



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات خاک و آب

راهکارهای کاهش انباشت نیتрат و فلزات سنگین در گوجه‌فرنگی

نگارندگان

جهانشاه صالح و یعقوب حسینی
اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان

نشریه فنی: 554

1396

عنوان: راهکارهای کاهش انباشت نیتрат و فلزات سنگین در گوجه‌فرنگی

نگارندگان: جهان‌شاه صالح و یعقوب حسینی

ناشر: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

سال انتشار: 1396

نوبت چاپ: اول

تیراژ: 100 نسخه

ویراستار: آقای دکتر حمید قیومی محمدی

صفحه‌آرایی و حروفچینی: شیرین اسدزاده

کارشناس انتشارات: زهرا محمدی

طراح جلد: سید هرمز سجادی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

قیمت: 5000 تومان

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این نشریه با شماره **52711** در تاریخ **96/9/20** در مرکز اطلاعات و مدارک علمی

کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

راهکارهای کاهش انباشت نیترات و فلزات سنگین در گوجه‌فرنگی

1- مقدمه

در ایران 150838 هکتار زیر کشت گوجه‌فرنگی قرار دارد که از این مساحت، سالیانه 5/65 هزار تن محصول برداشت می‌شود (احمدی و همکاران، 1394). گوجه‌فرنگی گیاهی است از خانواده Solanaceae با نام علمی (*Lycopersicon esculentum* L.) که حدود 90 درصد میوه آن از آب تشکیل شده و بقیه آن را پروتئین، چربی، سلولز، قندهایی مانند گلوکز و فروکتوز، ویتامین‌های آ، ث، کا، تیامین، ریبوفلاوین، پانتوتنیک اسید، اسید فولیک، ویتامین ای، اسید آمینه‌های ضروری، املاح معدنی از جمله کلسیم، فسفر، آهن، سدیم، پتاسیم، منیزیم، مس، منگنز، کبالت، روی، آرسنیک و ید تشکیل می‌دهد (رلف و همکاران، 2002). کود نیتروژن به جهت نقش پررنگی که در افزایش تولید محصول دارد، مهم‌ترین کود مورد استفاده در کشت محصولات سبزی و صیفی از جمله گوجه‌فرنگی می‌باشد که اغلب کشاورزان آن را به مقدار زیادتر از میزان بهینه مصرف می‌کنند. از بین کودهای حاوی نیتروژن نیز کود اوره به دلیل محبوبیت فراوان در بین کشاورزان، گاهی بسیار بیشتر از حد نیاز به خاک اضافه می‌گردد. این مصرف بی رویه دلایل مختلفی دارد که از جمله می‌توان به سبک بودن بافت خاک که در کنار عدم تقسیط مصرف کود منجر به راندمان پایین مصرف کود می‌گردد، عدم توجه کشاورزان به کوددهی بر اساس آزمون خاک، و مدیریت ضعیف آبیاری اشاره نمود (ملکوتی و همکاران، 1384). مصرف بیش از حد کود اوره علاوه بر اتلاف منابع مالی می‌تواند موجب تجمع نیترات در گیاه شود که برای مصرف دام و انسان خطرناک است (عمر و اقبال، 2007). احیای شیمیایی یا بیولوژیکی نیترات و تبدیل آن به نیتريت، موجب آسیب جدی به انسان و حیوانات خواهد شد. نیتريت قادر است در واکنش با اسیدهای آمینه به ترکیبات سرطان‌زای نیتروز آمین تبدیل

شود. نیتريت هم‌چنين به عنوان عامل بيمارى مِت هموگلوبينميا (كمبود اكسيژن) در اطفال شناخته شده است (كراس و همكاران، 1992). علاوه بر اين، يكي از عوامل محيطى موثر در ايجاد سرطان‌هاى دستگاه گوارش فوقانى، حضور نيتريت و نيترات در آب آشاميدنى و مواد غذايى مى‌باشد (وارد و همكاران، 2005). نتايج حاصل از مطالعات كلينيكي و اپيدميولوژيكي نشان مى‌دهد كه غلظت زياد نيتريت و نيترات در رژيم غذايى مى‌تواند منجر به سرطان معده شود. نيترات مى‌تواند در حفره دهانى و معده به نيتريت احيا شده و طى واكنش با آمين‌ها و آميدها سبب ايجاد گروه‌هاى سرطان زايى دهد كه تركيبات N- نيتروزامين ناميده مى‌شوند (برايان و همكاران، 2012).

بررسى‌ها نشان مى‌دهد برخى فلزات سنگين نظير آرسنيك، سرب، كادميوم، جيوه و كروم نيز مى‌توانند در گياه گوجه‌فرنگى انباشته شده و پس از مصرف خوراكي، در اندام‌هاى مختلف بدن انسان تجمع يابند كه پيامد آن بروز برخى ناهنجارى‌ها و بيمارى‌هاى خاص خواهد بود. حضور اين فلزات در محيط رشد ريشه مى‌تواند ناشى از مصرف كودهاى ناخالص نظير برخى كودهاى فسفردار باشد كه منجر به جذب كادميوم، آرسنيك، سرب و جيوه توسط گياه مى‌شود. ضمن اين كه برخى عناصر مانند كروم نيز ممكن است به دليل مجاورت مزارع با كارخانجات و كارگاه‌هاى صنعتى وارد خاك شده و جذب گياه شوند.

استفاده از پساب‌هاى صنعتى و خانگى در اراضى كشاورزى طى ساليان اخير موجب ايجاد نگرانى‌هاىي در خصوص تجمع فلزات در خاك و محصولات كشاورزى شده است. آلودگى خاك‌ها و محيط‌هاى آبى با فلزات سنگين، معضلى جدى و در حال گسترش است (آرنفالك و همكاران، 1996). فعاليت‌هاى بشرى موجب ورود فلزات سمّى به بسيارى از خاك‌ها و آلودگى آن‌ها شده است، به طورى كه شدت آلودگى در اين خاك‌ها يا بيش از حد مجاز است و يا به زودى به آن حد خواهد

رسید. پژوهش‌های زیادی بر روی آلودگی خاک‌ها و گیاهان به فلزات سنگین به ویژه از طریق آبیاری با پساب‌های شهری و صنعتی و با لجن‌های پساب در مزارع صورت گرفته است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های زیست‌محیطی ظرفیت مشخصی برای جذب آلاینده‌ها دارند و در صورت انباشت مداوم آلاینده‌ها، توانایی خاک به عنوان محیط پذیرنده کاهش یافته و یا به صفر می‌رسد (فلورس و همکاران، 1997؛ مرینگتون و الووی، 1997). انتقال این عناصر از خاک به محصولات کشاورزی و دامی منجر به ورود عناصر مذکور به چرخه غذایی انسان و دام شده و مسمومیت ناشی از آن موجب صدمه جدی به سیستم مغز، کلیه، تولید مثل و گردش خون می‌گردد (الووی و همکاران، 1990). طبق تعریف کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (1380)، گوجه فرنگی یک گیاه نیمه حساس به آلودگی عناصر سنگین محسوب می‌شود.

با توجه به اهمیت انباشت ترکیبات و عناصر مذکور در میوه گوجه‌فرنگی که در نهایت منجر به تجمع آن‌ها در بدن انسان و ایجاد بیماری‌های متعدد می‌شود، ضروری است راهکارهای عملی کاهش غلظت نیترات و فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاه مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

2- عوامل مؤثر بر جذب و انباشت نیترات و فلزات سنگین در گیاه

2-1- عوامل مؤثر بر انباشت نیترات در گیاه

عوامل مؤثر بر انباشت نیترات به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند: الف) عوامل ژنتیکی مانند نوع گیاه، سن گیاه و عوامل وراثتی؛ ب) عوامل محیطی مانند نور، دما و تنش‌های رطوبتی؛ ج) عوامل مدیریتی مانند تاریخ کاشت، مدیریت کود دهی و بستر کشت. علیرغم اینکه استفاده از کودها تاثیر انکارناپذیری بر کمیت و کیفیت محصول دارد، اما مصرف نادرست آن‌ها می‌تواند منجر به حضور انواع

آلاینده‌ها در چرخه غذایی انسان شود. شدت نور، فراهمی رطوبت، تفاوت‌های ژنتیکی بین گیاهان (گونه‌ها و ارقام)، کاربرد سموم شیمیایی و بویژه علف‌کش‌ها، میزان فراهمی نیترات در محیط ریشه و میزان تأمین عناصر غذایی دیگر شامل فسفر، گوگرد، پتاسیم، آهن، مولیبدن، کلسیم، منگنز و بور از عوامل متعدد موثر در تجمع نیترات هستند. تجمع نیترات در گیاه هنگامی بیشتر است که گیاه قادر به تبدیل آن به سایر مواد از جمله پروتئین نباشد و این معضل اغلب با کمبود رطوبت، نیتروژن زیاد در خاک و زمان برداشت ارتباط نزدیکی دارد.

بررسی ظرفیت جذب، تجمع و کاهش نیترات در چهار گونه گیاهی از خانواده Solanaceae شامل گوجه‌فرنگی، فلفل و دو گونه علفی نشان داد که حداکثر جذب نیترات در گیاه گوجه‌فرنگی اتفاق می‌افتد (پانس و سالاس، 1999). عوامل محیطی نظیر نور و دما نیز بر غلظت نیترات گیاه تأثیرگذارند. عموماً نور کم و دمای زیاد منجر به تقلیل فعالیت آنزیم کاهش دهنده نیترات و افزایش تجمع نیترات می‌گردد (ملکوتی و همکاران، 1376). مطالعات مینارد در سال 1978 نشان داد که غلظت نیترات در چغندر قند بین ساعت 4 تا 8 صبح در بالاترین میزان و در 4 بعد از ظهر در کمترین مقدار می‌باشد. گالانگا و همکاران (1988) نیز با اندازه‌گیری میزان نیترات در گیاه گوجه‌فرنگی در ساعات مختلف شبانه روز نشان دادند که 5 تا 6 ساعت پس از طلوع آفتاب، میزان آنزیم نیترات ردوکتاز در گیاه به حداکثر میزان خود می‌رسد، در حالی که پس از طی یک دوره تاریکی و در ابتدای روز، این مقدار در حداقل مقدار نسبت به ساعات دیگر شبانه روز قرار دارد. کاردناس و همکاران (1999) با قرار دادن گیاه گوجه‌فرنگی در دوره‌های تاریکی 12 و 24 ساعته ملاحظه کردند که غلظت نیترات در قسمت‌های مختلف گیاه به شدت افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، افزایش نیترات گیاه با کاهش شدت نور و دما می‌تواند به دلیل کاهش فعالیت آنزیم احیاکننده نیترات در نبود نور و دمای پایین باشد.

مقدار کود، نوع کود، سرعت آزاد شدن و روش مصرف کود نیز بر انباشت نیترات تاثیر می‌گذارد. مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه اصلی‌ترین عاملی است که موجب تجمع نیترات در تعدادی از سبزی‌ها و سایر گیاهان می‌شود (ملکوتی و همکاران، 1384). گاهی استفاده از کودهای کندرها نظیر اوره پوشش‌دار (SCU^1) که مواد موجود در خود را به آهستگی آزاد می‌کنند، می‌تواند موجب کاهش تجمع نیترات گردد (کاردناس و همکاران، 1999).

پژوهشگران بسیاری در داخل و خارج از کشور به بررسی موضوع انباشت نیترات در سبزیجات، صیفی جات و گیاهان دیگر و عوامل تشدیدکننده و بازدارنده آن پرداخته‌اند. فرهنگد و همکاران (1385) در سال 1385 مشاهده کردند که مصرف 120 و 180 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره، نسبت به مصرف 60 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از همین منبع، افزایش معنی‌دار آماری در میزان نیترات میوه گوجه فرنگی رقم ارلی اوربانا در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهران ایجاد کرده است. زمردی و منتظری (1378) نیز ملاحظه کردند که از میان چهار سطح صفر، 120، 180 و 240 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، بیش‌ترین عملکرد و بالاترین میزان انباشت نیترات در میوه با مصرف 180 کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به دست آمده است. نتایج یک آزمایش سه ساله نیز نشان داد که با افزایش مصرف اوره در کشت گلخانه‌های گوجه فرنگی، غلظت نیترات در گیاه افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد (لو و همکاران، 1973).

2-2- عوامل موثر بر انباشت فلزات سنگین در گیاه

نتایج پژوهش‌های فراوان نشان داده که برخی سبزیجات نظیر کاهو، ترب، لوبیای پاکوتاه و به‌ویژه گوجه‌فرنگی قادر به جذب مقادیر زیاد فلزات سنگین و تجمع آن در بافت‌های خود هستند (کُب و همکاران، 2000). ورود فلزات سنگین

¹ Sulfur Coated Urea

به محیط، هم به صورت طبیعی و هم توسط انسان و از راه‌های گوناگون نظیر فعالیت‌های صنایع و معادن، مصرف قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها، استفاده از لجن و مواد زاید در کشاورزی و استفاده از سوخت‌های فسیلی اتفاق می‌افتد (کوی و همکاران، 2004؛ کوی و همکاران، 2005). غلظت‌های زیاد فلزات سنگین در خاک منجر به جذب زیاد آن توسط گیاه می‌گردد. گیاهان مهم‌ترین مسیر انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی انسان و چرخه‌های زیستی محسوب می‌شوند (ویرزبیکا و ابیدزینکا، 1998). به‌طور کلی غلظت زیاد این فلزات در غذای انسان سمّی بوده و ایجاد بیماری‌های دشوار و مزمن می‌نماید (اشمیت، 2003؛ ونگر، 1993). گزارش‌های بسیاری مبنی بر ایجاد بیماری‌های مزمن پوستی، گوارشی و تنفسی ناشی از مسمومیت انسان با فلزات سنگین وجود دارد (اشمیت، 2003). در بین عناصر سنگین، کادمیوم و سرب به دلیل نیمه عمر طولانی در بدن انسان و حیوانات از اهمیت زیادی برخوردارند (پاگلیوکا و همکاران، 1990). جدول 1، نشان‌دهنده صدمات ناشی از حضور بیش از حد عناصر سنگین در بدن انسان می‌باشد.

جدول 1- عوارض و آسیب‌های حاصل از انباشت فلزات سنگین در بدن انسان (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، 1389)

نام عنصر	عوارض و آسیب‌ها
کادمیوم	تجمع در کلیه‌ها و کبد، انعقاد پروتئین اوره، گرفتگی مجاری ادرار و تسریع در پیدایش سنگ کلیه، پیدایش امراض قلبی و فشار خون، دردهای استخوانی، اسهال، سرطان پروستات
سرب	تولید دردهای استخوانی، التهاب دستگاه گوارش، تهوع و استفراغ، فلج، اختلالات مغزی
آرسنیک	سرطان پوست و ریه، کم شدن وزن، اسهال، خستگی مفرط، ورم ماهیچه‌های چشم، تورم بدن
جیوه	تجمع در کبد و کلیه، ایجاد مسمومیت در مغز، اختلال در سامانه اعصاب تا حد مرگ
کروم	عنصری است تجمعی که موجب ایجاد ورم ریه و حساسیت‌های پوستی می‌شود

3- نیترات در آب و گیاه

در سال 1997 کمیسیون اروپایی (EC) به شماره 194/97، حداکثر مقادیر مجاز آلاینده‌ها را در محصولات کشاورزی مشخص نمود. در این گزارش، حد مجاز نیترات (NO_3^-) سبزیجاتی نظیر اسفناج و کاهو، برای مصرف انسانی 3000 الی 4000 میلی گرم در کیلوگرم بر مبنای وزن تازه گزارش شده است. این در حالی است که حد مجاز نیترات برای گوجه فرنگی که معمولاً میانگین مقدار مصرف روزانه آن بیشتر از اسفناج و کاهو می‌باشد، فقط 50 میلی گرم در کیلوگرم بر مبنای وزن تازه خوری می‌باشد (مینارد، 1978). حدود مجاز بر اساس فصل‌های سال، متغیر است و بیش‌ترین سطح مجاز نیترات در سبزیجات مربوط به فصل زمستان است (CEC، 1997؛ CEC، 1999). مقدار مجاز نیترات در گوجه فرنگی برای مصرف توسط انسان در ایران، برابر با 40 میلی گرم بر کیلوگرم وزن میوه تازه تعیین شده است (ملکوتی و همکاران، 1384). به‌طور کلی بیشترین مقدار نیترات که می‌تواند وارد بدن شود نبایستی روزانه بیشتر از 3/65 میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن باشد (CECSCF، 1992). بدیهی است انباشت نیترات در جوامع انسانی نظیر ایران که مصرف روزانه سبزی و میوه در آن‌ها بسیار بالاتر است، می‌تواند خطرناک و مسئله ساز باشد. از سوی دیگر، هم سازمان جهانی بهداشت (WHO/FAO، 2007) و هم مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (استاندارد ملی شماره 6649 ایران، 1381)، حد مجاز نیترات در آب آشامیدنی را برابر با 50 میلی گرم در لیتر بر حسب نیترات و یا 10 میلی گرم در لیتر بر حسب نیتروژن اعلام کرده‌اند. مقدار انباشت نیترات بوسیله توان توارثی گیاه تنظیم گردیده و به وسیله عوامل محیطی، مدیریت کوددهی و عملیات زراعی تغییر می‌کند.

4- فلزات سنگین در خاک و گیاه

1-4- کادمیوم

کادمیوم (Cd) یکی از فلزات سنگین است که با عدد اتمی 48 شناخته می‌شود و معمولاً مقدار آن در خاک بین 0/001 تا 4/2 میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند. این عنصر یکی از مهم‌ترین و متحرک‌ترین فلزات سنگین در خاک به شمار می‌رود و مقدار آن در خاک‌های آلوده مجاور معادن به 14000 میلی‌گرم بر کیلوگرم نیز می‌رسد. از مهم‌ترین منابع ورود کادمیوم به محیط می‌توان به فعالیت‌های صنعتی و مصرف کودهای فسفاته اشاره نمود (وارن و همکاران، 1992). کادمیوم می‌تواند از خاک به گیاه انتقال یافته و با انباشت در بافت‌های گیاه، وارد زنجیره غذایی انسان شود (مان و همکاران، 2002؛ ونگر، 1993). تحرک این فلز در خاک بستگی به عوامل مختلفی مثل pH، رطوبت، بافت، درصد سیلت، درصد منیزیم تبادلی، ماده آلی و ریزجانداران و جانوران خاک بویژه قارچ‌های میکوریزا و کرم‌های خاکی دارد (العود و همکاران، 20104). برخی پژوهشگران معتقدند که در گیاهان مقادیر کمی کادمیوم از ریشه به بخش‌های هوایی و قسمت‌های خوراکی گیاه منتقل می‌شود (سینگ و ماکلوگلین، 1999)، هرچند غلظت‌های بالای این عنصر در میوه برخی از گیاهان نیز مشاهده شده است (هارت و همکاران، 1998). بنابراین، تغذیه انسان از میوه‌ها و محصولات کشاورزی می‌تواند منجر به جذب و انباشت کادمیوم در بافت‌های مختلف بدن شود. بررسی‌ها نشان داده که میزان انباشت کادمیوم در بافت‌های نرم بدن انسان، بیشتر از سایر ارگان‌ها است. بخش اعظم کادمیوم پس از ورود به بدن در کبد انباشته می‌شود و نیمه عمر این عنصر در بدن انسان حدود 17 تا 30 سال است. انباشت این عنصر در بدن انسان باعث بروز بیماری‌های مختلف از جمله Itai-Itai می‌شود (ریلی و همکاران، 2002). یارقلی و همکاران در سال 1388 مطالعاتی با هدف

بررسی تاثیر سطوح مختلف غلظت کادمیوم خاک محیط ریشه بر مقدار جذب و تجمع آن در اندام‌های مختلف پنج گونه جالیزی رایج در ایران (خربزه، هندوانه، خیار، گوجه فرنگی و کدو خورشتی)، به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار شامل غلظت های صفر، 50 و 100 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک و 50 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به علاوه 25 میلی گرم اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) به هر کیلوگرم خاک از طریق آب آبیاری، انجام دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان انباشت کادمیوم با افزایش غلظت آن در محیط ریشه نسبت مستقیم دارد، به طوری که جز تیمار شاهد، در سایر تیمارها میزان انباشت کادمیوم در بخش‌های مختلف گونه‌های مورد مطالعه بیش از حد مجاز برای مصارف انسانی بود، همچنین مقایسه گیاهان گوناگون بررسی شده در این پژوهش حاکی از آن بود که ساقه و برگ به ترتیب خیار و کدو خورشتی بیش‌ترین غلظت کادمیوم را دارند و گوجه فرنگی و هندوانه کم‌ترین انباشت را دارند، در حالی که در مورد میوه، خربزه و هندوانه بیشترین و گوجه فرنگی کمترین میزان غلظت کادمیوم را نشان دادند. عابدی کوپایی و همکاران (1392) نیز طی یک پژوهش گلخانه‌ای، توانایی سه گیاه تره تیزک، کاهو و گوجه فرنگی را در ارتباط با میزان جذب کادمیوم موجود در خاک مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، برای هر یک از سه گیاه مذکور، یک تیمار شاهد و یک تیمار کادمیوم با غلظت 100 میلی گرم بر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که هر سه گیاه مقدار قابل ملاحظه‌ای کادمیوم در ریشه و اندام های هوایی خود جذب و انباشته کرده‌اند، به طوری که می‌توان از آن‌ها به عنوان ابزاری جهت پالایش کادمیوم خاک بهره گرفت. گفتنی است که بیشترین میانگین غلظت کادمیوم مربوط به گوجه فرنگی و کمترین مقدار مربوط به گیاه کاهو بود.

4-2- سرب

سرب (Pb) نیز عنصری است که به میزان زیاد در صنایع مختلف مانند باتری سازی و تولید سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرد (ATSDR، 1999). از سایر

منابع مهم آلوده کننده محیط به این عنصر می‌توان به دود حاصل از موتور وسایط نقلیه، زایدات صنایع و حشره‌کش‌ها اشاره کرد (بالبا و همکاران، 1991). سرب اثرهای منفی زیادی بر سلامت افراد جامعه به ویژه خردسالان دارد (ATSDR، 1999). حدود 95 درصد از سرب وارد شده به بدن انسان، در استخوان‌ها به صورت فسفات سرب و با نیمه عمری بین 20 تا 30 سال رسوب می‌کند. مابقی آن نیز در بافت‌ها به شکل قابل تبادل وجود دارد. این عنصر می‌تواند از طریق مو، عرق و ناخن دفع شود (مول، 2011). مقدار سرب در مواد غذایی بین 0/01 تا 2/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن ماده تازه گزارش شده است (شوت، 2001 و مول، 2011). انباشت سرب در بدن انسان، اثرات نامطلوبی بر سیستم عصبی، دستگاه گوارش، کلیه‌ها، سیستم عصبی و خون‌سازی دارد (پاگلیوکا و همکاران، 1990). این عنصر هم چنین یکی از عوامل مهم ایجاد سرطان در کودکان است. سرب اغلب در بافت استخوان‌ها و دندان‌ها انباشته شده و منجر به ضعف و شکنندگی استخوان‌ها و درد انگشتان و مچ‌ها می‌شود. این فلز سنگین همچنین قادر است وارد جریان خون شده و از این طریق به سایر اندام‌های بدن انتقال یابد. حضور سرب در بدن، نهایتاً موجب آسیب به سیستم عضلانی، کلیه‌ها و سیستم بینایی شده و اختلالات عصبی و جنسی را به دنبال دارد (تومالا، 1997). مقادیر مجاز برای مصرف کادمیوم و سرب در محصولات کشاورزی به ترتیب 0/2 و 0/3 میلی‌گرم بر کیلوگرم بر مبنای وزن تازه است (EEC، 2001) اصغری پور و رفیعی شیروان در سال 1387 آزمون زیست‌سنجی سمیت کمپوست زباله شهری بر سبز شدن و رشد گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی را به انجام رساندند. آن‌ها ملاحظه نمودند که مصرف کمپوست منجر به افزایش مقدار فلزات سنگین از جمله سرب و کادمیوم در اندام‌های هوایی گیاه شد، با این توضیح که میزان افزایش سرب کمتر بود. این در حالی است که غلظت فلزات سنگین در اندام‌های گیاه از حد مجاز برای

مصرف انسان تجاوز نکرد. پایچالاک و همکاران (2002) محل اصلی انباشت سرب را در ریشه چندین گونه گیاهی گزارش کردند. مقایسه غلظت سرب و کروم در بخش‌های هوایی گیاه و محیط رشد نشان می‌دهد که انتقال سرب و کروم بین خاک و بخش هوایی گیاه، فرآیندی کند و ناکارآمد می‌باشد. در پژوهشی که به وسیله آکینچی و همکاران (2010) صورت گرفت، مشاهده شد که جذب و انباشت مقادیر زیاد سرب در ریشه، شاخساره و بافت‌های برگ، مانع از جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه گوجه‌فرنگی شد. نتایج این آزمایش همچنین نشان داد که رشد طولی ریشه، ارتفاع گیاه، ماده خشک و تر ریشه، شاخساره و برگ، سطح برگ، کلروفیل نوع a و b و کلروفیل کل و نیز مقدار آب درون بافت‌های گیاه تحت تاثیر منفی سمیت سرب قرار گرفت. نتایج یک بررسی دیگر بر روی 10 نوع از سبزیجات مختلف از جمله گوجه‌فرنگی (باسو و همکاران، 2013) نشان داد که در تمام گیاهان مورد مطالعه، غلظت عنصر سرب در بخش‌های مختلف گیاه بالاتر از حد مجاز برای مصرف توسط انسان بود. در این پژوهش همچنین مشخص شد که بیشترین میزان انباشت سرب در ریشه‌ها اتفاق افتاده است. بعد از ریشه، بالاترین مقدار سرب به ترتیب در ساقه‌ها، برگ‌ها و قسمت‌های خوراکی گیاه مشاهده شد. فاتوبا و همکاران (2012) نیز به بررسی انباشت فلزات سنگین در میوه گوجه‌فرنگی پرداختند. در این بررسی، عامل اصلی انباشت فلزات در گیاه، آبیاری با پساب صنعتی کارخانجات مجاور مزرعه بود. تجزیه گیاه و اندازه‌گیری عناصر سرب، روی، آهن، کادمیوم، مس و جیوه با استفاده از دستگاه جذب اتمی نشان داد که آبیاری گیاه با پساب صنعتی، موجب جذب و انباشت سه عنصر سرب، جیوه و کادمیوم در میوه در غلظت‌های خطرناک برای انسان شده است.

3-4- آرسنیک

آرسنیک (As) عنصری شبه فلزی است که به عنوان جزء فعال در بسیاری از فت‌کش‌ها استفاده می‌شود. این عنصر در همه جای پوسته زمین به دو صورت

معدنی و آلی حضور دارد (ملکی و اسلامی، 1389). آلودگی آب آبیاری به عنصر آرسنیک، عامل اصلی انباشت این فلز سنگین در گیاه در نظر گرفته می‌شود و ورود آرسنیک غیرآلی به بدن انسان، بیشتر از طریق آب‌های آلوده به این عنصر اتفاق می‌افتد (بادو و همکاران، 2008). فرید و همکاران در سال 2003 نشان دادند که غلظت آرسنیک در آب آبیاری، همبستگی بسیار بالایی با مقدار این عنصر در میوه گیاه گوجه‌فرنگی دارد. سمّیت آرسنیک در انسان موجب بروز عوارض و بیماری‌های گوناگونی می‌شود که چند نمونه در شکل 1 نشان داده شده است. این عنصر برای گیاه ضروری نیست و زمانی که در محلول خاک قرار گیرد به راحتی جذب ریشه گیاه می‌شود (بارونی و همکاران، 2000). بدین ترتیب، با انباشت آرسنیک در بافت‌های گیاهی، علائم سمّیت در گیاه ظاهر می‌شود. این عنصر سمّی در بسیاری از ضایعات حاصل از فعالیت های انسان و همچنین در برخی مناطق ژئوشیمیایی خاص وجود دارد. استفاده مکرر از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها یکی از منابع اصلی ورود این عنصر به خاک است. آرسنات فرم معدنی غالب عنصر آرسنیک است که در خاک‌هایی با تهویه مناسب می‌تواند جذب ذرات خاک شود (کمپوس و فاستینو پیرس، 2004). فرآیند معدنی شدن و فعالیت میکروارگانیسم‌ها تحرک آرسنیک را در محیط افزایش می‌دهد. در عصر حاضر، فعالیت‌های انسان نگرانی‌های زیادی در مورد آلودگی آب، خاک و محصولات کشاورزی به آرسنیک در بسیاری از نقاط دنیا ایجاد کرده است (داکر و همکاران، 2005). این عنصر سنگین در گیاهان با حمله به غشاهای سلولی و جلوگیری از انجام وظایف سلول‌ها سبب مرگ آن‌ها می‌شود (اوزتورک و همکاران، 2010). سطح مجاز آرسنیک در خاک، 14 میلی گرم در کیلوگرم و در گیاه تا 0/1 میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک می‌باشد (طباطبایی، 1388).

کاربونل- باراچینا و همکاران در سال 1997، فرآیند جذب و انباشت آرسنیک در ریشه، ساقه، برگ و میوه دو گیاه گوجه‌فرنگی و لوبیا را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که آرسنیک در هر دو گیاه سمّیت ایجاد می‌کند، با این تفاوت که لوبیا علائم ظاهری سمّیت نشان داد و 36 روز پس از آبیاری با آب حاوی 10 میلی گرم آرسنیک بر لیتر، کاملاً خشک شد، اما گوجه‌فرنگی مقاومت بیشتری نشان داد و علیرغم کاهش معنی‌دار عملکرد، هیچ‌گونه علائم سمّیت اعم از کلروز یا نکروز در بخش‌های آن مشاهده نشد. عدم پیدایی علائم ظاهری در گوجه‌فرنگی، بیانگر لزوم اندازه‌گیری مکرر و پایش موثر آرسنیک در این گیاه است، زیرا علائم ظاهری که به عنوان یک هشدار عمل می‌کند در اینجا وجود ندارد و می‌تواند منجر به مصرف محافظت نشده و بروز سمّیت در انسان گردد. گوجه‌فرنگی برای مقابله با سمّیت آرسنیک، از راهبرد طفره² استفاده می‌کند؛ به این شکل که بخش اعظم آرسنیک جذب شده را در ریشه انباشته کرده و از انتقال آن به بخش‌های جلوگیری می‌کند. گفتنی است گوجه‌فرنگی قادر است کُده-بندی³ آرسنیک در ریشه را به نحوی انجام دهد که کم‌ترین اثر را بر رشد و متابولیسم گیاه داشته باشد. در سال 2002 نیز پژوهشگری به نام می‌توا، پژوهشی با موضوع بررسی اثر انباشت آرسنیک بر رشد و مقدار رنگیزه‌های گیاه گوجه‌فرنگی انجام داد. نتایج نشان داد که در غلظت‌های پایین آرسنیک (15 تا 25 میلی گرم بر کیلوگرم خاک)، و به ویژه در غلظت 15 میلی گرم بر کیلوگرم خاک، رشد طولی سیستم ریشه و همچنین ارتفاع و وزن خشک ساقه افزایش پیدا کرد. این در حالی است که تیمار گیاه با مقادیر زیادتر آرسنیک (50 تا 100 میلی گرم بر کیلوگرم خاک) موجب شد که هم رشد رویشی بخش‌های هوایی و هم رشد ریشه کاهش یابد.

² Avoidance³ Compartmentation

همچنین ملاحظه شد که در غلظت‌های پایین آرسنیک، فرآیند ساخت رنگیزه‌ها تشدید می‌شود که این می‌تواند واکنش مکانیسم دفاعی گیاه به تنش وارد شده تلقی گردد. بدیهی است مقادیر زیاد آرسنیک خاک منجر به بروز سمّیت و کاهش شدید رنگیزه‌های گیاهی گردید. در این آزمایش، آستانه سمّیت آرسنیک برای گیاه گوجه‌فرنگی، 25 میلی گرم بر کیلوگرم خاک تعیین شد. در یک آزمایش گلخانه‌ای، پیگنا و همکاران (2012) اثر مصرف کود فسفر بر جذب آرسنیک به وسیله گوجه‌فرنگی آبیاری شده با آب حاوی غلظت‌های مختلف آرسنیک را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، جذب و توزیع آرسنیک و فسفر در ریشه، ساقه و میوه بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت آرسنیک در آب آبیاری، ماده خشک گیاه کاهش پیدا کرد و این کاهش در میوه شدیدتر از سایر بخش‌ها بود.



شکل 1- برخی عوارض و علائم سمّیت آرسنیک در انسان

نکته دیگر آن که در گیاهانی که فسفر کافی برای آن‌ها تامین نشده بود، کاهش عملکرد با شدت بیشتری اتفاق افتاد که این نشان‌دهنده نقش مهم فسفر در کاهش جذب و انتقال آرسنیک و تعدیل اثرات نامطلوب آن در گیاه می‌باشد. با بررسی داده‌های به دست آمده در این پژوهش مشخص شد که با افزایش غلظت آرسنیک در آب، غلظت آرسنیک گیاه نیز افزایش پیدا کرد. لازم به توضیح است توزیع آرسنیک به نحوی بود که قسمت عمده آن در ریشه گیاه انباشت پیدا کرد. نتایج یک آزمایش دیگر (بارلو و همکاران، 1999) که طی آن جذب مقادیر و شکل‌های شیمیایی مختلف آرسنیک (آرسنات⁴، آرسنات⁵، متیل آرسونات⁶ و دی‌متیل آرسینات⁷) توسط دو رقم مختلف گوجه‌فرنگی در محیط هایدروپونیک بررسی شد نشان داد که اولاً با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی، مقدار آرسنیک گیاه نیز به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. ثانیاً دو شکل شیمیایی متیل آرسونات و دی‌متیل آرسینات، نسبت به دو شکل شیمیایی آرسنات و آرسنات، به مقدار بیشتری به اندام‌های بالایی گیاه انتقال یافتند. بنابراین بدیهی است که گیاهان تیمار شده با متیل آرسونات و دی‌متیل آرسینات، با کاهش شدید رشد گیاه و عملکرد میوه مواجه شدند. هم‌چنین ملاحظه شد که غلظت آرسنیک در گیاهان تغذیه شده با آرسنات یا آرسنات، در دامنه غلظت‌های معمول و طبیعی مواد غذایی مورد مصرف انسان قرار گرفت، در حالی که گیاهان تیمار شده با متیل آرسونات و دی‌متیل آرسینات، غلظت‌های نزدیک و حتی بالاتر از حداکثر غلظت مجاز این عنصر نشان دادند.

4-4- جیوه

جیوه (Hg) نیز جزو فلزات سنگین به شمار می‌رود که به دلیل پایداری زیاد (که ویژگی تمام فلزات سنگین است) قابلیت تغلیظ و انباشت در مواد غذایی

⁴ Arsenite

⁵ Arsenate

⁶ Methylarsonate

⁷ Dimethylarsinate

و ورود و تجمع بیولوژیکی در بافت‌های جانداران را دارد (فائو، 1983). حد مجاز جیوه در آب، یک میکروگرم بر لیتر و در خاک، 0/01 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. این عنصر در میان فلزات سنگین، فلزی منحصر بفرد است که در طبیعت به شکل‌های متفاوت معدنی و آلی مشاهده می‌شود. بررسی‌ها نشان داده که جیوه به شدت برای سیستم عصبی مضر بوده و در اکثر بافت‌های موجودات زنده و به‌ویژه در بافت‌های مغز و کبد انباشته می‌شود. عمر زیستی جیوه حدود 20 سال است و سبب ایجاد عوارض و ناهنجاری‌های گوناگون در بدن انسان می‌گردد که نمونه بارز آن فاجعه میناماتا در ژاپن است (استورلی و همکاران، 2010). این بیماری بر اثر ورود سمّی‌ترین شکل جیوه یعنی متیل جیوه به بدن انسان ایجاد می‌شود و نخستین بار در دهه 1950 در خلیج میناماتای ژاپن مشاهده شد. بروز این بیماری در انسان با عوارض گوناگون عصبی از جمله اختلال در حواس پنج گانه، بروز آلزایمر در سنین پیری و در موارد حاد با مرگ بیمار همراه است. متیل جیوه نسبت به نمک‌های Hg^{2+} سمّی‌تری است، زیرا علاوه بر انحلال‌پذیری در بافت چربی، قابلیت انباشت زیستی دارد و همچنین می‌تواند از سد خونی-مغزی و جفت جنین عبور کند. متیل جیوه از راه دستگاه گوارش به ویژه در دستگاه عصبی مرکزی و کلیه‌ها توزیع شده و به صورت اختلالات عصبی تأخیری مانند لرزش، کاهش بینایی، شنوایی، بویایی و چشایی، از دست دادن حافظه، نکرور کانونی، اختلالات حرکتی و مرگ بروز می‌کند. به جهت تاثیر نامطلوب انباشت جیوه در بدن جانداران، پژوهش‌های بسیاری با هدف بررسی جذب، انتقال و توزیع این عنصر در بافت‌های جانوری و گیاهی انجام شده است. با توجه به این‌که گیاهان اولین حلقه زنجیر غذایی هستند که عناصر و ترکیبات گوناگون می‌توانند بدین شیوه به بدن انسان و دام راه یابند، به همین خاطر، مطالعه عوامل موثر بر انباشت جیوه در گیاهان و بافت‌های هدف که عنصر بیشتر در آن‌ها انباشته می‌شود از

اهمیت زیادی برخوردار است. جیوه می‌تواند از طریق سیستم ریشه جذب گیاه شده و در اندام‌های گوناگون تجمع یابد. فاتوبا و همکاران در سال 2012 با انجام آزمایشی بر روی گیاه گوجه‌فرنگی، انباشت برخی فلزات سنگین از جمله جیوه را در میوه این گیاه مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مزرعه را با استفاده از پساب صنعتی آبیاری کرده و در انتهای دوره رشد، غلظت فلزات سنگین را در میوه اندازه گیری نمودند. بررسی نتایج مربوط به جیوه نشان داد که این عنصر می‌تواند در مقادیر زیاد در میوه گوجه‌فرنگی انباشته شود که در نتیجه، مصرف آن توسط انسان می‌تواند سمّیت شدید و عوارض و بیماری‌های خطرناک فوق‌الاشاره را به دنبال داشته باشد. چو و پارک (2000) نیز گیاهچه‌های 30 روزه گوجه‌فرنگی را با مقادیر مختلف جیوه (صفر، 10 و 50 میکرومولار) به مدت 20 روز تیمار کرده و علاوه بر غلظت جیوه در بافت‌های گیاه، برخی پارامترهای فیزیولوژیک را نیز اندازه‌گیری نمودند. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، با افزایش مصرف جیوه در محیط رشد ریشه و بیشتر شدن زمان تیمار، غلظت جیوه در بافت‌های گیاهچه نیز روند افزایش نشان داد، با این توضیح که مقدار جیوه در ریشه حدود 27 برابر غلظت آن در بخش هوایی بود. افزایش غلظت جیوه در گیاه توام با کاهش وزن خشک و غلظت کلروفیل برگ‌ها و افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های ضد اکسند سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز در ریشه و برگ بود. علت افت رشد و کاهش مقدار کلروفیل گیاه گوجه‌فرنگی در این آزمایش را می‌توان به افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن بر اثر حضور مقادیر زیاد جیوه دانست که پیامد آن پراکسیداسیون شدید و تخریب لیپیدها نسبت داد. سایر پژوهشگران نیز گزارش کردند که آلودگی خاک یا آب به فلز سنگین جیوه، موجب انباشت این عنصر در بخش‌های گوناگون گیاه گوجه‌فرنگی از جمله میوه می‌شود (چو و پارک، 1999؛ پاسام و همکاران، 2007).

4-5- کروم

کروم یا کرومیوم (Cr) با عدد اتمی 24، فلزی سخت، براق و به رنگ خاکستری فلزی با نقطه جوش بالا می‌باشد و یکی از عناصر کمیاب ضروری برای انسان است. این عنصر می‌تواند در بافت‌هایی نظیر خون، کبد، طحال، استخوان و بیضه تجمع یابد (راجش کومار و همکاران، 2008؛ فلورس و همکاران، 1997؛ APHA، 2005). انباشت مقادیر زیاد کروم ممکن است موجب مسمومیت و تحریک معده شود. همچنین میزان زیاد یا تجمع بافتی زیاد کروم اثر انسولین را کم می‌کند. این عنصر می‌تواند هم از طریق سیستم تنفسی و هم از طریق سیستم گوارشی جذب بدن انسان شود (راجش کومار و همکاران، 2008). کروم سه ظرفیتی (Cr^{3+}) برای سلامت انسان ها و حیوانات ضروری می‌باشد اما کروم شش ظرفیتی (CrO_4^{2-}) یک سرطان‌زای قوی بوده و به شدت برای انسان و حیوان سمی است (زاید و همکاران، 1998). جذب کروم شش ظرفیتی به دلیل حلالیت بالا، بیشتر از کروم سه ظرفیتی است. کروم شش ظرفیتی بعد از استنشاق وارد ریه شده و بدون این-که به کروم سه ظرفیتی تبدیل شود، در گلبول‌های قرمز جایگزین می‌شود. با توجه به تاثیر فعالیت‌های صنعتی بر افزایش برخی ترکیبات و فلزات سنگین از جمله کروم در خاک و آب مزارع مجاور، این امکان وجود دارد که گیاهان رشد کرده در این مناطق مقدار زیادی از این فلزات در اندام‌های مختلف خود انباشته کنند. نظر به پایداری زیاد فلزات سنگین و ترکیبات آن‌ها، تغذیه انسان و دام از این گیاهان می‌تواند منجر به انباشت مقادیر بیش از حد این فلزات در بدن و ابتلا به عوارض ناشی از سمیت آن‌ها گردد. بنابراین، ضروری است ترکیب شیمیایی گیاهان، به ویژه قسمت‌های خوراکی آن‌ها به طور مداوم پایش شود. در این راستا، مطالعه و بررسی دستاوردهای پژوهش‌های گذشته نیز می‌تواند بسیار مفید باشد. سانیتا و همکاران (2002) طی آزمایشی تاثیر کروم شش ظرفیتی را بر بذر، ریشه

و برگ سه گیاه ذرت، گوجه‌فرنگی و کلم پیچ، با تاکید بر تغییرات فراساختاری⁸، تجمع واکوئلی کروم و تولید فیتوکلاتین‌ها⁹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که حضور کروم، کاهش معنی‌داری در سرعت رشد ریشه‌های اولیه ایجاد کرد، ضمن این‌که اثر بازدارندگی شدیدی نیز بر رشد بخش هوایی هر سه گیاه نشان داد. در این پژوهش همچنین ملاحظه شد که در گوجه‌فرنگی تیمار شده با کروم شش ظرفیتی، فیتوکلاتین نه در ریشه و نه در برگ‌ها ساخته نشد. جاکوب و کاکولو (2012) در شهر کادونا در کشور نیجریه آزمایشی ترتیب دادند و به بررسی غلظت و نحوه توزیع فلزات سنگین در بخش‌های خوراکی سه گیاه پرمصرف از گروه سبزیجات یعنی اسفناج، گوجه‌فرنگی و چتایی¹⁰ پرداختند. در این آزمایش، شهر به 20 منطقه تقسیم شد و از هر منطقه نمونه خاک و گیاه تهیه شد. سپس نمونه‌های مذکور به منظور اندازه‌گیری کادمیوم، نیکل، کروم و سرب تجزیه شدند. نتایج نشان داد که به غیر از نیکل، میانگین غلظت تمام فلزات سنگین مورد آزمایش، بیشتر از حد مجاز برای مصرف خوراکی توسط انسان بود. در سال 1995 نیز مورال و همکاران طی یک آزمایش هایدروپونیک، اثر سه سطح کروم (صفر، 50 و 100 میلی‌گرم بر لیتر محلول غذایی) را بر جذب عناصر غذایی، عملکرد محصول و مورفولوژی گیاه گوجه‌فرنگی مطالعه نمودند. طبق نتایج به

⁸ Ultrastructural alterations

⁹ Phytochelatin (گیاهان در هنگام رویارویی با تنش ناشی از فلزات سنگین، آن‌ها را توسط لیگاند کلاته کرده و کمپلکس فلز-لیگاند را در واکوئل‌ها محبوس می‌کنند. حبس فلز سنگین در واکوئل از گردش آزاد یون‌های فلزات سنگین در سیتوسول جلوگیری می‌کند و به همین دلیل، تحمل گیاه به تنش فلزات سنگین افزایش می‌یابد. کلاته شدن فلزات سنگین توسط اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه و پلی‌پپتیدها صورت می‌گیرد که از مهمترین ترکیبات آن‌ها می‌توان به متالوتیونین‌ها و فیتوکلاتین‌ها اشاره کرد. (میرانصاری، 2011).

¹⁰ Jute mallow (*Corchorus olitorius*) (گیاهی است یک ساله با ساقه راست و ارتفاع حدود یک متر، که از سبزیجات می‌باشد)

دست آمده، جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم در ساقه و شاخه‌ها به طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار کروم قرار گرفت. تجزیه آزمایشگاهی نشان داد که فلز کروم بیشتر در ریشه‌ها انباشته شد و مقدار کمی به بخش هوایی انتقال یافت. با این حال، رشد ریشه بر اثر حضور کروم در محلول غذایی کاهش چشمگیری پیدا کرد. همچنین علیرغم عدم تغییر عملکرد کل، تعداد میوه در هر بوته کاهش یافت که این به معنی بزرگتر شدن میوه بود. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که کروم در بخش خوراکی گیاه یعنی میوه گوجه‌فرنگی تجمع پیدا نکرده است. یک سال بعد همین گروه پژوهشی یعنی مورال و همکاران (1996)، آزمایش دیگری انجام دادند و متوجه شدند که حضور کروم در محیط رشد ریشه گوجه‌فرنگی، جذب آهن را نیز کاهش می‌دهد.

5- چگونه از انباشت نیترات و فلزات سنگین در میوه گوجه‌فرنگی جلوگیری کنیم؟

گوجه‌فرنگی یکی از پرمصرف‌ترین گیاهان گروه سبزیجات محسوب می‌شود که سرانه مصرف سالانه آن در ایران معادل 25 کیلوگرم گوجه‌فرنگی تازه می‌باشد (اشکواری، 1387). با توجه به مصرف بالای این محصول و به منظور ارتقای سلامت جامعه و جلوگیری از بروز بیماری‌ها و عوارض ناشی از انباشت ترکیبات مضر در بدن انسان، ارائه راهکارهای عملی جلوگیری از انباشت عناصر و ترکیبات زیان‌بار در میوه این گیاه ضروری خواهد بود. بدیهی است که وجود مواد و ترکیبات زیان‌بار نظیر نیترات، نیتريت و یا شکل‌های شیمیایی مختلف فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب، جیوه، آرسنیک و کروم در گوجه‌فرنگی باعث می‌شود که به تناسب میزان مصرف این محصول، ترکیبات مذکور به تدریج در اندام‌های مختلف بدن انباشته شده و منجر به ایجاد ناهنجاری‌های خطرناک و غیرقابل

درمانی مانند سرطان گردد. جلوگیری از انباشت مواد زیان‌بار در میوه از آنجا اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند که بدانیم به عنوان مثال، ترکیبات حاوی فلزات سنگین از پایداری زیادی برخوردار بوده و می‌توانند بدون تجزیه و تغییر شکل در بافت‌های زنده انباشته شوند. به علاوه، مطالعه وضعیت مصرف کودها در کشور نشان می‌دهد که کشاورزان از دانش و آگاهی کافی در زمینه تغذیه متعادل و بهینه گیاه برخوردار نیستند و به عنوان مثال، کودهای نیتروژن و فسفر در اغلب موارد بسیار بیشتر از مقدار لازم به خاک اضافه می‌شوند که پیامد آن انباشت نیترات، کادمیوم، سرب، آرسنیک و ... خواهد بود. همچنین در سال‌های اخیر با پیشرفت علم ژنتیک گیاهی، ارقام جدید با عملکرد بالاتر معرفی شده که به جهت تولید ماده خشک بیشتر، طبیعتاً میزان جذب عناصر مختلف نیز در آن‌ها بیشتر از ارقام قدیمی می‌باشد و این نرخ برون‌کشی مواد، باعث افزایش احتمال انباشت عناصر سنگین در گیاه خواهد شد. به منظور جلوگیری از انباشت نیترات و فلزات سنگین در میوه گوجه‌فرنگی و تولید محصول سالم می‌توان راهکارهای زیر را مد نظر قرار داد:

1-5- راهکارهای کاهش انباشت نیترات و فلزات سنگین در گیاه

- یکی از راهکارهای اساسی کاهش انباشت نیترات در گیاه، استفاده از ارقامی است که تمایل کمتری برای انباشت این ترکیب شیمیایی در اندام‌های خود دارند. مثلاً در آزمایش انجام شده توسط جزینی (1395)، میزان انباشت نیترات در گوجه‌فرنگی رقم فتوپراید 5، حدود 40% کمتر از انباشت نیترات در رقم سیپرسیت بود. استعداد وراثتی گیاهان برای انباشت نیترات در اندام‌های مختلف، مربوط به میزان فعالیت آنزیم احیاکننده نیترات (آنزیم نیترات ریداکتیز) می‌باشد که توسط

چندین ژن کنترل می‌گردد. بنابراین، تولید گونه‌های اصلاح شده گوجه‌فرنگی با استعداد ذاتی پایین برای انباشت نیترات، یکی از راهکارهای اصلی و مهم می‌باشد.

- مصرف متعادل عناصر غذایی و به ویژه مصرف پتاسیم، روی و منگنز می‌تواند به کاهش انباشت نیترات در گیاه کمک کند. مصرف بهینه عناصر باعث بهبود سیستم فتوسنتز می‌شود که نقش مهمی در احیاء و مصرف نیترات و کاهش تجمع آن در گیاه دارد.

- استفاده از مواد آلی کمپوست شده و کودهای بیولوژیک در کنار مصرف بهینه عناصر غذایی، علاوه بر افزایش کارایی استفاده از آب و کود و ارتقای عملکرد و کیفیت میوه (از طریق افزایش غلظت ویتامین ث)، کاهش غلظت نیترات در میوه را نیز به دنبال خواهد داشت.

- ضروری است در راستای راهبرد مصرف بهینه کودها، کودهای نیتروژنه نیز بر اساس نتایج تجزیه خاک و گیاه و تنها در حد میزان نیاز، در اختیار گیاه قرار گیرند. همچنین می‌توان از کودهای کُند رها مثل اوره با پوشش گوگردی (SCU) و یا اوره فرم آلدئید بهره گرفت. با استفاده از این کودها، نیتروژن به تدریج آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد.

- تقسیط کودهای نیتروژنی در طی دوره رشد گیاه، به این ترتیب، علاوه بر جلوگیری از منابع آلودگی خاک، از دسترسی ناگهانی گیاه به مقادیر بیش از حد کودهای نیتروژنه جلوگیری خواهد شد.

- استفاده از تکنیک اندازه‌گیری نیترات پای بوته (PSNT) و بهره‌گیری از دستگاه کلروفیل‌سنج (برای کشت گوجه‌فرنگی در گلخانه) نیز می‌تواند مانع انباشت نیترات در گیاه شود. به این ترتیب می‌توان کودهای نیتروژنه را در بهترین زمان و با مناسب‌ترین مقدار مصرف نمود.

- مدیریت مزرعه بایستی به نحوی باشد که گیاه در طول روز در معرض بیش‌ترین میزان نور قرار گیرد. مثلاً کشت عمودی گوجه‌فرنگی روش مناسبی نیست و می‌تواند منجر به انباشت نیترات در گیاه شود. یکی از راهکارها این است که در طول شب قبل از برداشت، با استفاده از نور مصنوعی از انباشت نیترات در گیاه جلوگیری نمود.

- ضروری است علاوه بر رعایت فاصله مناسب کاشت، برداشت محصول نیز در هنگام عصر انجام شود، زیرا یک دوره تاریکی با شدت نور پایین موجب انباشت نیترات در گیاه خواهد شد. در مزارع گوجه‌فرنگی که برداشت در عصر هنگام انجام می‌شود، غلظت نیترات میوه به مراتب پایین‌تر از مزارعی است که برداشت را اول صبح انجام می‌دهند. بررسی‌ها نشان داده که برداشت میوه در بعد از ظهر روزهای روشن و آفتابی طولانی، تأثیر فراوانی بر کاهش انباشت نیترات دارد.

- بایستی از بروز تنش‌های رطوبتی جلوگیری شده و حتی المقدور از کشت‌های پاییزه احتراز گردد.

- آبیاری دقیق و بهینه و فراهم نمودن شرایط محیطی مناسب، به ویژه شرایط تهویه مناسب در کشت گلخانه‌ای می‌تواند موجب کاهش تنش و در نتیجه مانع انباشت نیترات در گیاه شود.

- از مصرف کودهای بدون شماره ثبت و گواهی موسسه تحقیقات خاک و آب اکیداً خودداری شود. مصرف کودهای ناخالص نظیر برخی کودهای فسفردار، می‌تواند منجر به جذب کادمیوم، آرسنیک، سرب و جیوه توسط گیاه شود.

- حتی المقدور از کشت گوجه‌فرنگی در مجاورت کارخانجات و کارگاه‌های صنعتی احتراز گردد. برخی عناصر مانند کروم می‌توانند از این طریق وارد خاک شده و جذب گیاه شوند.

- از آبیاری با پساب‌های شهری، صنعتی و خانگی پرهیز گردد، زیرا به دلیل ظرفیت معین سیستم‌های زیست‌محیطی برای جذب آلاینده‌ها، ممکن است عناصری مثل سرب، جیوه و کادمیوم توسط گیاه جذب شده و در اندام‌های گوناگون از جمله میوه تجمع یابد.
- مصرف قارچ‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها تنها در هنگام ضرورت و با توصیه دقیق کارشناس گیاهپزشکی انجام شود. عناصر نامطلوبی مثل آرسنیک می‌توانند به این وسیله وارد محیط رشد گیاه شده و جذب شوند.
- از کشت گوجه‌فرنگی در مزارع مجاور جاده‌های پرتردد، خودداری شود. یکی از منابع مهم آلوده‌کننده محیط به عنصر سرب، دود حاصل از موتور وسایل نقلیه می‌باشد.
- از مصرف بیش از حد کمپوست خودداری شود. بررسی‌ها نشان داده که مصرف مقادیر زیاد کمپوست می‌تواند منجر به افزایش مقدار فلزات سنگین از جمله سرب و کادمیوم در اندام‌های هوایی گیاه شود.
- کودهای حاوی عنصر روی در مزارع مجاور کارخانه‌ها و کارگاه‌ها و تأسیسات صنعتی مصرف شود. بررسی‌ها نشان داده است که روی می‌تواند از جذب کادمیوم توسط ریشه گوجه‌فرنگی جلوگیری کند.
- در مزارع با احتمال وجود آرسنیک، کودهای فسفره مصرف شود. فسفر نقش مهمی در کاهش جذب و انتقال آرسنیک و تعدیل اثرات نامطلوب آن در گیاه دارد. در حضور مقادیر کافی فسفر در گیاه، بخش اعظم آرسنیک در ریشه انباشته شده و به سایر بخش‌ها منتقل نمی‌شود.
- غلظت نیترات و فلزات سنگین در گیاه به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری و پایش شود تا در صورت انباشت بیش از حد، اقدام‌های لازم از جمله استفاده از راهکارهای تغذیه‌ای و سایر تدابیر مدیریتی صورت گیرد.

منابع مورد استفاده

- احمدی، ک. و همکاران. 1394. آمارنامه سال زراعی 92-1391. جلد اول: محصولات زراعی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی. مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. تهران، ایران.
- استاندارد ملی ایران، شماره 6694. 1381. آب- آب آشامیدنی بسته‌بندی شده، چاپ اول. صفحه 10.
- اشکواری، م. 1387. بررسی تجارت بین‌المللی محصولات گوجه‌فرنگی فراوری‌شده در جهان و موقعیت ایران در این بازار. اولین کنگره ملی فناوری تولید و فراوری گوجه‌فرنگی. مشهد، ایران.
- اصغری پور، م. و م. رفیعی شیروان. 1387. آزمون زیست سنجی سمیت کمپوست زباله شهری بر سبز شدن و رشد گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی. فصل‌نامه دانش کشاورزی ایران. جلد 5. شماره 3. صفحه 269-279.
- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. 1380. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی (ترجمه). 428 صفحه.
- زمردی، ش. و ع. منتظری. 1378. بررسی اثرات کود ازته و زمان برداشت بر عملکرد و تجمع نیترات و نیتريت در گوجه‌فرنگی رقم کورال و فرآورده‌های حاصل از آن. چکیده گزارشات نهایی پروژه و طرح‌های تحقیقاتی سالهای 1379-1382. جلد دوم. صفحه 209.
- عابدی کوپایی، ج. م. جواهری طهرانی و ن. زمانی. 1392. بررسی توانایی سه گیاه تره تیزک، کاهو و گوجه‌فرنگی در جذب کادمیوم. نخستین کنفرانس بین‌المللی سیمای سرزمین. دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان، ایران.
- طباطبایی، س. ج. 1388. اصول تغذیه معدنی گیاهان. انتشارات مولف. 388 صفحه.

- فرهمند، ع، ح، فرداد، ع، لیاقت و ع، کاشی، 1385. بررسی تاثیر میزان آب آبیاری و کود نیتروژن بر کمیت و کیفیت گوجه‌فرنگی در شرایط کم آبیاری. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد 37، صفحه 273-280.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، 1389. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها، نشریه شماره 535، تهران، ایران.
- ملکوتی، م، ج، ف، مشیری و م، ن، غیبی، 1384. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در خاک و برخی از محصولات زراعی، انتشارات سنا، نشریه فنی شماره 407.
- ملکوتی، م، ج، ا، نوری، س، سماوات و م، بصیرت، 1384. علل تجمع نیترات در سبزی‌های میوه‌ای (خیار، گوجه‌فرنگی و ...) و روش‌های کنترل آن، انتشارات سنا، نشریه فنی شماره 414.
- ملکوتی، م، ج، م، نواب زاده و س، ج، هاشمی، 1376. بررسی اثرات سطوح مختلف کودهای نیتروژنه بر تجمع نیترات در سبزی‌ها، نشریه علمی پژوهشی موسسه تحقیقات خاک و آب، جلد یازدهم، شماره یک، تهران، ایران.
- ملکی، اف، و ا، اسلامی، 1389. مطالعه سینتیک و ایزوترم جذب آرسنیک پنج ظرفیتی از محلول آبی توسط کاه گندم اصلاح‌شده، مجله سلامت و محیط، فصل‌نامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، جلد 3، شماره 4، صفحه 439-450.
- یارقلی، ب، ف، عباسی و ع، لیاقت، 1388. بررسی جذب کادمیوم از محیط ریشه و تجمع آن در اندام‌های مختلف محصولات جالیزی رایج ایران، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد 10، شماره 2، صفحه 31-44.
- Akinci IE, S Akinci and K Yilmaz. 2010. Response of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) to lead toxicity: Growth, element uptake, chlorophyll and water content. African Journal of Agricultural Research 5(6): 416-423.

- Alloway BJ. 1990. Heavy Metals in Soils. John Wiley and Sons Inc., New York pp: 20-27.
- AL Oud SS, MH EL-Saeid and MEA Nadeem. 2014. Effect of Soil Chemical and Physical Properties on Cd Mobility Studied by Soil Thin-Layer Chromatography. Current World Environment 9(3): 561-569.
- APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 21th ed, American Public Health Association, Washington, USA.
- Arnfalk P, SA Wasay and S Tokunga. 1996. A Comparative Study of Cd, Cr, Hg and Pb Uptake by Minerals and Soil Materials. Journal of Water Air and Soil Pollution 87: 31-148.
- ATSDR. 1999. Toxicological Profile for Lead. US Department of Health and Human Services, Public Health Service 205-93-0606.
- Balba A, G Shibiny and E El-Khatib. 1991. Effect of Lead Increments on the Yield and Lead Content of Tomato Plants. Water, Air, and Soil Pollution 57-58, 93-99.
- Baroni F, A Boscagli, G Protano and F Riccobono. 2000. Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area. Environmental Pollution 109: 347-352.
- Basu A, I Mazumdar and K Goswami. 2013. Concentrations of lead in selected vegetables grown and marketed along major highway in Kolkata (India). IIOAB Journal 4(2): 32-35.
- Boddu VM, K Abburi, JL Talbott, ED Smith and R Haasch. 2008. Removal of arsenic (III) and arsenic (V) from aqueous medium using chitosan coated biosorbent. Water Research 42: 633-642.
- Bryan NS, DD Alexander, JR Coughlin, AL Milkowski and P Boffetta. 2012. Ingested nitrate and nitrite and stomach cancer risk: An updated review. Food and Chemical Toxicology 50: 3646-3665.
- Burlo' F, I Guijarro, AA Carbonell-Barrachina, D Valero and F Mart'inez-Sa'nchez. 1999. Arsenic Species: Effects on and Accumulation by Tomato Plants. Journal of Agriculture, Food and Chemistry 47: 1247-1253.

- Campos V and MA Faustino Pires. 2004. Phytoremoval of arsenic from soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 35: 2137–2146.
- Carbonell-Barrachina AA, F Burló, A Burgos-Hernández, E López and J Mataix. 1997. The influence of arsenite concentration on arsenic accumulation in tomato and bean plants. *Scientia Horticulturae* 71(3-4): 167-176.
- Cardenas-Navarro R, S Adamowicz, A Gojon and P Robin. 1999. Modeling nitrate influx in young tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Journal of Experimental Botany* 50: 625-635.
- CEC. 1997. Setting maximum levels for certain contaminations in foodstuffs. *Official Journal of the European Communities* 31: 48-50.
- CEC. 1999. Commission regulation (EC) No 64/1999 of 26 April, Amending Regulation (EC) No 197/97, setting maximum levels for certain contaminations in foodstuffs. *Official Journal of the European Communities* 116: 16-18.
- CECSFC. 1992. Report of the nitrate and nitrite, XXXVI series 130-139.
- Cho UH and JO Park. 1999. Changes in hydrogen peroxide content and activities of antioxidant enzymes in tomato seedlings. *Journal of Plant Biology* 42(1): 41-48.
- Cho UH and JO Park. 2000. Mercury-induced oxidative stress in tomato seedlings. *Plant Science* 156: 1-9.
- Cobb GPK, M. Sands, BG Waters, E Wixson and E Dorward-King. 2000. Accumulation of Heavy Metals by Vegetables Grown in Mine Wastes. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19(3): 600-607.
- Cui Y, Y Zhu, R Zhai, Y Huang, D Chen, Y Huang et al. 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environment International* 30: 785–91.
- Cui Y, Y Zhu, R Zhai, Y Huang, Y Qiu and J Liang. 2005. Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning, China. *Environment International* 31: 784–90.
- Duker AA, EJ Carranza and M Hale. 2005. Arsenic geochemistry and health. *Environmental International* 31: 631-641.
- EEC. 2001. Commission Regulation (EC) no. 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.

- Official Journal of the European Communities 16.3.2001, L77/1-23.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO fishery circular No. 464. Pp. 5-100.
 - Farid ATM, KC Roy, KM Hossain and R Sen. 2003. A study of arsenic contaminated irrigation water and its carried over effect on vegetable. In: Fate of arsenic in the environment. Ahmed MF, Ali MA, Adeel Z, eds. Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka, Bangladesh/The United Nations University, Tokyo, Japan pp. 113-121.
 - Fatoba PO, AO Adepoju and GA Okewole. 2012. Heavy metal accumulation in the fruits of tomato and okra irrigated with industrial waste effluents. Journal of Industrial Pollution Control Paper 28(2): 103-107.
 - Flores L, G Blas, G Hernandez and R Alcala. 1997. Distribution and sequential extraction of some heavy metals from soils irrigated with wastewater from Mexico City. J. Water, Air and Soil Pollution 98: 105-117.
 - Galangau F, F Daniel-Vedele, T Moureaux, M Dorbe, M Leydecker and M Caboche. 1988. Expression of Leaf Nitrate Reductase Genes from Tomato and Tobacco in Relation to Light-Dark Regimes and Nitrate Supply. Plant Physiology 88(2): 383-388.
 - Hart JJ, RM Welch, WA Norvel, LA Sullivan and LV Kochian. 1998. Characterization of cadmium binding, uptake and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. Plant Physiology 116: 1413-1420.
 - Jacob JO and SE Kakulu. 2012. Assessment of Heavy Metal Bioaccumulation in Spinach, Jute Mallow and Tomato in Farms Within Kaduna Metropolis, Nigeria. American Journal of Chemistry 2(1): 13-16
 - Kross BC, AD Ayebo and LJ Fuortes. 1992. Methemoglobinemia: nitrate toxicity in rural America. American Family Physician 46(1): 183-8.
 - Luh BS, N Ukai and JI Chung. 1973. Effects of nitrogen nutrition and day temperature on composition, color and nitrate in tomato fruit. Journal of Food Science 38 (1): 29-33.

- Mann SS, AW Rate and RJ Gilkes. 2002. Cadmium accumulation in agricultural soils in Western Australia. *Water, Air, Soil Pollution* 141: 281-297.
- Maynard DN. 1978. Critique of "Potential nitrate levels in edible plant parts". In *Nitrogen in nitrogen in environment*, edited by DR Nelson and JG MacDonald. 221-223.
- Merrington G and BJ Alloway. 1997. Determination of the residual metal binding characteristics of soils polluted by Cd and Pb. *Journal of Water Air and Soil Pollution* 100: 49-62.
- Miransari M. 2011. Hyperaccumulators, arbuscular mycorrhizal fungi and stress of heavy metals. *Biotechnology Advances* 6: 645-653.
- Miteva E. 2002. Accumulation and effect of arsenic on tomatoes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 3(11-12): 1917-1926.
- Mol S. 2011. Levels of selected trace metals in canned tuna fish produced in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis* 24(1): 66-69.
- Moral R, JN Pedreno, I Gomez and J Mataix. 1995. Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. *Journal of Plant Nutrition* 18(4): 815-822.
- Moral R, I Gomez JN Pedreno and J Mataix. 1996. Absorption of Cr and effects on micronutrient content in tomato plant (*Lycopersicum esculentum* M). *Agrochimica* 40: 132-8.
- Ozturk F, F Duman, Z Leblebici and R Temizgul. 2010. Arsenic accumulation and biological responses of Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) exposed to arsenite. *Environmental Experience Botany* 69: 167-174.
- Pagliuca A, D Baldwin, AN Lsetas, RM Wallis, AJ Bellingham and GJ Mufti. 1990. Lead poisoning: clinical, biochemical and hematological aspects of a recent out break. *Journal of clinical pathology* 43: 277-287.
- Passam HC, IC Karapanos, PJ Bebeli and D Savvas. 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1: 1-21.
- Piechalak A, B Tomaszewska, D Baralkiewicz and A Malecka. 2002.

- Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. *Phytochemistry* 60: 153-162.
- Pigna M, AG Caporale, V Cozzolino, C Fernández López, ML Mora, A Sommella and A Violante. 2012. Influence of phosphorus on the arsenic uptake by tomato (*Solanum lycopersicum* L.) irrigated with arsenic solutions at four different concentrations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12 (4): 775-784.
 - Ponce RG and ML Salas. 1999. Differential utilization of nitrates by solanaceous species, crops (tomato and pepper) and weeds. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74 (2): 254-258.
 - Rajesh Kumar S, A Madhoolika and MM Fiona. 2008. Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: A case study in Varanasi. *Environmental Pollution* 154(2): 254-263.
 - Reilly C, BS Bphil and PD Fairst. 2002. Metal contamination of food, its significance for food Quality and HUMAN Health. 3rd ed., Blackwell Science Ltd., Osney mead, Oxford, UK (167).
 - Relf D, A McDaniel and S Donohue. 2002. Fertilizing the vegetable garden. *Environmental Horticulture*, Virginia Cooperative Extension, Virginia State University.
 - Sanita` di Toppi L, F Fossati, R Musetti, I Mikerezi and MA Favali. 2002. Effects of Hexavalent Chromium on Maize, Tomato, and Cauliflower Plants. *Journal of Plant Nutrition* 25(4): 701-717.
 - Schmidt U. 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, leaching heavy metals. *Journal of Environmental Quality* 32: 1939-1954.
 - Schwedt G. 2001. Essential guide to environmental chemistry. Translated by Brooks, H. John Wiley, 120 p.
 - Singh BR and MJ MacLaughlin. 1999. Cadmium in soils and plants: Summary and research perspectives. In *Cadmium in soils and plants*, eds. MJ MacLaughlin and BR Singh, 257-267. Boston: Kluwer Academic Publishers.
 - Storelli MM, G Barone, G Cuttone, D Giungato and R Garofalo. 2010. Occurrence of toxic metals (Hg, Cd and Pb) in fresh and canned tuna: Public health implications. *Food and Chemical Toxicology* 48: 3167-3170.
 - Tomala K. 1997. Orchard factors affecting nutrient content and fruit

- quality. *Acta Horticulturae* 448: 257–264.
- Wanger GL. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Advanced Agronomy* 51:173-212.
 - Ward MH, TM deKok, P Levallois, J Brender, G Gulis and BT Nolan. 2005. Workgroup report: Drinking-water nitrate and health--recent findings and research needs. *Environmental Health Perspectives* 113(11): 1607-14.
 - Warren WJ, DW Hand and MA Hannah. 1992. Light interception a photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. *Journal of Experimental Botany* 43: 363–373.
 - WHO/FAO. 2007. Joint FAO/WHO Food Standard Programme Codex Alimentarius Commission 13 Session. Report of the thirty eight session of the codes committee on food hygiene. Houston, United State of America, ALNORM 07/03/13.
 - Wierzbicka M and J Obidzinka. 1998. The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Science* 137: 155-171.
 - Zayed A, CM Lytle, JH Qian and N Terry. 1998. Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta* 206: 293–299.