناج و یونجه

گیاه	غلظت فلوراید مصرفی ($mg\ kg^{-1}$)	RCF	SCF	RCF+SCF
اسفناج	صفر	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۲
	۳۱۸	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۳۳
	۶۳۵	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۲۹
یونجه	صفر	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۷
	۳۱۸	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۲۳
	۶۳۵	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۲۵

این پدیده ممکن است در اثر افزایش بیشتر زیست توده اندام هوایی در مقایسه با ریشه و در نتیجه رقیق‌سازی فلوراید در اندام هوایی گیاه باشد. نفوذپذیری پایین فلوراید از طریق اندودرم و محدود شدن حرکت فلوراید از ریشه به اندام هوایی می‌تواند دلیل دیگر این پدیده باشد (۹).

با افزودن غلظت ۳۱۸ $mg\ kg^{-1}$ فلوراید به خاک، غلظت فلوراید در بخش اندام هوایی اسفناج و یونجه به‌ترتیب ۱۸۷ و ۸۳ درصد و در بخش ریشه به‌ترتیب ۳۰۰ و ۷۶ درصد افزایش یافت. همچنین با افزودن ۶۳۵ میلی‌گرم فلوراید به کیلوگرم خاک، غلظت فلوراید در بخش اندام هوایی اسفناج و یونجه به‌ترتیب ۲۶۲ و ۱۰۸ درصد و در بخش ریشه به‌ترتیب ۳۶۰ و ۱۲۳ درصد افزایش نشان داد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اسفناج در مقایسه با یونجه فلوراید بیشتری را از طریق خاک جذب نموده است. غلظت فلوراید در بخش اندام هوایی اسفناج در دو تیمار اعمال شده حدود ۱/۳ برابر غلظت فلوراید در اندام هوایی یونجه بود. همچنین غلظت فلوراید در ریشه اسفناج در دو تیمار اعمال شده ۱/۷ تا ۲ برابر غلظت فلوراید در ریشه یونجه بود. بر اساس گزارش گاربر، با افزودن ۶۰۰ $mg\ kg^{-1}$ ۳۰۰ فلوراید به خاک، غلظت فلوراید در اسفناج ۶۷۵-۱۹۰ درصد افزایش یافت (۸).

بروئر با مطالعه روی گیاه یونجه دریافت که غلظت فلوراید در برگ‌های این گیاه در دو مزرعه‌ای که در مناطق غیرصنعتی و صنعتی قرار داشتند، به‌ترتیب ۹-۳ و ۵۲-۱۳ $mg\ kg^{-1}$ بود (۲). دینز و همکاران غلظت فلوراید در برگ‌های اسفناج در خاکی که تحت تیمار فلوراید سدیم قرار داشت را ۴۹ $mg\ kg^{-1}$ گزارش کرد. این پژوهشگر نشانه‌های سمیت در اسفناج را زمانی مشاهده کرد که غلظت فلوراید در برگ اسفناج به ۸۰۰-۸۵۷ $mg\ kg^{-1}$ رسید (۳). در میان تعداد زیادی از گیاهان مطالعه شده، بالاترین آستانه تحمل به فلوراید در اسفناج مشاهده شد. برای نمونه علائم سمیت در برگ‌های درخت آلو، درخت کاج و صنوبر، درخت هلو و فلفل زمانی مشاهده شد که غلظت فلوراید در برگ‌های این گیاهان به‌ترتیب به ۱۷-۲/۲، ۲۰-۱۵، ۵۰-۳۰ و ۱۴۹-۱۳۶ $mg\ kg^{-1}$ رسید (۳،۲).

ضرایب انتقال فلوراید

به‌منظور مقایسه پتانسیل نگهداری فلوراید در خاک در حضور گیاه و تخمین قابلیت جذب فلوراید توسط گیاهان از خاک از ضرایب انتقال خاک به گیاه (RCF و SCF) استفاده شد. ضرایب انتقال خاک به ریشه (RCF) و خاک به ساقه (SCF) در جدول ۳ ارائه شده است. ضریب انتقال فلوراید از خاک به ریشه و اندام هوایی دو گیاه اسفناج و یونجه در تیماری که فلوراید به خاک اضافه نشده است، به نسبت یکسان بود. ضریب انتقال فلوراید از خاک به اندام هوائی این گیاهان در دو تیمار ۳۱۸ و ۶۳۵ $mg\ kg^{-1}$ فاقد تفاوت معنی‌دار بود اما ضریب انتقال فلوراید

بـه ریشـه اسـفناج در دو تیمـار ۳۱۸ و ۶۳۵ $mg\ kg^{-1}$ بـه‌طـور معنی‌داری بیشتر از ضریب انتقـال فلوراید از خـاک بـه ریشـه یونجه بود. به‌طورکلی ضرایب انتقال فلوراید از خاک به ریشه و اندام هوائی گیاهان بسـیار پـائین بـود و نشـان داد کـه گیاهـان فلوراید زیادی را از طریق خاک جذب نکردند. در مورد جـذب از طریق خاک، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار حلالیـت کـم فلوراید خاک است که عامل مهمـی در کـاهش جـذب فلوراید توسـط گیاهان می‌باشد. از طرف دیگر استون و همکاران بیان داشتند که گونه‌هایی از فلوراید که محلول‌تر هستند، بیشتر توسـط گیاهـان جذب می‌شوند. اما گونه آنیونی F^- که در pH بالاتر از ۶ غالـب است، کمتر توسط گیاهان جـذب مـی‌شـود. دلیـل سـوم بـرای محدود شدن حرکت فلوراید ریشه گیاه این است که دیواره‌های سلولی بارهای ثابت منفی دارند کـه مـانع از ورود یـون‌هـای F^- می‌شوند (۲۰).

نتیجه‌گیری

غلظت فلوراید در ریشه به‌صورت معنی‌داری (سطح ۵ درصـد) بیشتر از اندام هوائی بود. نفوذپـذیری پـایین فلوراید از طریـق اندودرم و محدود شدن حرکت فلوراید از سمت ریشه به انـدام هوایی می‌تواند دلیل این پدیده باشد. از طرف دیگر، اسـفناج در مقایسه با یونجه فلوراید بیشتری را از طریق خاک جذب نمـود. غلظت فلوراید در اندام هوایی اسفناج در دو تیمار اعمـال شـده حدود ۱/۵ برابر غلظت فلوراید در انـدام هـوائی یونجـه بـود. همچنین غلظت فلوراید در ریشـه اسـفناج در دو تیمـار اعمـال شده ۲ تا ۲/۵ برابر غلظت فلوراید در ریشـه یونجـه بـود. نکتـه مهم دیگر این است که اگرچه ضرایب انتقال فلوراید از خاک به ریشه اسفناج بیشتر از ریشه یونجه است، اما به‌طورکلی ضرایب انتقال فلوراید از خاک به ریشه و اندام هوائی این گیاهان بسـیار پائین است. این موضوع نشان می‌دهد که ایـن دو گیـاه فلوراید زیادی را از طریق خاک جذب نمی‌کنند. علت ایـن پدیـده (۱). حلالیت کم فلوراید خـاک اسـت کـه عامـل مهمـی در کـاهش جذب فلوراید توسط گیاهان مـی‌باشـد (۲). در pH بـالاتر از ۶ گونه آنیونی F^- غالـب اسـت کـه کمتـر توسـط گیاهـان جـذب می‌شود (۳). دیواره‌های سلولی بارهای ثابت منفی دارند که مانع از ورود یون‌های F^- به گیاه می‌شوند.

منابع مورد استفاده

1. Arnesen, A. K. M. 1997. Availability of fluoride to plants grown in contaminated soils. Plant Soil. 191: 13-25.
2. Brewer, R. F., R. K. Creveling., F. B. Guillemet and F. H. Sutherland. 1960. The effects of hydrogen fluoride on seven citrus varieties. Proc. Am. SoC. Hortic. Sci. 75: 236–243.
3. Daines, R. H., I. Leone and E. Brennan. 1952. The Effect of Fluorine on Plants as Determined by Soil Nutrition and Fumigation Studies. PP. 97–105. *In*: McCabe, L.C. (Ed.), Air Pollution, McGraw-Hill, New York.,
4. Divan Junior, A. M., M. A. Oliva and F. A. Ferreira. 2008. Dispersal pattern of air born emissions from an aluminum smelter in Ouro Preto, Brazil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species. Ecol. Indic. 8: 454-461.
5. Eyde, B. 1982. Determination of fluoride in plant material with an ion- selective electrode. Fresenius J. Anal. Chem. 311: 19-22.
6. Fornasiero, R. B. 2001. Phytotoxic effects of fluorides. Plant Sci. 161: 979-985.
7. Franzaring, J., H. Hrenn., C. Schumm., A. Klumpp and A. Fangmeier. 2006. Environmental monitoring of fluoride emissions using precipitation, dust, plant and soil samples. Environ. Pollut. 144: 158-165.
8. Garber, K. 1968. Fluoride uptake in plants. Fluoride. 1 (1): 27-33.
9. Jha, S. K., A. K. Nayak and Y. K. Sharma. 2008. Response of spinach (*Spinacea oleracea*) to the added fluoride in an alkaline soil. Food Chem. Toxicol. 1-4.
10. Jha, S. K., A. K. Nayak and Y. K. Sharma. 2009. Fluoride toxicity effects in Onion (*Allium cepa* L.) grown in contaminated soils. Chemosphere 76: 353-356.
11. Kabata-Pendias, A. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 2-136. New York, USA.
12. Khoshoo, T. N. 1985. An integrated approach to fluoride pollution. PP. 102-110. *In*: Fluoride Toxicity. Kalpana printing house, New Dehli.

13. Miller, G. W. 1993. The effect of fluoride on higher plants with special emphasis on early physiological and biochemical disorders. Fluoride 26:3-22.
14. NAS. 1974. Effect of Fluoride in Animals, National Academy of Sciences, Washington, DC.
15. Sheldrake, R., E. D. George., E. Leigh., J. St John and J. L. Donald. 1978. Lime and charcoal amendments reduced fluoride absorption by plants cultured in perlite peat medium. J Am Soc Hortic Sci. 103 (2): 268-270.
16. Singh, V., M. K. Gupta., P. Rajwanshi., S. Srivastava and S. Dass. 1993. Studies on ingestion of fluoride through tobacco, Pan Masala and tooth paste. Indian J Environ Health 35: 215-220.
17. SPSS 16 (Statistical Package for the Social Science). Available at: // www. SPSS. com
18. Stevens, D. P., M. J. MacLaughlin and A. M. Alston. 1995. Limitation of acid digestion techniques for the determination of fluoride in plant material. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26: 1823-1842.
19. Stevens, D. P., M. J. Mc Laughlin and A. M. Alston. 1998. Phytotoxity of the fluoride ion and its uptake by Avena sativa and Lycopersicon Esculentum. Plant Soil 200:119-129.
20. Stevens, D. P., M. J. McLaughlin, P. J. Randall and G. Keerthisinghe. 2000. Effect of fluoride supply on fluoride concentrations in five pasture species: levels required to reach phytotoxic or potentially zootoxic concentrations in plant tissue. Plant Soil 227:223–233.
21. Suttie, J. W. 1983. The influence of nutrition and other factors on fluoride tolerance. PP. 291-303. *In*: Shupe, J. L., H. B. Peterson, N. C. Leone (Eds.), Fluories, Effects on Vegetation, Animals and Humans, Paragon Press, Salt Lake City, Utah USA.
22. Treshow, M. and F. M. Harner.1968. Growth response of Pinto bean and alfalfa to sub lethal fluoride concentrations. Can. J. Bot. 1207-1210.
23. Vike, E. 2005. Uptake, deposition and wash off fluoride and aluminium in plant foliage in the vicinity of an aluminum smelter in Norway. Water Air Soil Pollut. 160: 145-159.
24. WHO (2002b), Guidelines for Drinking Water Quality.
http://www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/draftchemicals/fluoride2003.pdf