دانشکده علوم کشاورزی

پایانامه کارشناسی ارشد

برهمکنش روی و کادمیوم بر رشد و تجمع کادمیوم در گیاه برنج رقم هاشمی (*Oryza sativa* L. cv. Hashemi)

از:

صدیقه خوشحال سقالکساری

استادان راهنما:

دکتر اکبر فرقانی

دکتر حسن رمضانپور

اسفند91

دانشکده علوم کشاورزی
گروه علوم خاک
(گرایش شیمی و حاصلخیزی خاک)

عنوان:

برهمکنش روی و کادمیوم بر رشد و تجمع کادمیوم در گیاه برنج رقم هاشمی(*Oryza sativa* L. cv. Hashemi)

از:
صدیقه خوشحال سقالکساری

استادان راهنما:
دکتر اکبر فرقانی
دکتر حسن رمضانپور

استاد مشاور:
دکتر مسعود اصفهانی

اسفند 91

تقدیم به:

به خدای مهربانم
که فرصت زندگی به من عطا فرمود

به پدر و مادر مهربانم
که در تمام لحظات زندگیم یاریم کردند

به برادران و خواهرم
که بودن آنها شادی من در زندگی هست

و به دوستان مهربانم

سپاس و قدردانی

سپاس از الطاف بی کران الهی که مسیر را بر من هموار ساخت، به قلمم نیرو، به پاهایم قدرت و به فکرم صلابت داد تا بنویسم برای او. اکنون که ایزد منان بر من منت نهاد و برگ دیگر از دفتر موفقیت را بر من گشوده سجده شکر بر پیشگاهش می سایم و از او مدد می خواهم که یاریم نماید و زبانم را گویا کند برای شکر و سپاس از بندگانش.

از خانواده عزیزم پدر، مادر، خواهرم و برادرانم که در تمام مراحل زندگی پشتوانه‌ام بودند سپاسگذارم.

از اساتید راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر فرقانی و جناب آقای دکتر رمضانپور برای یاری و راهنمایی های ارزنده شان قدردانی می نمایم و از ایزد منان برای ایشان آرزوی صحت و سلامتی را دارم. از زحمات بی دریغ استاد مشاور گرامی جناب آقای دکتر اصفهانی که همیشه مرا ازراهنمایی های خویش بهره مند ساختند، سپاسگزارم. ازمسئولین آزمایشگاه جناب آقای مهندس انصاری و جناب اقای مهندس زینعلی وسرکارخانم معلمی به خاطر همکاری صمیمانه سپاسگزارم. از اساتید گروه خاکشناسی دانشگاه گیلان که افتخار شاگردیشان را داشتم سپاسگزارم.

از تمامی اعضای گروه باغبانی که به نحوی در انجام این پروژه یاریم نمودند سپاسگزارم. از جناب آقای صفایی که مانند پدری در سختی‌های پروژه به اینجانب کمک نمودند کمال تشکر را دارم. از کارکنان اداره تاسیسات دانشگاه کمال تشکر را دارم.

در نهایت از تمامی کسانی که در تمام مراحل زندگی یاریم نمودند کمال تشکر را دارم.

صدیقه خوشحال سقالکساری
اسفند ماه هزار و سیصد و نودو یک هجری شمسی

فصل اول

مروری بر منابع

1-1- برنج

برنج پس از گندم مهمترین ماده‌ی غذایی دنیاست و غذای عمده‌ی بیش از نیمی از جمعیت کره‌ی زمین را تشکیل می‌دهد، به گونه‌ای که در مناطق پرجمعیت کره‌ی زمین واژه‌ی برنج مترادف با واژه‌ی زندگی است. دانه‌ی برنج فقط به مصرف انسان می‌رسد و در قاره‌ی آسیا نزدیک به 80 درصد کالری روزانه‌ی مردم توسط برنج تامین می‌شود. خاستگاه برنج کشورهای آسیای جنوب شرقی است و ممکن است به طور مستقل در چین، هندوستان و اندونزی اهلی شده باشد. پیشینه‌ی کشت آن به 1500 تا 2000 سال پیش از میلاد می‌رسد. دامنه‌ی کشت برنج پس از اهلی شدن گسترش یافته، به گونه‌ای که هم‌اکنون تولید برنج از 53 درجه شمالی (در شمال شرق چین) تا 40 درجه عرض جنوبی (در استرالیا) گسترده شده است. فرم‌های وحشی زیادی از برنج در آسیا، افریقا و امریکا مشاهده شده است و به درستی معلوم نیست کدام یک از آنان از اجداد برنج‌های امروزی می‌باشد، گرچه به نظر می‌رسد نزدیک‌ترین خویشاوند برنج‌های کنونی *Oryza fatua* باشد. از بیش از 20 گونه‌ی موجود برنج تنها دو گونه‌ی *sativa* و *glaberrima* در سطح تجاری کشت می‌شوند. تمام ارقام برنجی که در قاره‌ی آسیا، امریکا و اروپا کشت می‌شوند، متعلق به گونه‌ی *sativa* هستند و گونه‌ی *glaberrima* تنها در سطح محدود به صورت دیم در بخش‌هایی از قاره‌ی آفریقا کشت می‌شود و احتمال داده می‌شود که منشاء این برنج غرب آفریقا بوده باشد. هیبرید حاصل از تلاقی این دو گونه‌ی برنج عقیم است [مجنون، 1385].

1-1-1- سطح زیر کشت برنج در جهان

بر اساس آمار سازمان خواروبار و کشاورزی در سال 2010 تولید جهانی برنج در حدود 672 میلیون تن و سطح زیر کشت آن در حدود 153 میلیون هکتار می‌باشد، که دارای میانگین عملکردی در حدود 4/1 تن در هکتار می‌باشد [FAO, 2010]. کشورهای مهم تولیدکننده برنج در آسیا چین، هند، اندونزی، بنگلادش، ویتنام، میانمار، تایلند و فیلیپین است که با دارا بودن سطح زیر کشت در حدود 140 میلیون هکتار سالانه مقدار 618 میلیون تن شلتوک تولید می‌کند که در 90 درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص داده‌اند [FAO, 2010]. قاره افریقا با سطح کشت در حدود 9383330 هکتار مقدار تولید آن 24 میلیون تن می‌باشد. همچنین سطح زیر کشت قاره امریکا در حدود 7395848 هکتار است که سهم آن از تولید جهانی 38 میلیون تن می‌باشد [FAO, 2010].

1-1-2- سطح زیر کشت برنج در ایران

براساس آخرین آمار منتشر شده سازمان خواروبار و کشاورزی در سال 2010 سطح زیر کشت برنج ایران در حدود 563517 هکتار و مقدار تولید آن در حدود 2288150 تن می‌باشد، که میانگین عملکرد آن در حدود 4/250 تن در هکتار می‌باشد [FAO, 2010].

میزان تولید شلتوک در کشور در حدود 2/25 میلیون تن برآورد شده‌است. متوسط عملکرد انواع گونه‌های شلتوک در کشور 4205/60 کیلوگرم در هکتار است. استان‌های آذربایجان غربی و کرمانشاه به ترتیب با تولید 5254/55 و 1390/05 کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد برنج را در کشور به خود اختصاص دادند [آمارنامه کشاورزی 89-1388]. تخمین زده شده که تا سال 2050 تولید برنج بایستی بالغ بر 50 درصد افزایش یابد که این افزایش تولید نیازمند اصلاح ارقام و اعمال مدیریت‌های صحیح زراعی است. برای دستیابی به عملکرد بالا، حفظ حاصلخیزی خاک که از طریق مصرف متعادل کودهای شیمیایی حاصل می شود [امام، 1386].

1-2- آلودگی محیط زیست

آلودگی عبارت است از هر گونه تغییر در ویژگی‌های اجزاء متشکل محیط به طوری‌که استفاده بیش از آنها ناممکن گردد. به طور مستقیم و غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را مخاطره اندازد[دبیری، 1380]. به ورود آلاینده‌ها به یک محیط که باعث ناپایداری، اختلال،آسیب و یا ناراحتی در آن محیط برای موجودات زنده شود، آلودگی گفته می‌شود [Anonymous, 2010]. امروزه آلودگی محیط زیست به عنوان یکی از مباحث بسیار مهم در زندگی بشر مطرح است. این پدیده با تخریب منابع طبیعی روز به روز سبب ایجاد محدودیت بیشتر برای ساکنان کره زمین می‌شود. گرچه امکان آلودگی محیط زیست از طریق برخی فرایندهای طبیعی وجود دارد ولی می‌تواند ناشی از برخورد غیر مسئولانه انسان با محیط زیست و استفاده نادرست از منابع پایه نیز باشد. از جمله فعالیت‌های بشری استفاده از سوخت‌های فسیلی، فعالیت-های کشاورزی و صنعتی، فرایندهای استخراج و ذوب فلزات و وارد نمودن پسماندها به محیط خاک می‌باشد که به طور فزاینده‌ای به آلودگی محیط زیست دامن زده و سبب حادتر شدن این مشکل شده است. پس از آب و هوا، خاک به عنوان سومین جزء اصلی محیط زیست، نقش حیاتی در تامین جایگاه موجودات زنده از جمله گیاهان خشکی‌زی دارد. ورود آلاینده‌ها و تجمع آنها در خاک دارای آثار مخربی است که از رشد طبیعی گیاهان به عنوان اصلی‌ترین عضو زنجیره حیات جلوگیری کرده و صدمات جبران‌ناپذیری بر این اکوسیستم و سایر اکوسیستم مرتبط به آن وارد می‌کند.

یکی از مسائل زیست محیطی، آلوده‌شدن خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین است. متاسفانه به دلیل ورود انواع پسماندهای صنعتی و ضایعات کارخانه‌های مختلف، میزان ورود این فلزات به خاک رو به افزایش است [رجائی، 1385].

3-1- فلزات سنگین

84 عنصر از 106 عنصر شناخته شده به عنوان فلز دسته بندی شده‌اند و از این جهت آلودگی فلزات متنوع می‌باشند. تمام فلزات عنوان شده برای محیط خطرآفرین نمی‌باشند. تعدادی غیر سمی، تعدادی از فلزات حتی اگر سمی باشند خیلی کمیاب بوده یا ترکیبات آنها غیر قابل حل است نتیجتا فقط تعداد کمی از فلزات جزء آلودکننده‌های محیطی در نظر گرفته شده‌اند. این ترکیب‌ها اغلب در قالب آلاینده‌های محیطی از جمله آلودگی چون مراکز صنعتی، استفاده افراطی از کودهای کشاورزی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی به صورت برگشت‌پذیر وارد خاک می‌شوند. در بسیاری از خاک‌های اسیدی سراسر دنیا و حدود نیمی از زمین‌های زراعی که پتانسیل تولید مواد غذایی دارند، فلزات سنگین به عنوان عامل اصلی محدودیت رشد گیاهان می‌باشند [دبیری، 1380]. فلزات سنگین یا یون‌های فلزی سمی به دسته‌ای از فلزات جدول تناوبی مندلیف گفته می‌شود که چگالی آنها از عنصر آهن (5/5 گرم بر سانتیمترمکعب) بیشتر باشد [زارع و اسرار،1387]. دفع فلزات سنگین طی فعالیت‌های انسانی، آلودگی بسیاری از خاک‌ها رادر سطح جهان به همراه داشته‌است به طوری‌که شدت آلودگی در این خاک‌ها بیش از حد طبیعی بوده و یا به زودی به آن خواهد رسید [Rossini, et al., 2007]. آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است و با انتقال این عناصر سمی از طریق تولیدات گیاهی به انسان، سلامتی افراد جامعه به خطر می‌افتد. علاوه بر آن آلوده شدن خاک و فلزات سنگین پایداری تولیدات کشاورزی را دچار مخاطره می‌سازد و ممکن است موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول شود.

از دلایل اهمیت جلوگیری از ورود فلزات سنگین را می‌توان ماندگاری طولانی مدت در طبیعت؛ سمی‌تر شدن برخی از فلزات سنگین در طبیعت نظیر جیوه؛ در معرض خطر قرار گرفتن زندگی انسان به واسطه تجمع زیستی فلزات سنگین در زنجیره غذایی و به تبع آن، تهدید فعالیت فیزیولوژیکی طبیعی میکروارگانیسم‌ها نام برد. در نتیجه این فرایند، سطوح فلزات در اعضای بالاتر در زنجیره می‌تواند به مقادیر تا چندین برابر آنهایی که در آب و هوا یافت می‌شوند، برسند. در نتیجه موجب به مخاطره افتادن سلامتی گیاهان و جانوران که از این مواد غذایی استفاده می‌کنند می شوند[دبیری، 1380].

در دهه‌های اخیر فعالیت‌های بشری از جمله توسعه و رشد شهرها، رشد و تکامل صنایع و فن‌آوری استخراج معادن، تخلیه پساب‌های صنعتی، مصرف مواد سوختی، تخیله فاضلاب شهری و مصرف لجن حاصل از فاضلاب، استفاده از علف-کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و سموم سبب شده است که مقادیر زیادی از فلزات سنگین وارد خاک شده و آن را آلوده کند. دفع فلزات سنگین طی فعالیت‌های انسان، آلودگی بسیاری از خاک‌ها را در سطح جهان به همراه داشته، به طوری که شدت آلودگی در این خاک ها یا بیش از حد طبیعی بوده و یا به زودی به آن حد خواهد رسید.

نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حداقل 20 میلیون هکتار از اراضی در شمال و جنوب افریقا، امریکای جنوبی، خاورمیانه، جنوب اروپا و جنوب غرب امریکا، مکزیک و بخش مهمی از آسیای مرکزی و شرقی که عمدتا به کشت سبزی و صیفی اختصاص دارد با فاضلاب خام شهری و صنعتی آبیاری می‌شود. استفاده از این منابع در مناطق مختلف،آلودگی خاک و تجمع فلزات سنگین در محصولات زراعی را به همراه داشته است [Carr et al., 2005]. نتایج تحقیقات فیضی [2001] دراصفهان نشان می‌دهد که در مدت هشت سال استفاده از فاضلاب در کشاورزی، در لایه 40 سانتیمتری خاک افزایش معنی‌داری در غلظت فلزات روی، منگنز، مس و آهن مشاهده نگردید ولی میزان فلزات مذکور در محصولات گندم و گوجه فرنگی افزایش یافته که البته این افزایش بیش از حد مجاز نبوده است.

منبع اصلی فلزات سنگین خاک، مصرف پساب‌های شهری و صنعتی، کودهای شیمیایی، لجن حاصل از تصفیه‌خانه های فاضلاب و معادن استخراج فلزات است [Okoronkwo, et al., 2005]. اکثر فلزات در لایه سطحی خاک رسوب نموده و تجمع تدریجی آنها در دراز مدت منجر به انتقال به محصولات زراعی، در حدی فراتر از استانداردهای مجاز مصارف انسانی می شود [Channey, et al., 2001].

بر اساس نتایج تحقیقات جینی در سال های 1988 تا 1998، فلزات سنگین از نظر میزان جذب و انتقال از محیط ریشه به گیاه و حیوانات به سه گروه تقسیم بندی می‌شوند:

الف) عناصری مانند قلع، سیلیسیم، سرب، جیوه، کروم، نقره، تیتانیوم نامحلولند و در گیاه تجمع نمی‌یابند.

ب) گروهی از عناصر جذب ریشه می‌شوند ولی در درون ریشه نامحلولند و به عبارت دیگر انتقال آنها به اندام‌های دیگر محدود می‌گردد به‌طور مثال آهن و آلومینیوم

ج) بعضی از عناصر مانند روی، مس، نیکل، کبالت، منگنز، بر و آرسنیک، بیش از حد سمیت برای حیوانات، می‌توانند جذب گیاه شوند ولی توسط آنها مصرف نمی‌شوند

نتایج تحقیقات مستشاری [1380] نشان می‌دهد که استفاده از فاضلاب‌های صنعتی در اراضی زراعی قزوین باعث افزایش غلظت سرب، مس، کادمیوم و روی به مقدار چندین برابر حد مجاز در خاک و محصولات زراعی شده است. این حالت برای بخش مهمی از اراضی کشور، به ویژه اراضی حاشیه‌های شهرهای بزرگ به وجود آمده و در حال گسترش می باشد. بررسی آلودگی اراضی زراعی کشور نشان می‌دهد که مقدار کادمیوم و سرب در بخشی از اراضی آلوده استان‌های گیلان، زنجان، اصفهان و چهارمحال بختیاری به ترتیب 1/9 تا 180/5 و 89/4 تا 2610/4 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است [ترابیان و همکاران، 1373، شریعت و همکاران، 1381 و جعفرزاده، 1375]. سپهوند و فرقانی حد بحرانی روی برای گیاه ذرت در خاک‌های لرستان با استفاده از روش تصویری کیت_نلسون، 0/37 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به دست آوردند. در

حالی‌که این مقدار در خاک‌های اسیدی استان گیلان برای گیاه ذرت 1/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به روش کیت و نلسون بود.

جدول 1-1- حد بحرانی فلزاتی که در بدن انسان می‌توانند ذخیره شوند [دبیری، 1384]

فلز	غذا و آب	هوا	حد مسمومیت mg	شامل کل بدن mg
کادمیوم	0/6	0/0074	3	50
روی	14/5	0/0168	-	22

1-4-کادمیوم

کادمیوم در جدول تناوبی با نشان Cd و عدد اتمی 48 قرار گرفته است. کادمیوم عنصری نسبتا" کمیاب، نرم، رنگ سفید مایل به آبی و فلز انتقالی سمی می‌باشد که در سنگ معدن روی وجود داشته و در باطری‌ها به مقدار زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد [Marrow, 2010]. کادمیوم فلز دو ظرفیتی است نرم، چکش‌خوار، انعطاف پذیر و به رنگ سفید مایل به آبی که با چاقو به راحتی بریده می‌شود. این عنصر از بسیاری جهات شبیه روی است اما کادمیوم ترکیبات پیچیده بیشتری بوجود می‌آورد [Holleman et al., 1985]. معمولی‌ترین حالت اکسیداسیون Cd^{2+} می‌باشد، گرچه نمونه‌های کمیابی از Cd^{1+} نیز می‌توان پیدا کرد[Cotton, 1999].

تقریبا" سه چهارم کادمیوم در باطری‌ها استفاده می‌گردد(بخصوص باطری‌های Ni-Cd و بیشتر یک سوم باقی مانده عمدتا" جهت رنگ‌ها، پوشش‌ها، آبکاری و بعنوان مواد ثبات بخش در پلاستیک‌ها بکار می‌رود [Michael, 2001]. کاربردهای دیگر کادمیوم عبارتند از:

در بعضی از آلیاژهای زود ذوب به کار می‌رود. به علت ضریب اصطکاک پائین و مقاومت بسیار خوب در برابر خستگی، در آلیاژهای بلبرینگ از آن استفاده می‌شود. 60 درصد از کادمیوم یافت شده در آبکاری الکتریکی به کار می‌رود. انواع بسیاری از لحیم‌ها حاوی این فلز هستند. بعنوان مانعی برای کنترل شکاف اتمی (nuclear fission) به کار می‌رود [Michael, 2001]. ترکیبات حاوی کادمیوم در مواد درخشان تلویزیون‌های سیاه و سفید و نیز در مواد درخشان آبی و سبز در لامپ تصویر تلویزیون‌های رنگی بکار می‌روند [Lee, 2002]. کادمیوم نمک‌های مختلفی را بوجود می‌آورد که معمول‌ترین آنها سولفات کادمیوم است. از این سولفید بعنوان رنگدانه زرد استفاده می‌شود. در برخی نیمه هادی‌ها کاربرد دارد. بعضی از ترکیبات کادمیوم بعنوان تثبیت کننده در Polyvinyl Coloride بکار می‌رود[Buxbaum et al., 2005].

کادمیوم یک عنصر غیر ضروری و سمی بوده که در غلظت‌های پایین در طبیعت وجود دارد و نیم عمر بیولوژیکی آن 30 سال است [Wagner, 1993]. کادمیوم برای انسان سمی است و در کلیه انباشته شده و وظایف آنها را مختل می‌کند. منشا عمده کادمیوم در انسان، غذا و توتون بوده و نقش آب آشامیدنی یا آلودگی هوا ناچیز است. مقدار ورودی کادمیوم از طریق غذا به بدن انسان در حدود 10 تا 40 میکروگرم در روز که کمتر از 5 درصد آن جذب بدن می‌شود. مصرف دخانیات به میزان 20 سیگار در روز سبب تولید 2 تا 4 میکروگرم کادمیوم است که با دم به شش‌ها فرو برده شده و 50 درصد آن جذب می‌شود [WHO, 1992] علت سمی بودن این عنصر به دلیل میل شدید آن به گروه تیول (SH-) در آنزیم‌ها و سایر پروتئین‌ها می‌باشد. لذا وجود کادمیوم فعالیت آنزیم‌ها را مختل و منجر به بروز بیماری‌هایی نظیر نکروز کبدی، بیماری‌های قلبی و عروقی می‌شود [Ali, et al., 2003]. محققان عامل بیماری ایتایی ایتایی در ژاپن را، آبیاری مزارع برنج توسط آب‌های آلوده به کادمیوم تشخیص دادند.

سازمان بهداشت جهانی مقدار مجاز کادمیوم در رژیم غذایی هفتگی انسان را معادل 7 میکروگرم بر کیلوگرم وزن بدن و حداکثر مقدار مجاز در خوراک انسان را معادل 0/1 قسمت در میلیون اعلام کرده است [WHO, 1989]. حد استاندارد کادمیوم در آب آشامیدنی 0/01 میکرو گرم بر کیلوگرم می‌باشد. برای تغذیه دام نیز مقدار مجاز کادمیوم معادل 10 تا 20 قسمت در میلیون گزارش شده است [Kabatta, et al., 2001].

1-4-1- کادمیوم در خاک

اولین بار در سال 1963 تعدادی از محققان آلودگی کودهای شیمیایی به برخی فلزات سنگین به خصوص کادمیوم را به عنوان عامل خطرناکی برای سلامتی انسان و محیط زیست گزارش کردند [Lin and Schorr, 1977]. کادمیوم با مقدار 0/06 تا 1/1 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک یکی از مهم‌ترین و متحرک‌ترین فلزات سنگین خاک محسوب می‌شود[Allowy, 1990]. آلووی [Allowy, 1990] گزارش داد که اکثر خاک‌های غیر آلوده دارای کادمیوم کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشند. براساس استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست امریکا میانگین مجاز ماهانه افزایش یون کادمیوم در خاک 39 میلی گرم در کیلوگرم خاک اعلام شده و مقدار کل کادمیوم اضافه شده در هر هکتار خاک در سال نباید از 1/9 کیلوگرم تجاوز نماید [USPA, 1992]. غلظت کادمیوم در محلول خاک غیر آلوده در حدود 0/32_0/04 میلی‌مولار و در خاک با آلودگی متوسط بین 0/32 تا حدود 1 میلی‌مولار می‌باشد.

خاک منبع اصلی ورود کادمیوم به داخل گیاه است. به طور کلی قابلیت استفاده کادمیوم خاک تحت تاثیر مقدار و منشاءکادمیوم، pH، مقدار ماده آلی، مقدار و نوع رس، رقابت سایر عناصر به ویژه روی، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری می‌باشد [Lie, et al., 1994]. کادمیوم از منابع مختلف وارد خاک می‌شود ولی در زمین‌های کشاورزی، کادمیوم موجود

در کودهای فسفره، یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی خاک با این عنصر سمی است [ثوابقی و ملکوتی، 1379]. نقش کودهای فسفره در آلودگی خاک‌های زراعی با کادمیوم در بسیاری از منابع ذکر گردیده است [Weggler-Beaton, et al., 2000]. مقدار قابل توجهی از کادمیوم به صورت ناخالصی در کودهای شیمیایی فسفره وجود داشته که منشا آنها از سنگ فسفر است [ثوابقی و ملکوتی، 1379].

در طی سه دهه گذشته هیچ نظارتی بر ورود، توزیع و مصرف کودهای شیمیایی فسفره در ایران نبوده و همین امر موجب شده سالیانه مقادیر قابل توجهی فسفر و کادمیوم وارد خاک‌های زراعی و باغی کشور شود [خوشگفتار منش و همکاران، 1380]. از پیامدهای مصرف بی‌رویه کودهای فسفره، کمبود روی (یک عنصر غذایی) و تجمع کادمیوم (یک عنصر سمی) در بافت‌های گیاهی است [ثوابقی و ملکوتی، 1379]. با در نظر گرفتن مسمومیت شدید کادمیوم در خاک-هایی که به عنوان محل تخیله زباله مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌تواند مسئله جدی و زیان باری ایجاد نماید.

1-4-2- کادمیوم در گیاه

در بین فلزات سنگین توجه خاصی به کادمیوم می‌شود زیرا این عنصر می‌تواند تا حد زیادی در برگ تجمع پیدا کند و به علاوه سمیت کادمیوم برای گیاه تا 20 برابر سایر فلزات سنگین می‌باشد. کادمیوم از طریق کودهای فسفات و سولفات روی و کارخانه ذوب فلزات وارد محیط می‌گردد[ملکوتی و همایی، 1382]. این عنصر بدون اینکه علائم مسمومیت را نشان دهد در گیاه تجمع می‌یابد [Lehoczky , et al. , 1998]. زمانی که میزان کادمیوم در خاک زراعی به حدود 100 میلی گرم بر کیلوگرم برسد، رشد و عملکرد گیاه زراعی به طور محسوسی کاهش می‌یابد [بابیوردی و ملکوتی، 1381]. کادمیوم اغلب در واکوئل سلول‌های گیاهان عالی تجمع می‌یابد، همچنین تجمع کادمیوم در دیواره سلول و تیغه میانی، بین آندودرم و دایره محیطیه نیز گزارش شده است [Larsson, et al. 1998]. برخی از گیاهان مقادیر بسیار زیادی از فلزات سنگین را در خود جمع می‌کنند اما هنوز مفهوم روشنی از مکانیسم‌های مقاومت و تحمل این گیاهان در شرایط تنش فلزات سنگین بیان نشده است [Ali, et al., 2003].

طبق آزمایشات دیویس و اسمیت در سال 1980 ترتیب حساسیت گیاهان به سمیت کادمیوم اسفناج> سویا> شاهی> کاهو> ذرت> هویج> شلغم> لوبیا> گندم> تربچه> گوجه فرنگی> کدو> کلم> برنج هستند.

نتایج تحقیقات نشان داده است که اولین اثر کادمیوم بر گیاه، کاهش فتوسنتز است. کاهش سنتز کلروفیل و فتوسنتز در اثر سمیت کادمیوم، باعث کاهش زیست توده گیاه می‌شود [Padmaja, 1990]. در یک آزمایش اثر کادمیوم بر روی گیاه لوبیا را مشاهده شد که کادمیوم از طریق کاهش جذب دی‌اکسید کربن از طریق روزنه‌ها مانع از فعالیت فتوسنتزی شد. سایر محققان کاهش میزان فتوسنتز را تحت تاثیر سمیت کادمیوم در سویا و شبدر را گزارش کردند [Padmaja,

1990]. از طرفی برخی دیگر از نتایج تحقیقات نشان داد از آنجایی که تجمع کادمیوم در برگ‌ها بیش از سایر قسمت‌های گیاه است کادمیوم با تخریب کلروپلاست برگ‌های جوان باعث کاهش فتوسنتز می‌شود [Andersson, 1985].

براساس نتایج تحقیقات مقدار تجمع فلزات سنگین بسته به نوع فلز، شرایط خاک و گونه گیاهی متفاوت است. ولی عمدتا میزان تجمع در اندام‌های هوایی به ویژه برگ و ساقه بیشتر از سایر اندام‌ها است و در دانه بسیار کمتر از برگ و ساقه می‌باشد [یارقلی و همکاران، 1388].

از بین عناصر سنگین کادمیوم به دلیل تحرک و زیست فراهمی زیاد آن در خاک و سمیت آن حتی در غلظت‌های پایین اهمیت بیشتری دارد [Das, et al., 1997]. به طور کلی سمیت کادمیوم سبب ایجاد اختلال در متابولیسم عناصر کم مصرف، اختلال در تثبیت دی‌اکسید کربن و تعرق، کاهش و جلوگیری از فتوسنتز و همچنین کاهش نفوذپزیری دیواره سلول می‌شود [Kabata-Pendias, et al., 2001]. ساندالیو و همکاران [Sandalio, 2001] بیان کردند که در گیاه نخود مصرف کادمیوم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک برگ‌ها، کلروفیل، سرعت فتوسنتز و تعرق می‌شود. کاهش وزن خشک برگ به موازات کاهش سطح برگ می‌باشد و همچنین غلظت عناصر در گیاه تحت تاثیر کادمیوم قرار می‌گیرند. آنان به غیر از کاهش عملکرد نشانه دیگری از سمیت که قابل رویت باشد در گیاه مشاهده نکردند.

در ایران نیز گزارش‌هایی دال بر تجمع کادمیوم در برخی محصولات زراعی به ویژه برنج و سیب زمینی وجود دارد [خانی و همکاران، 1379، چراتی و ملکوتی، 1383]. میزان تجمع کادمیوم در کاهو اسفناج کرفس کلم و سیب زمینی زیاد بوده و در گیاهانی مثل لوبیا ذرت و نخود کمتر است [Wagner, 1993].

از علائم سمیت کادمیوم در گیاهان ایجاد حالت کلروزه و نکروزه در برگ و تغییر در رنگ برگ از سبز تیره به قرمز قهوه‌ای، افت عملکرد و تغییر در سطح سایر عناصر ریز مغذی در گیاه می‌باشد [Langriffonal, et al., 1998]. اثرات دیگر سمیت کادمیوم، تنش‌های اکسیداتیو که باعث آسیب به سلول در نتیجه‌ی تولید مواد اکسید کننده نظیر سوپر اکساید، هیدروژن پراکساید و رادیکال‌های هیدورکسیل می باشد [Zhao, et al., 2005]. علائم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی کادمیوم در گیاه کاهش رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، تداخل با جذب و انتقال عناصر غذایی، کاهش میزان و اختلال در فعالیت‌های آنزیم های درگیر در فتوسنتز می‌باشد [Koleli, 2004]. کادمیوم با عناصر پر مصرف نظیر فسفر، کلسیم و منیزیم و عناصر کم مصرف مثل آهن، منگنز، مس و روی در جهت انتقال از طریق پروتئین های ناقل موجود در غشای سلولی رقابت می‌کند [Sharma, 2006]. چادری و همکاران [Chaudhry, 1977] گزارش دادند که مقدار کادمیوم در اندام‌های گندم متفاوت بوده و مقدار کادمیوم به صورت ریشه> ساقه> دانه بود.

کادمیوم جذب کاتیون‌ها توسط گیاهان را از طریق تاثیر بر قابلیت دسترسی آنها یا کاهش جمعیت میکروبی خاک تغییر می‌دهد [Benavides, et al., 2005].

تحقیقات نشان داده که اولین اثر کادمیوم بر گیاه، کاهش فتوسنتز است [Fisher, 1998]. عوامل محدودکننده فتوسنتز را می‌توان روزنه‌ای، که منجر به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به فضای بین سلولی در اثر کاهش هدایت روزنه‌ای که فتوسنتز را از طریق اثر مستقیم بر فرایندهای بیوشیمیایی فرآوری کربن محدود می‌کنند، بیان کرد [Ackerson, et al., 1981]. در اثر تنش، اکسیژن فعال در گیاه افزایش می‌یابد. گیاه دارای مکانیزم‌های متفاوتی جهت حذف یا کاهش این ترکیبات مخرب می‌باشد که در شدت‌های متفاوت تنش ظاهر می‌شود [Perl-Treves, 1991]. یکی از این سیستم‌های تدفعی، فعال شدن آنزیم‌های آنتی اکسیدان از جمله آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز است که در قسمت‌های مختلف سلولی قرار دارد [Fecht-Christoffers, et al., 2003]. سوپراکسید دیسموتاز تنها آنزیمی است که بر رادیکال-های آزاد موثر است و آنها را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند. سپس پراکسید هیدروژن توسط آنزیم‌های مختلف چون پراکسیداز تبدیل به آب می‌شود. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در تنش‌های محیطی مقاومت گیاه را به شرایط تنش افزایش می‌دهد [Fecht-Christoffers, et al., 2003]

1-5- روی

روی عنصری است شیمیایی با علامت اختصاری Zn که دارای عدد اتمی 30 است. روی فلزی است به رنگ سفید متمایل به آبی که بر اثر رطوبت هوا تیره رنگ می‌شود و در حین احتراق رنگ سبز براقی تولید می‌کند. روی بعد از آهن، آلومینیوم و مس چهارمین فلز مورد استفاده در دنیا می‌باشد. از موارد استفاده روی می‌توان آلیاژهای مختلف و فولاد گالوانیزه را نام برد. روی دارای وزن اتمی 65/38، چگالی 7/133، نقطه ذوب 419/83 درجه سانتیگراد، درجه سختی بر حسب واحد موهس 5/2 می‌باشد. همچنین روی با ظرفیت 2 درگروه IIB جدول تناوب دارای ایزوتوپ‌های طبیعی70 - 68-66-64 وایزوتوپ‌های رادیواکتیو72-71-69-65-63-60 می‌باشد. روی فلز نرم و سفید باقابلیت چکش‌خواری با جلای خاکستری متمایل به آبی قابل حل در اسیدها و بازها و غیر قابل حل در آب می‌باشد.

روی فلزی است که در Vielle Montagne و Zinkgruvan استخراج می‌شود و برای آبکاری فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. مانند فلزات دیگر به آرامی واکنش نشان می‌دهد. روی با اکسیژن و دیگر غیر فلزات ترکیب شده و با اسید رقیق واکنش نشان داده و گاز هیدروژن آزاد می‌کند .حالت اکسیداسیون متداول این عنصر Zn^{2+} می‌باشد. روی از عناصر ضروری زندگی انسان است که برای بقاء و زندگی وی لازم است. کمبود روی در حیوانات موجب افزایش وزن می‌شود. روی

در انسولین Zinc Finger Proteins و آنزیم‌هایی مانند Super Oxide Dismutase وجود دارد. بر اساس بسیاری از منابع مصرف قرص‌های حاوی روی می‌تواند در برابر سرماخوردگی و آنفولانزا ایمنی ایجاد کند. با این حال هنوز بر سر این مساله اختلاف نظر وجود دارد.

روی یک ماده معدنی اصلی کمیاب است که بعد ازآهن، بیشترین میزان را در بدن داراست. روی به طور عمده در ماهیچه‌ها ذخیره می‌شود، اما در یاخته‌های خونی سفید و قرمز، پرده شبکیه چشم، استخوان‌ها، پوست، کلیه‌ها، کبد و پانکراس نیز یافت می‌شود. بعضی از تحقیقات و مطالعات نشاندهنده مؤثر بودن مصرف قرص‌های روی در جلوگیری و کاهش علایم سرماخوردگی بوده‌است [Anonymous, 2013].

1-5-1- روی در خاک

کمبود روی یکی از مهم‌ترین نارسائی‌های تغذیه‌ای گیاه برنج غرقابی در کشورهای مختلف از جمله هند، پاکستان، چین، ژاپن، فیلیپین، تایوان، شمال استرالیا و آمریکاست. شرایط غرقابی و احیاء، pH بالای خاک و درصد بالای کربنات کلسیم در بسیاری از خاک‌های زیر کشت برنج دنیا مهم‌ترین عوامل ایجاد کمبود روی است [Chaudhry, 1977]. در شرایط احیائی موجود در خاک‌های غرقاب، به دو دلیل فراهمی روی کاهش می‌یابد. اول تشکیل رسوب سولفید روی و دوم جذب روی بر سطح کربنات کلسیم و هم رسوبی با سایر ذرات خاک [Parker, et al., 1995].

در ایران کمبود روی در کشت برنج غرقابی در شمال کشور مهم‌ترین نارسائی تغذیه‌ای این گیاه پس از عناصر پر مصرف گزارش شده است [ولی‌نژاد و همکاران، 1380]. کمبود روی در خاک و گیاهان زراعی ایران به دلایل زیادی از جمله آهکی بودن خاک‌های زراعی، pH بالا، وجود بی‌کربنات فراوان در آب‌های آبیاری، شوری خاک، پایین بودن مقدار مواد آلی خاک، مصرف فراوان و بیش نیاز کودهای فسفاتی و در نهایت عدم مصرف کودهای دارای روی رواج دارد. ولی‌نژاد و همکاران1380 حد بحرانی روی را 1/1 میلی گرم در کیلوگرم خاک تعیین کرده و پاسخ برنج به سولفات روی را در 45 درصد از اراضی شالیزاری مازندران گزارش کردند.

1-5-1-1- اشکال روی در خاک

روی در خاک به صورت‌های زیر وجود دارد:

1. یون‌های آزاد [$ZnOH^{+}$, Zn^{2+}] و یون‌های کمپلکس شده با مواد آلی که در محلول خاک وجود دارد

2. روی جذب سطحی شده و قابل تبادل که بر روی سطوح اجزای کلوئیدی خاک (ذرات رس، ترکیبات هومیک و اکسیدهای آهن و آلومینیوم) نگه داشته می‌شوند.

3. کانی‌های ثانویه و کمپلکس‌های نامحلول که در فاز جامد خاک وجود دارند [Keikens, 1995].

1-5-2- روی در گیاه

هر یک از عناصر کم مصرف نقش خاصی را در گیاه ایفا می‌کنند و وجود این عناصر در حد کفایت برای کامل کردن چرخه زندگی و رشد گیاه لازم است. نقش این عناصر از واکنش‌های بسیار ساده تا خیلی پیچیده را در بر می‌گیرد و نقش یک عنصر ریز مغذی را عنصر دیگر نمی‌تواند به عهده بگیرد.

روی عنصر کم مصرف ضروری برای گیاهان، حیوانات و انسان می باشد. بیش از 300 آنزیم درگیر در فرآیندهای کلیدی متابولیکی انسان شامل روی هستند [Welch, 2001]. اگرچه نیاز گیاهان به روی اندک است ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد [بایبوردی، 2006]. از بین میکروالمنت‌ها، کمبود روی بیشترین مشکل را برای تولید محصول ایجاد می‌کند [Cakmak, et al. 1996].

گیاهان عمدتا روی را به صورت کاتیون دو ظرفیتی جذب می‌نمایند در pH بالا شاید به صورت $Zn(OH)_3$ نیز می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد [ملکوتی و همایی، 1383]. عنصر روی در برخی از آنزیم‌ها (کربنیک انهیدراز، کربوکسیلاز، آلکلین فسفاتاز و فسفولیپاز) نقش کاتلیتیک و در برخی دیگر (الکل دهیدروژناز، سوپر اکسید دیسموتاز و RNA پلی مراز) نقش ساختاری دارد. در کنار آنزیم‌های دارای روی، این عنصر برای فعالیت تعدای دیگر از آنزیم‌ها (دهیدروژنازها، آلدولازها،ایزومرازها، ترانس فسفریلاز،پیروفسفاتاز وابسته به روی) ضروری بوده و یا فعالیت آنها را تنظیم می نمایند [Marschner, 1995]. عنصر روی نقش مهمی را در حفاظت سلول‌های گیاه از گونه‌های واکنش دهنده با اکسیژن ایفا می کند. کمبود روی فعالیت چندین آنزیم از جمله فسفاتاز، الکل دهیدروژناز، دیمیدین کیناز، کربوکسی پپتیداز، DNA و RNA را کاهش می‌دهند [Marschner, 1995].

کاکماک [Kakmak, 2000] اعلام نمود کمبود ناشی از روی سبب اختلال در متابولیسم بافت سلولی می‌گردد و مسئول خسارت به پروتئین‌های غشاء، کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها، ایندول استیک اسید می‌باشد. بنابراین سبب ممانعت از رشد گیاه می‌شود. شاو و لینگ [Shao and Ling, 1968] گزارش نمودند در تمام محصولات با افزایش روی، غلظت آن در اندام‌های هوایی افزایش می‌یابد. آنها اعلام نمودند که کاهش روی بر عملکرد دانه بیشتر از کاه و کلش است.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز رادیکال‌های آزاد سوپراکسید که عامل آسیب به سلولها می‌باشند را بی اثر می‌کند [Scandalios, 1993] به همین دلیل این عنصر برای جذب عنصر و جلوگیری از نشت آنها از ریشه ضروری است [Johnson, et al. 1979]. در گیاهان دچار کمبود روی به ویژه در شرایط بی‌هوازی یا کم‌هوازی مانند خاک‌های غرقابی

ممکن است فعالیت الکل دهیدروژناز کاهش یافته و سبب انباشتگی ترکیب سمی آستالدئید در ریشه‌ها شود [Roberts, et al. 1984].

در گیاهان که کمبود روی دارند ساخته شدن پروتئین کاهش می‌یابد و انباشته شدن اسیدهای آمینه در این گیاهان نشان‌دهنده اهمیت روی در سنتز پروتئین است [Marschner, 1995]. روی یکی از اجزای ضروری آنزیم RNA پلی مراز است و در هر مولکول این آنزیم دو اتم روی وجود دارد و اگر روی برداشته شود، آنزیم غیر فعال می‌شود [Falchuk, et al., 1977]. بدون روی ریبوزوم‌ها از هم پاشیده می‌شوند اما با مصرف روی ساختمان آنها به حالت اول بر می‌گردد [Marschner, 1995]. روی برای ساخته شدن اسید ایندول استیک (IAA) از تریپتوفان ضروری است، چون تریپتوفان ماده پیش نیاز برای تولید اسید ایندول استیک می‌باشد. بنابراین ساخته شدن این ماده‌ی رشدی بطور غیر مستقیم تحت تاثیر روی خواهد بود. غلظت بیش از حد تریپتوفان در برگ‌های گیاهان دچار کمبود روی احتمالا ناشی از همین مسئله می‌باشد [Marschner, 1995]. در گیاهان مبتلا به کمبود روی، غلظت هورمون‌های گیاهی به خصوص جیبرلین کاهش می‌یابد [Suge, et al., 1986].

تفاوت‌های ژنوتیپی قابل توجهی در تحمل کمبود روی در برنج وجود دارد. در مورد ژنوتیپ‌های اصلاح شده در موسسه بین المللی تحقیقات برنج (IRRI) بررسی‌های زیادی انجام گرفته و ارقام معینی به عنوان ارقام متحمل به کمبود روی معرفی شده و مشخص گردیده است که این ژنوتیپ‌ها دارای کارائی بالاتری نسبت به عنصر روی می‌باشد [IRRI, 1970] کارائی نسیت به یک عنصر توانایی یک ژنوتیپ برای تولید بیشترین عملکرد در خاک‌هایی با کمبود آن عنصر برای ژنوتیپ استاندارد تعریف می‌شود. تفاوت‌های ژنوتیپی در تحمل کمبود یا کارائی مربوط به عوامل متعددی از جمله تفاوت در کارائی جذب عنصر در خاک یا محیط غذایی، تفاوت در انتقال به اندام هوایی و یا تفاوت در بهره‌وری نسبت به عنصر مورد نظر در سطح بافتی است [Marschner, 1995]. عوامل مختلفی در کارآمدی روی شناخته شده‌اند، از جمله می‌توان به ظرفیت جذب روی توسط ریشه، نسبت روی در قسمت‌های مختلف گیاه، لیگاندهای اجباری روی، آزادسازی سیدروفورهای حاوی روی از ریشه، گسترش سیستم ریشه‌ای و راندمان استفاده از روی اشاره نمود [Hacisaliloglu, et al., 2001]. در سطح ریشه اغلب گیاهان آبی از جمله برنج روی یا هیدروکسید رسوب می‌دهد (پلاک آهن). پلاک آهن می تواند قابلیت استفاده روی از طریق توقف روی و کاهش جذب آن و یا از طریق محلول‌سازی تحت تاثیر اکسیداسیون آهن و اسیدی کردن ریزوسفر تنظیم کند [Thongbai, et al., 2001].

علائم کمبود روی 2 تا 3 هفته پس از نشاء به‌صورت کلروزه شدن رگبرگ اصلی در قسمت پایه برگ‌های در حال رشد همراه با لکه‌های قهوه‌ای ظاهر می‌شود [Obcema, et al., 1997]. همچنین غلظت زیاد کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند

کلسیم، آهن و منگنز نیز می‌تواند از جذب روی جلوگیری کند [Marschner, 1986]. غلظت زیادی بی‌کربنات در شیره سلولی نیز سبب افزایش pH و در نهایت غیر فعال شدن روی در اندام‌های گیاهی می‌شود [ملکوتی و همایی، 1383].

1-5-2-1- نقش روی در فعالیت‌های آنزیمی

عنصر روی قسمت عمده ساختمان برخی آنزیم‌ها را تشکیل می‌دهد و برای تشکیل آنزیم‌های گیاهی مورد نیاز می-باشد. علاوه براین بسیاری از واکنش‌های انزیمی را نیز فعال می‌نماید. برخی فعالیت‌های مهم که روی در آن نقش دارد شامل:

- ماده اصلی رشد گیاه و سیستم آنزیمی می‌باشد
- دخالت مستقیم در متابولیسم نیتروژن در گیاه دارد
- عنصر مورد نیاز سنتز تریپتوفان است. همان‌طور که تریپتوفان پیش ماده اکسین می‌باشد، روی به طور غیر مستقیم در تولید اکسین نقش دارد که ماده اصلی رشد است.
- در متابولیسم گیاه در تشکیل نشاسته دخالت دارد

توسعه ریشه در گیاهان زراعی را بهبود می‌دهد، در گل‌دهی و میوه دهی تاثیر گذار بوده و در شرایط کمبود روی مرحله زایشی گیاهان زراعی دچار تنش خواهد شد [Barker etal.,2007; Fageria, 2009].

1-5-2-2- عوامل موثر بر قابلیت جذب روی توسط گیاه

الف- عوامل خاکی

چند عامل بر قابلیت جذب روی به وسیله گیاه اثر دارند، این عوامل عباتند از pH، مقدار ماده‌آلی، مقدار فسفر، بافت خاک(مقدار رس) و سایر عناصر میکرو.

pH (1)

pH خاک بیشترین تاثیر را بر قابلیت دسترسی روی دارد. در pH های بالای 6/5 قابلیت دسترسی روی برای گیاه کاهش می‌یابد. در خاک‌های اسیدی، قابلیت جذب روی توسط گیاهان بیشتر از خاک‌های قلیایی است. جذب روی به وسیله گیاه نشان داده است که قابلیت جذب آن تابعی از قدرت اسیدی خاک می‌باشد. در خاک‌های قلیایی به علت بالا بودن pH و تثبیت روی با کربنات کلسیم، کمبود روی اتفاق می‌افتد. اکثر این خاک‌ها دارای روی کل کافی هستند اما قابلیت جذب آن برای گیاه به علت کاهش حلالیت بر اثر شرایط فوق کاهش می‌یابد [Linasay, 1972].

(2) ماده آلی خاک

روی در خاک‌هایی که دارای مقادیر بالای ماده‌آلی هستند قابلیت دسترسی کمتری دارد. مخصوصا در pH بالا، تشکیل کمپلکس‌های شیمیایی ماده‌آلی با روی که باعث غیرقابل دسترس شدن روی می‌شود، افزایش می یابد. همچنین خاک-هایی که ماده‌آلی انها کم است قادر به نگهداری مقدار زیادی از روی نمی‌باشند و بیشتر در معرض کمبود روی هستند [Linasay, 1972].

(3) مقدار فسفر

عنصر روی در فرآیندهای بیوشیمیایی فعال بوده و اثرات شیمیایی و فیزیکی با بعضی عناصر دیگر دارد. در میان عناصر دیگر غذایی فسفر مهمترین عنصری است که در جذب روی ایجاد اختلال می‌کند. در مورد اثرات متقابل روی و فسفر مطالعات فراوانی صورت گرفته است و همگی این نکته را تایید می‌کنند که عدم توازن روی و فسفر در گیاه و تجمع زیاد فسفر، باعث بروز کمبود تحمیلی روی می‌گردد. از دلایل عمده اثر مقادیر زیاد فسفر بر کمبود روی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

1.غلظت زیاد فسفر در گیاه باعث کاهش انتقال روی از ریشه به اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد، بطوری‌که روی در ریشه انباشته شده و یا جذب آن به وسیله ریشه کاهش می‌یابد.

2. در اثر واکنش رشد القایی، غلظت روی در اندام‌های هوایی گیاه کاهش می‌یابد (پدیده رقت)، یعنی همزمان با افزایش رشد گیاه مقدار جذب روی در گیاه هم افزایش می‌یابد ولی غلظت آن در بافت‌های گیاه کاهش می‌یابد و یا به عبارتی آن عنصر در بافت گیاه رقیق می‌گردد.

3. اختلال متابولیسمی در سلولهای گیاهی مربوط به عدم تعادل روی و فسفر می‌باشد، بطوری‌که به واسطه افزایش غلظت فسفر در انجام وظایف عنصر روی در مواقع ویژه درون سلول‌ها اختلال ایجاد می‌شود.

در غیاب عنصر روی و یا غلظت‌های پایین آن جذب و انتقال فسفر در ساقه افزایش می‌یابد و باعث افزایش غلظت فسفر در برگ‌ها می‌گردد، در نتیجه ایجاد سمیت می‌کند. این افزایش فقط با کمبود روی بروز می‌کند و در مورد سایر کمبودهای عناصر ریز مغذی مشاهده نمی‌شود. یعنی کمبود روی نفوذپذیری غشاءهای پلاسمایی ریشه را نسبت به فسفر بالا می‌برد [Sharma et al., 1986].