بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی

گروه علوم خاک

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته علوم خاک

گرایش شیمی وحاصلخیزی خاک

عنوان:

تأثیر مصرف توأم روی و کادمیوم بر دو رقم برنج (واندانا و هاشمی) در شرایط غرقاب و غیرغرقاب

استاد راهنما

دکتر عادل ریحانی تبار

استادان مشاور

دکتر شاهین اوستان

دکتر نصرت اله نجفی

پژوهشگر

فرشته ولی زاده فرد

شهریور ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

که همچون کوهی استوار، همواره تکیه گاه زندگی‌ام بوده‌اند

و

همسفر لحظات زندگی‌ام، همسر عزیزم

که وجود پر مهرش یاری دهنده‌ام در این راه بود

حمد و سپاس خدای مهربان را که به من توفیق ارزانی نمود تا این مرحله از تحصیلم را نیز با موفقیت به پایان برسانم.

از پدر و مادر مهربانم که بودنم و تمام توفیقاتم را مدیون قلب مهربانشان هستم و در سایه دعای خیرشان تمام مشکلات برایم حل می شود، سپاسگذارم.

از برادر و خواهرانم به خاطر دلگرمی هایشان در راه کسب دانش و تحمل زحمات و به دلیل همراهی بی توقعشان و از همسرم، همراه واقعی زندگی ام، صمیمانه تشکر می کنم.

از محضر استاد راهنمای ارجمندم آقای دکتر عادل ریحانی تبار به دلیل ارائه موضوع تحقیق و همچنین زحمت راهنمایی پایان نامه را بر عهده داشتند، صمیمانه تشکر می نمایم. از استادان گرامی آقایان دکتر شاهین اوستان و دکتر نصرت اله نجفی که زحمت مشاوره پایان نامه را بر عهده داشتند و از مشورت ها و پیشنهادات آنها بهره گرفتم، تشکر و قدردانی می نمایم. از استادان گرامی گروه آقایان دکتر نیشابوری، دکتر جعفرزاده و دکتر علی اصغر زاد که در طول تحصیل افتخار آموختن در محضرشان را داشته ام، تشکر و قدردانی می نمایم. از آقای دکتر دواتگر به دلیل کمک های بی-دریغشان در این پروژه بخصوص در تهیه بذر، کمال تشکر و امتنان را دارم.

همچنین از آقایان، مهندس جاوید عمارت پرداز، صادق زاده، ناصر شیرزاد و سایر دوستان و مخصوصاً خانم مهندس معصومه عباسی که در مراحل انجام این پروژه مرا یاری نمودند، سپاس و تشکر را دارم.

نام خانوادگی دانشجو: ولی زاده فرد **نام:** فرشته

عنوان پایان نامه: تأثیر مصرف توأم روی و کادمیوم بر دو رقم برنج (واندانا و هاشمی) در شرایط غرقاب و غیرغرقاب

استاد راهنما: دکتر عادل ریحانی تبار

استادان مشاور: دکتر شاهین اوستان و دکتر نصرت اله نجفی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** علوم خاک **گرایش:** شیمی و حاصلخیزی خاک

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** کشاورزی

تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۱۳۹۰/۶/۲۰ **تعداد صفحه:** ۱۷۵

کلید واژه‌ها: کادمیوم، برنج غرقاب، برنج غیرغرقاب، روی

چکیده: خشکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان است و کمبود آب به عنوان یک معضل جهانی مطرح و کشور ما نیز با این قضیه مواجه است. برنج بعد از گندم دومین گیاه زراعی مهم دنیا بوده و نیاز آبی آن بیشتر از سایر گیاهان زراعی است. در این راستا محققان اصلاح نبات، ارقامی از برنج را اصلاح و با نام برنج غیرغرقاب معرفی نموده‌اند که ضرروت دارد عکس العمل این ارقام جدید در خاکهای مختلف و همینطور در شرایط متفاوت تغذیه‌ای مطالعه و بررسی شود. در این مطالعه تأثیر رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح روی (Zn) و کادمیوم (Cd) بر رشد و تغذیه گیاه برنج در شرایط گلخانه‌ای بررسی گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل دو رقم برنج (واندانا و هاشمی)، رطوبت در دو سطح غرقاب دائم و غیرغرقاب (اشباع تا FC)، عنصر Zn از منبع نیترات Zn در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، عنصر Cd از منبع نیترات Cd در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بودند. بعد از اتمام دوره رشد رویشی، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، تعداد برگ و پنجه، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول و حجم ریشه، شاخص کلروفیل، غلظت و مقدار Cd، Zn و P در ریشه و بخش هوایی، فاکتور انتقال این عناصر و غلظت قابل استخراج با DTPA عناصر Cd، Zn، Fe و Mn در خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که رقم واندانا وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه، تعداد برگ و پنجه، کارایی مصرف آب، غلظت Cd ریشه، غلظت Zn بخش هوایی و ریشه و مقدار Zn بخش هوایی و فسفر ریشه بیشتری داشت و رقم هاشمی بیشترین میزان کلروفیل برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، غلظت Cd بخش هوایی، مقدار Zn و Cd ریشه، غلظت و مقدار P بخش هوایی و غلظت P ریشه را داشت. در مقدار Cd بخش هوایی بین رقم‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط غرقاب بیشترین وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه، تعداد برگ و پنجه، کارایی مصرف آب، غلظت و مقدار Cd ریشه، مقدار Zn بخش هوایی و ریشه، غلظت Zn ریشه و غلظت و مقدار P بخش هوایی و ریشه بدست آمد. در شرایط غیرغرقاب بیشترین میزان کلروفیل برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، غلظت و مقدار Cd بخش - هوایی و غلظت Zn بخش هوایی بدست آمد. تفاوتی در میزان Zn خاک قابل استخراج با DTPA بعد از برداشت گیاهان، در رژیم‌های رطوبتی مشاهده نشد. با افزایش مقدار Zn مصرفی، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه، تعداد برگ و پنجه، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، کارایی مصرف آب، مقدار Cd بخش هوایی، غلظت و مقدار Zn بخش هوایی و ریشه، مقدار P بخش هوایی و ریشه، Zn خاک قابل استخراج با DTPA زیاد شد اما غلظت Cd بخش هوایی و ریشه، مقدار Cd ریشه، غلظت Cd و Fe و Mn خاک قابل استخراج با DTPA کاهش یافت. با مصرف

Cd، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، حجم ریشه، تعداد برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، کارایی مصرف آب، مقدار Zn و P بخش هوایی و ریشه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت ولی میزان شاخص کلروفیل، غلظت P بخش هوایی و ریشه، غلظت Fe و Zn قابل استخراج با DTPA کاهش یافت. اثر متقابل رقم و رژیم رطوبتی در مورد همه ویژگیهای رشد گیاهی، غلظت و مقدار عناصر مورد مطالعه در بخش هوایی و ریشه‌ها و فاکتور انتقال آنها به غیر از تعداد برگ، غلظت Zn بخش هوایی و ریشه، فاکتور انتقال Zn و Cd معنی‌دار شد. اثر متقابل رقم و سطوح Zn در همه موارد معنی‌دار شد. اثر متقابل رژیم رطوبتی و سطوح Zn در غلظت Zn بخش هوایی و فاکتور انتقال Cd معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل رقم و سطوح Cd فقط در تعداد برگ و پنجه، قطر ساقه، غلظت، مقدار P بخش هوایی و فاکتور انتقال Zn معنی‌دار نشد. اثر متقابل رژیم رطوبتی و سطوح Cd در مورد قطر ساقه، غلظت Zn بخش هوایی، غلظت و مقدار P بخش هوایی معنی‌دار نشد. در ضمن اثر متقابل سطوح Zn و Cd در مورد قطر ساقه، مقدار Cd بخش هوایی و Zn خاک قابل استخراج با DTPA معنی‌دار نشد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب
چکیده
مقدمه------- ---------- ۱

فصل اول- بررسی منابع

۱-۱- برنج---------- ---------- ۴
۱-۱-۱- مشخصات گیاه شناسی---------- ۵
۱-۱-۲- شرایط مناسب محیطی برای کشت برنج---------- ۶
۱-۱-۳- میزان آب خاک---------- ۷
۱-۲- برنج غیرغرقاب---------- ---------- ۷
۱-۳- روی (Zn)---------- ۸
۱-۳-۱- Zn در خاک---------- ---------- ۸
۱-۳-۲- جذب Zn توسط خاک و گیاه برنج---------- ۹
۱-۳-۲-۱- اثر آنیون‌های همراه بر جذب Zn---------- ---------- ------ ۱۲
۱-۳-۲-۲- اثر کاتیون‌های فلزی بر جذب Zn توسط خاکها---------- ---------- ۱۲
۱-۳-۳- Zn در گیاه---------- ---------- ۱۳
۱-۳-۴- اثر متقابل Zn با عناصر دیگر---------- ---------- ۱۳
۱-۴- کادمیوم (Cd)---------- ---------- ---------- ۱۴
۱-۴-۱- Cd در خاک---------- ۱۴
۱-۴-۲- عوامل مؤثر بر جذب Cd توسط گیاه---------- ۱۷
۱-۴-۳- سمّیت Cd---------- ---------- ---------- ---------- ۲۰
۱-۴-۴- تأثیر غرقاب بر وضعیت Cd و Zn --------- ---------- ---------- ۲۲
۱-۴-۵- اثر متقابل Cd و Zn---------- ---------- ۲۳
۱-۵- تأثیر غرقاب بر وضعیت برخی عناصر ضروری---------- ۲۹
۱-۵-۱- نیتروژن---------- ۲۹
۱-۵-۲-فسفر (P)---------- ---------- ۲۹
۱-۵-۳- آهن (Fe)---------- ---------- ---------- ۳۰
۱-۵-۴- منگنز (Mn)---------- ۳۰

فصل دوم- مواد و روش‌ها

۲-۱- انتخاب خاک مناسب---------- ۳۲
۲-۲- اندازه‌گیری ویژگی های خاک---------- ۳۲
۲-۲-۱- بافت خاک به روش هیدرومتر چهار زمانه---------- ۳۲

فهرست مطالب

۲-۲-۲- pH و EC خاک ---------- -- ---------- ۳۲
۲-۲-۳- کربن آلی با روش والکلی بلک ---------- ۳۳
۲-۲-۴- کربنات کلسیم معادل خاک ---------- ۳۳
۲-۲-۵- پتاسیم قابل جذب خاک ---------- ۳۴
۲-۲-۶- P قابل جذب خاک ---------- ---------- ------ ۳۴
۲-۲-۷- اندازه گیری عناصر Zn، Cd، Fe، Mn و Cu قابل جذب خاک با روش DTPA---------- ------ ۳۴
۲-۳- انتخاب ارقام برنج ---------- ۳۵
۲-۴- آماده نمودن گلدان‌ها و کشت گیاه و اعمال تیمار ---------- ۳۵
۲-۵- برداشت و تجزیه گیاهان ---------- ۳۵
۲-۶- اندازه‌گیری ویژگی‌های رشد و نموی گیاه ---------- ۳۵
۲-۶-۱- اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ ---------- ۳۵
۲-۶-۲- اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول و حجم ریشه ---------- ۳۶
۲-۶-۳- اندازه‌گیری کارایی مصرف آب ---------- ۳۶
۲-۶-۴- اندازه‌گیری وزن تر بخش هوایی و ریشه‌ها ---------- ۳۶
۲-۶-۵- اندازه‌گیری وزن خشک بخش هوایی ---------- ۳۶
۲-۷- اندازه‌گیری عناصر در گیاه ---------- ---------- ۳۶
۲-۷-۱- هضم نمونه‌ها برای اندازه گیری عناصر معدنی ---------- ۳۶
۲-۷-۲- اندازه‌گیری Zn و Cd در عصاره گیاهان به روش جذب اتمی---------- ---------- ------ ۳۷
۲-۷-۳- تعیین درصد ماده خشک گیاه و مقدار جذب عناصر ---------- ---------- ۳۷
۲-۷-۴- فاکتور انتقال عناصر ---------- ---------- ---------- ۳۷
۲-۸- اندازه‌گیری غلظت P عصاره‌های گیاهی با روش وانادومولیبدوفسفریک اسید یا روش زرد----------۳۸
۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری ---------- ۳۹

فصل سوم- نتایج و بحث

۳-۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک ---------- ۴۰
۳-۲-اثر رقم برنج، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر ویژگی‌های رشد و نمو برنج ---------- ---------- ۴۰
۳-۲-۱- وزن تر بخش هوایی ---------- ------- ۴۰
۳-۲-۲- وزن تر ریشه‌ها ---------- ---------- -------- ۴۶
۳-۲-۳- وزن خشک بخش هوایی ---------- -------- ۴۹
۳-۲-۴- وزن خشک ریشه‌ها ---------- ۵۳
۳-۲-۵- طول ریشه ---------- ۵۷
۳-۲-۶- حجم ریشه ---------- ۶۰
۳-۲-۷- تعداد برگ ---------- ---------- ۶۴
۳-۲-۸- تعداد پنجه ---------- ---------- ۶۹

فهرست مطالب

۳-۲-۹- شاخص کلروفیل برگ‌ها---------- ---------- ۷۳
۳-۲-۱۰- ارتفاع گیاه---------- ---------- ۷۶
۳-۲-۱۱- قطر ساقه---------- ---------- ۸۰
۳-۲-۱۲- کارایی مصرف آب---------- ---------- ۸۱
۳-۳- اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر غلظت و مقدار عناصر غذایی در ریشه و بخش هوایی گیاه برنج------- ۸۶
۳-۳-۱- غلظت Cd بخش هوایی---------- ---------- ------- ۸۶
۳-۳-۲- مقدار Cd بخش هوایی---------- ---------- ۹۲
۳-۳-۳- غلظت Cd ریشه‌ها---------- ---------- ---------- ۹۵
۳-۳-۴- مقدار Cd ریشه‌ها---------- --------- ۹۸
۳-۳-۵- فاکتور انتقال Cd ---------- -- ---------- -- ----- ۱۰۱
۳-۳-۶- غلظت Zn بخش هوایی---------- ۱۰۳
۳-۳-۷- مقدار Zn بخش هوایی---------- ---------- ------ ۱۰۷
۳-۳-۸- غلظت Zn ریشه‌ها---------- ۱۱۱
۳-۳-۹- مقدار Zn ریشه‌ها---------- ---------- ---------- ------- ۱۱۵
۳-۳-۱۰- فاکتور انتقال Zn---------- ---------- ---- ۱۱۸
۳-۳-۱۱- غلظت P بخش هوایی---------- ۱۲۱
۳-۳-۱۲- مقدار P بخش هوایی---------- ---------- ---------- ۱۲۷
۳-۳-۱۳- غلظت P ریشه‌ها---------- -- ---------- ۱۳۰
۳-۳-۱۴- مقدار P ریشه‌ها---------- ۱۳۴
۳-۳-۱۵- فاکتور انتقال P---------- ---------- ---------- ۱۳۷
۳-۴- اثر رقم برنج، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر وضعیت عناصر قابل استخراج با DTPA در خاک لوم رسی----- ۱۴۱
۳-۴-۱- غلظت Zn---------- ---------- ---------- ۱۴۱
۳-۴-۲-غلظت Cd---------- ۱۴۷
۳-۴-۳- غلظت Fe---------- ۱۵۰
۳-۴-۴-غلظت Mn---------- ۱۵۴
۳-۵- روابط رگرسیون چندگانه برای غلظت Cd، Zn و P در بخش هوایی و ریشه گیاه برنج---------- ۱۵۸
نتیجه گیری کلی---------- ۱۶۴
منابع---------- ---------- ---------- ۱۶۶
چکیده انگلیسی

در بین سه محصول عمده تولید غذا در جهان که بیش از ۵۰% انرژی مورد نیاز مردم دنیا را تأمین می‌کنند، برنج[1] (*Oryza sativa L.*) بعد از گندم محصول مهم زراعی دنیاست (میرتبار و حسینیان، ۱۳۸۵). سطح زیر کشت این گیاه زراعی در ایران حدود ۶۳۰ هزار هکتار با تولید سالیانه ۲ میلیون و ۵۰۰ هزار تن بوده و پیش بینی می‌شود نیاز کشور در سال ۲۰۲۰ میلادی (۱۳۹۹ شمسی) به ۴ میلیون تن برسد (قربانی و همکاران، ۱۳۸۵).

اصولاً برنج براساس شرایط رطوبتی مزرعه به چند دسته تقسیم می‌شود :

۱. برنج خشکه زاری یا نواحی مرتفع (آپلند)[2]: این نوع برنج در نواحی کوهستانی و تپه ای ویا در مزارع بالادست که با آب باران تغذیه می‌شوند، کشت می‌گردند. محلی برای برنج آپلند انتخاب می‌شود که حداقل ۱۴ تا ۲۰ میلی‌متر بارندگی به مدت ۵ روز در چرخه‌ی رشد داشته باشد.

۲. برنج مخصوص اراضی پست[3]: این نوع برنج با آب باران و یا با استفاده از آبیاری در مزارع شالیزاری کشت می‌شود.

۳. برنج غرقابی[4]: این نوع برنج در مزارعی که ماندابی هستند یا به طور طبیعی غرقاب بوده و عمق آب نیز ۵۰ تا۱۰۰ سانتی متر باشد، کشت می‌شود.

۴. برنج شناور[5]: این نوع برنج در مزارعی که عمق آب به چندین متر می‌رسد، کشت می‌شوند (امیری لاریجانی، ۱۳۸۴).

بهترین کلاس بافتی برای رشد برنج کلاس‌های لوم رسی و رسی هستند. بهترین pH برای برنج ۵/۵ تا ۶/۵ گزارش شده‌است، ولی برنج در خاک‌های دارای pH بین ۴ تا ۷ نیز می‌تواند رشد کند. اگر pH خاک قلیایی‌تر شود، بر رشد برنج تأثیر منفی گذارده و اگر از ۸ تجاوز نماید مانع رشد برنج می‌شود (امیری لاریجانی، ۱۳۸۴).

بیش از ۸۰ درصد منابع آب شیرین در آسیا برای اهداف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیمی از این آب صرف تولید برنج می‌گردد. با وجود این، در سال‌های ۱۹۵۵ تا ۱۹۹۰ میلادی، سرانه آب قابل دسترس بسیاری از کشورهای آسیایی از ۴۰ تا ۶۰ درصد کاهش یافته و پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵ به میزان ۱۵ تا ۵۴ درصد در مقایسه با سال ۱۹۹۰ دوباره کاهش یابد (اسدی و شاهین رخسار احمدی، ۱۳۸۵). از طرف دیگر، روش آبیاری مورد استفاده برای برنج در کشور ما، غرقابی است که این روش موجب مصرف آب زیاد و کاهش کارایی مصرف آب آبیاری و کودها به ویژه نیتروژن می‌گردد. لذا لازمه‌ی تداوم کشت آن مدیریت صحیح آب آبیاری و اصلاح ارقام مقاوم به کمبود آب است (اسدی و شاهین رخسار احمدی، ۱۳۸۵).

برنج غیرغرقاب در مناطق دیم، در خاک‌هایی با زهکشی خوب و بدون تجمع آب در سطح خاک پرورش می‌یابد. شرایط محیطی آپلند مستعد خشکی، معمولاً زمین‌های شیبدار دارای مشکلات فرسایشی بوده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها ضعیف است (IRRI، ۱۹۷۵). برنج غیرغرقاب سالانه در حدود ۱۹/۱ میلیون هکتار در جهان، ۱۱/۵ میلیون هکتار در آسیا، ۵/۷ میلیون هکتار در آمریکای لاتین و ۲ میلیون هکتار در آفریقا کشت می‌شود و مهم‌ترین تولید کننده برنج غیرغرقاب جهان، کشور برزیل است. شرایط آب و هوایی حاره تا زیرحاره در مناطق برنج غیرغرقاب غالب است که خاک‌های این مناطق درجات مختلف اسیدی بودن را به خاطر هوادیدگی عمیق و آبشویی کاتیون‌ها

1.Rice
2.Upland rice
3.Lowland rice
4.Deep water rice
5.Floating rice

دارند. در حقیقت خاک‌های اصلی برای برنج غیرغرقاب در آسیا، دو رده التی‌سول و آلفی‌سول (در رده بندی امریکایی) می‌باشند (اُوکادا و ویسوا، ۲۰۰۵) اگرچه برنج غیرغرقاب در سایر رده‌ها نیز کشت می‌شود (گوپتا و اُتول، ۱۹۸۶). عملکرد متوسط برنج غیرغرقاب در آسیا ۱ تا ۲ تن در هکتار، در حالی که عملکرد برنج غرقاب ۴/۵ تا ۶/۵ تن در هکتار گزارش شده‌است (آتلین و همکاران، ۲۰۰۶). البته در شرایط مطلوب محیطی عملکردهای ۵ تا ۷ تن در هکتار نیز در حالت غیرغرقاب گزارش شده‌است (IRRI، ۱۹۷۵). عملکرد کمتر برنج غیرغرقاب به دوره‌های خشکی در طول فصل تولید محصول و حاصل‌خیزی پایین خاک نسبت داده می‌شود که مورد اخیر، حساسیت محصول را به تنش آب و بیماری افزایش می‌دهد. البته تغییر جهت از سیستم‌های غرقاب سنتی به حالت بدون غرقاب می‌تواند نیاز آبی برنج را به وسیله‌ی کاهش نفوذ عمقی، تراوش و تلفات تبخیر تا ۵۰% کاهش دهد (آتلین و همکاران، ۲۰۰۶)، که شاید ارزش آب صرفه جویی شده با ارزش افت عملکرد برابری کرده و یا از آن فزونی گیرد. با ادامه روند گرم شدن جهانی و خشک تر شدن اقیلم‌های نیمه مرطوب، احتمالاً شیوه کشت غیرغرقاب در آینده‌ای نزدیک، در بیشتر نقاط جهان، نه یک انتخاب داوطلبانه بلکه ضرورتی اجتناب ناپذیر خواهد بود (فجریا، ۲۰۰۹).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود ۵۰% خاک‌های استفاده شده برای تولید غلات در جهان، از نظر روی (Zn) قابل جذب گیاه، در وضعیتی هستند که عملکرد دانه را کاهش می‌دهند (فجریا، ۲۰۰۱). Zn عنصر ضروری برای چندین فرایند بیوشیمیایی در گیاه برنج مثل سنتز سیتوکروم و نوکلئوتیدها، متابولیسم اکسین، تولید کلروفیل، فعال سازی آنزیم و تکامل غشا است (یاکان و همکاران، ۲۰۰۰). کشت ممتد و طولانی مدت برنج در اراضی شالیزاری و مصرف عناصر پر مصرف مانند نیتروژن و P و عدم مصرف سایر عناصر از جمله Zn موجب کمبود این عنصر در خاک‌های شالیزاری شده است. از طرفی کمبود Zn بعد از نیتروژن و P مهم‌ترین عنصر محدود کننده رشد برنج در شرایط غرقابی گزارش شده است (محمودی و همکاران، ۱۳۸۳). کمبود Zn در شرایط pH بالا، Zn قابل جذب پایین خاک، پتانسیل ریداکس پایین، مقدار بی‌کربنات زیاد (گائو و همکاران، ۲۰۰۶) و سطوح بالای P در خاک‌های آهکی و خاک‌های سبک بافت (یاکان و همکاران، ۲۰۰۰) بیشتر رایج است.

کادمیوم (Cd) یکی از سمّی‌ترین آلاینده‌ها در لایه سطحی خاک است و تجمع آن در گیاهان و خاک‌ها نگرانی در این مورد را افزایش داده‌است (آلووی، ۱۹۹۵). مقادیر زیاد Cd در انسان‌ها می‌تواند بیماری‌های کلیوی، ریوی، کبدی، استخوانی، که بر اثر جایگزینی Cd با کلسیم ایجاد می‌شود (کیرکهام، ۲۰۰۶) و حتی سرطان را افزایش دهد (حسن و همکاران، ۲۰۰۸). بخشی از خاک‌های کشاورزی در جهان در نتیجه آلودگی صنعتی، استخراج فلز و برخی از عملیات کشاورزی مثل استفاده وسیع از کودهای فسفاته، آفت‌کش‌ها، لجن فاضلاب و آبیاری با آب آلوده به Cd آلوده شده‌اند (راماچاندران و دی سوزا، ۱۹۹۸). احتمالاً منشأ اصلی Cd در خاک‌های کشاورزی، مصرف زیاد کودهای فسفاته آلوده به این عنصر به دلیل ارزانی و سهل انگاری سازمان‌های متولی کنترل کیفیت کودهای وارداتی است (کو و همکاران، ۲۰۰۷). Cd در بین فلزات سنگین دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا به راحتی توسط ریشه گیاه جذب شده و سمّیت آن برای گیاهان ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین بسته به نوع گیاه می‌باشد (ثواقبی و همکاران، ۱۳۸۱). مقدار Cd در دانه گیاه برنج طبق توصیه‌ی سازمان بهداشت جهانی[1] باید کمتر از ۰/۲ $mg\ kg^{-1}$ باشد (کیرکهام، ۲۰۰۶). بیشترین مقدار قابل تحمل Cd جذبی برای انسان توسط سازمان بهداشت جهانی ۷۰ میکروگرم بر روز گزارش شده است (به نقل از

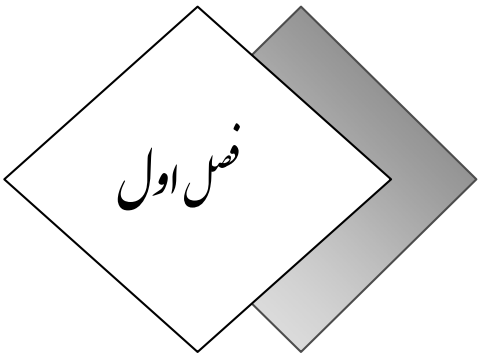
1.World Health Organization (WHO)

حسن و همکاران، ۲۰۰۶). جذب و انتقال Cd در گیاهان به شدت در میان ارقام آن‌ها متفاوت است (لیو و همکاران، ۲۰۰۳). Cd و Zn از نظر شیمیایی مشابه بوده (کیرکهام ، ۲۰۰۶) و بیشتر گزارش‌ها حاکی از برهمکنش منفی میان این دو عنصر در خاک است (گوپتا و پوتالیا، ۱۹۹۰؛ اسمیلد، ۱۹۹۲؛ چودری و همکاران، ۱۹۹۴؛ ثواقبی و همکاران، ۱۳۸۱؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۳؛ جیائو و همکاران، ۲۰۰۴؛ چعب و ثواقبی ۲۰۱۰) اگرچه رابطه سینرژیسمی هم گزارش شده است (اسمیلد، ۱۹۹۲؛ نان و همکاران،۲۰۰۲؛ یانگ و همکاران۲۰۰۴؛ ژائو و همکاران ۲۰۰۵؛ حسن و همکاران ۲۰۰۵؛ لکزیان و همکاران ۱۳۸۸؛ بهتاش و همکاران، ۱۳۸۹؛ موستاکس و همکاران ۲۰۱۱).

اهداف

به طور کلی اهداف این تحقیق عبارتند از:

۱. مقایسه عملکرد رقم وارداتی برای شرایط غیرغرقاب (Vandana (واندانا)) و رقم غرقاب بومی (هاشمی) در دو سطح رطوبتی مختلف (غرقاب دائم و غیرغرقاب (اشباع متناوب))
۲. بررسی غلظت و مقدار عناصر Zn و Cd در ارقام فوق الذکر
۳. بررسی تأثیر سطوح مختلف Zn و Cd و اثر متقابل آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام مورد مطالعه
۴. بررسی اثر متقابل Zn و Cd بر کارایی مصرف آب
۵. بررسی اثر متقابل Zn و Cd بر فاکتور انتقال این عناصر در دو رقم مورد مطالعه



بررسی منابع

۱-۱- برنج

در بین سه محصول عمده زراعی در جهان که بیش از ۵۰% انرژی مردم دنیا را تأمین می‌کنند، برنج (*Oryza L. sativa*) بعد از گندم مهمترین است (میرتبار و حسینیان، ۱۳۸۵). به علت اهمیت برنج، سال ۲۰۰۴ توسط سازمان ملل به نام سال بین المللی برنج نامگذاری شد (به نقل از اسدی و شاهین رخسار احمدی، ۱۳۸۵). ۹۰ درصد برنج جهان در آسیا تولید و مصرف می‌شود (بومن و همکاران، ۲۰۰۷).

براساس برآورد FAO تا سال ۲۰۱۷ میلادی، ۱۴۰ میلیون هکتار زمین مزروعی در جهان بر اثر فرسایش خاک از چرخه باروری خارج خواهند شد (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶). کشت برنج در ایران از ۲۰۰۰ سال پیش متداول بوده است. سطح زیر کشت این گیاه زراعی در ایران حدود ۶۳۰ هزار هکتار بوده (قربانی و همکاران، ۱۳۸۵) و استان مازندران رتبه اول و گیلان، گلستان، فارس و خوزستان در رتبه‌های بعدی از نظر میزان تولید قرار دارند (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶). البته در استان‌های اصفهان و چهار محال و بختیاری در اطراف زاینده رود و در استان آذربایجان شرقی در شهرهای میانه و خداآفرین نیز برنج کشت می‌شود. عملکرد برنج غرقاب در ایران در حدود ۲ تن در هکتار گزارش شده‌است (قربانی و همکاران، ۱۳۸۵).

بیش از ۸۰ درصد منابع آب شیرین در آسیا برای اهداف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیمی از این آب صرف تولید برنج می‌گردد. تونگ و بومن (۲۰۰۳) برآورد کردند که تا سال ۲۰۲۵ میلادی، ۱۵ تا ۲۰ میلیون هکتار برنج غرقاب از کمبود آب رنج خواهند برد. برنج گیاه بسیار حساس به شوری و کمبود آب است. و عملکرد آن حتی در هدایت الکتریکی $3\ dS\ m^{-1}$ نیز کاهش می‌یابد. همچنین وقتی که مقدار آب خاک به زیر نقطه اشباع می‌رسد، رشد و عملکرد اساساً از طریق کاهش سطح برگ، کاهش میزان فتوسنتز و اندازه دانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (بومن و همکاران، ۲۰۰۷).

روش آبیاری مورد استفاده برای برنج در کشور ما، غرقابی است که این روش موجب مصرف آب زیاد و کاهش کارایی آب مصرفی و کودها به ویژه نیتروژن می‌گردد. لذا لازمه‌ی تداوم کشت پایدار برنج مدیریت صحیح آب آبیاری و اصلاح ارقام مقاوم به تنش خشکی است (اسدی و شاهین رخسار احمدی، ۱۳۸۵). در این راستا رقم واندانا که برای شرایط غیرغرقاب در کشور فیلیپین اصلاح شده‌است، برای کشت وارد کشور شده است. منشأ این رقم از هند بوده و از تیپ مناطق معتدل است و در مقابل سرما مقاوم می‌باشد. این تیپ برنج‌هایی با ساقه نسبتاً کوتاه تولید کرده و دانه گرد بوده و ریزش محصول کم است و در کشورهای چین، کره، ژاپن، اروپا و امریکا کشت می‌شود (امیری لاریجانی و همکاران، ۱۳۸۴و آتلین و همکاران، ۲۰۰۶). این رقم برای شرایط غیرغرقاب اصلاح شده (آتلین و همکاران، ۲۰۰۶) و دیررس است و عملکرد متوسط شلتوک ۴/۰۳ تن در هکتار و در شرایط تنش آب ۳/۰۹ تن در هکتار دارا است. در یک بررسی که توسط چائی کار و همکاران (۱۳۸۶) انجام شد مشخص گردید که این رقم شاخص تحمل (اختلاف بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش) و حساسیت به تنش (نشان دهنده‌ی تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و در نتیجه پایداری آن ژنوتیپ است) کمتری نسبت به رقم هاشمی داشت چون هرچه این شاخص‌ها پایین‌تر باشند رقم مقاوم به خشکی خواهد بود. رقم دیگر

مورد استفاده در این پژوهش رقم هاشمی است. منشأ این رقم از ایران بوده و از تیپ‌های ایرانی است. این رقم مناسب برای شرایط غرقاب و پابلند و زودرس است و عملکرد شلتوک معمولاً ۴/۱۷ تن در هکتار و در شرایط تنش آب ۲/۵۵ تن در هکتار می‌باشد (چائی کار و همکاران، ۱۳۸۶).

۱-۱-۱- مشخصات گیاه شناسی

برنج گیاهی یکساله و چند ساله از تیره گندمیان بوده و شامل دو گونه *Oryza stiva* و *Oryza glaberrima* می‌باشد که گونه اول به طور وسیع در سراسر جهان کشت می‌شود و به سه تیپ ژاپنی، هندی و جاوه‌ای طبقه بندی می‌شود (امیری لاریجانی و همکاران، ۱۳۸۴). از نظر طول دوره رشد برنج گیاهی است که دارای ارقام زودرس (طول دوره‌ی رشد ۱۳۰ تا ۱۴۵ روز)، متوسط (۱۵۰ تا ۱۶۰ روز) و ارقام دیررس (۱۷۰ تا ۱۸۰ روز) می‌باشد (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶).

ریشه‌ی برنج سطحی و افشان بوده و حداکثر در عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک نفوذ می‌نماید. در این گیاه به غیر از ریشه‌های جنینی از محل گره‌ها نیز ریشه بوجود می‌آید. ساقه‌ی برنج بندبند و تو خالی بوده و در فواصل مختلف ساقه جداره‌های سختی قرار دارد که در آن قسمت‌ها ساقه توپر می‌باشد و گره نام دارد. برگهای این گیاه کشیده و بدون دمبرگ است و قاعده‌ی برگ پهنتر از سایر نقاط آن می‌باشد. در قاعده برگ در طرفین غلاف دو صفحهٔ کوچک یا بزرگ بنام گوشوارک[1]وجود دارد. همچنین در محل اتصال غلاف به ساقه زائدهٔ کوچکی بنام زبانک[2]وجود دارد. ارتفاع بوته‌های برنج در ارقام مختلف از ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر و گاهی اوقات تا ۲۰۰ سانتی‌متر هم تغییر می‌یابد. برگهای این گیاه متناوب بوده و در دو جانب متقابل ساقه قرار دارند. تعداد برگها در ارقام مختلف برنج متفاوت بوده، در ارقام زودرس ۱۴ تا ۱۵ برگ، در ارقام متوسط رس ۱۶ تا ۱۷ برگ و در ارقام دیررس تعداد برگها ۱۸ تا ۱۹ برگ بر روی هر ساقه می‌باشد. افزایش دمای هوای پیرامونی در زیاد شدن سطح برگ اثر تعیین کننده‌ای داشته و موجب بیشتر شدن تعداد برگها می‌گردد. پنجه‌ها به جوانه‌های اولیه گفته می‌شوند که در صورت مساعد بودن شرایط آب و هوایی تبدیل به ساقه می‌شوند. از مرحله ۴ تا ۵ برگی شدن گیاه پنجه‌زنی آغاز می‌گردد. پنجه‌ها در مراحل اولیه رشد برای تأمین مواد غذایی خود از ساقهٔ اصلی استفاده می‌کنند و این عمل تا ظهور حداقل ۳ برگ و ۴ ریشه ادامه می‌یابد. قدرت تولید پنجه در برنج خیلی زیاد بوده بطوری که هر بوته برنج معمولاً ۴ تا ۵ پنجه تولید می‌نماید (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶).

گل آذین در برنج بصورت خوشه‌ای بوده و دارای انشعابات فرعی می‌باشد و حاوی سنبلچه‌های تک گلچه‌ای است. برنج بر خلاف سایر غلات که ۳ تا ۴ پرچم دارند دارای ۶ پرچم است. نافه کوتاه و بساک‌ها بصورت دوخانه‌ای و دارای یک مادگی بوده که حاوی یک تخمدان می‌باشد. کلاله دو شاخه و پردار است. مادگی دارای تخمدان یک برچه‌ای می‌باشد. در اطراف هر گل دو برگ بنام پوشینه[3] وجود دارد که یکی لما[4]و دیگری پالئا[5] نامیده می‌شود. عموماً لما دارای ریشک و پالئا فاقد ریشک می‌باشد. ۷ تا ۹ روز بعد از گل دادن لایه آلرون از تغییر شکل لایه‌ی خارجی بافت آندوسپرم بوجود می‌آید. برنج گیاهی است خودگشن و بین صفر تا ۳ درصد دگرگشنی دارد. گرده‌افشانی تقریباً با باز شدن گلها در شرایط طبیعی رخ می‌دهد. دمای مطلوب برای گرده‌افشانی در حدود ۳۱ تا ۳۲ درجه سلسیوس است

1.Stipule
2.Liyule
3.Glumella
4.Lemma
5.Palea

(اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶).

۱-۱-۲- شرایط مناسب محیطی برای کشت برنج

دما: میانگین دمای هوای مورد نیاز برنج هنگام رشد باید بین ۲۰ تا ۳۷ درجه سلسیوس باشد. پایین بودن دما در اوایل فصل زراعی یا آبیاری مزرعه با آب سرد سبب می‌شود که زمان رسیدن دانه‌ها به تأخیر افتد. بالا بودن دما هم موجب کاهش تعداد سنبلچه‌های بارور و وزن دانه‌ها می‌شود (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶).

نور: نور هم یکی از عوامل مهم مؤثر بر رشد گیاه برنج است. شدت نور در اوایل فصل زراعی شاید عامل محدود کننده‌ای برای رشد برنج به حساب نیاید اما با نزدیک شدن به پایان فصل زراعی، به ویژه موقع تشکیل خوشه، رقابت برای جذب نور بین بوته‌ها افزایش می‌یابد (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶).

رطوبت نسبی هوا: رطوبت نسبی مناسب برای گلدهی گیاه برنج، ۷۰ تا ۸۰ درصد است. رطوبت کمتر از ۴۰ درصد، عامل بازدارنده‌ای برای گلدهی گیاه به شمار می‌رود. وزش باد و ریزش باران و تگرگ، در زمان گلدهی زیانبار است (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶).

۱-۱-۳- میزان آب خاک

اطلاعات آماری هواشناسی نشان می‌دهد که وقوع خشکسالی در مناطق برنج کاری در کشور ما ایران متأسفانه امری رایج است. به عنوان مثال می‌توان به خشکسالی سال‌های زراعی ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۰-۱۳۷۹ در دو استان گیلان و مازندارن و دیگر مناطق برنج کاری مثل استان‌های آذربایجان شرقی، اصفهان و... اشاره کرد (بری ابرقویی، ۱۳۸۲). گزارش شده‌است که تنش خشکی، تولید در واحد گیاهی، خوشه‌چه در واحد خوشه، درصد پرشدگی دانه و وزن دانه‌ها را کاهش می‌دهد (فجریا، ۲۰۰۱). مطالعات انجام شده در برزیل نشان داد که تنش آبی در طول مرحله رشد زایشی می‌تواند عملکرد برنج را تا ۶۰% کاهش دهد (باربوسا و یامادا، ۲۰۰۲). پیرمرادیان و همکاران (۱۳۸۲) گزارش کردند که آبیاری بارانی و غرقاب متناوب به طور معنی‌داری باعث کاهش آب مصرفی و افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد. آنان آبیاری به شیوه غرقاب متناوب را با توجه به صرفه جویی ۳۶ درصدی در آب مصرفی و عدم کاهش عملکرد دانه در استان اصفهان توصیه کردند.

هی و همکاران (۲۰۰۴) در یک خاک اسیدی در جنوب چین گزارش کردند که عملکرد دانه برنج زمانی که مقدار رطوبت خاک در ۶۰% ظرفیت نگهداری آب نگه داشته می‌شود، به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد در حالی که در ۸۰% ظرفیت مذکور با حالت غرقاب اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. همچنین در مطالعه مذکور تأثیر P بر رشد و عملکرد برنج بیشتر از مقدار رطوبت خاک عنوان شد. در مطالعه هی و همکاران با مصرف P عملکرد برنج و مقدار P افزایش یافت و در نهایت محققان مذکور پیشنهاد کردند که برنج غرقاب زمانی که P خاک به قدر کافی فراهم باشد، می‌تواند در شرایط هوازی کشت شود.

در مطالعه‌ای که برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های برنج (۴۹ رقم ایرانی و خارجی) به تنش خشکی انتهای فصل انجام شد واندانا یکی از ارقامی بود که دارای مقادیر نسبتاً پایین برای شاخص‌های حساسیت به تنش و شاخص تحمل پس از رقم نعمت بودند. هر چه این شاخص‌ها پایین‌تر باشند رقم، مقاوم به خشکی‌تر خواهد بود (چائی کار و همکاران، ۱۳۸۶).

۱-۲- برنج غیرغرقاب

برنج غیرغرقاب در محدوده وسیعی از بارندگی (از ۷۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌متر) رشد می‌کند. متوسط دمای هوا برای فتوسنتز بیشینه گیاه برنج در حدود ۲۵ تا۳۰ درجه سلسیوس است. همچنین دمای خاک ممکن است برای برنج غیرغرقاب از لحاظ جذب آب، تبخیر و تعرق و توسعه ریشه در پروفیل خاک اهمیت بیشتری داشته باشد. تابش خورشیدی نقش مهمی را در تشکیل خوشه‌چه، پر شدن، رسیدن دانه و بعلاوه جذب آب و عناصر غذایی در گیاه برنج بازی می‌کند. تابش کل به وسیله تغییرات فصلی توزیع بارندگی و طول روز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در کل برنج کشت شده به صورت دیم در نواحی گرمسیری در طول فصل بارندگی تابش کل در حدود ۳۸۰ تا ۴۲۰ کالری بر سانتی‌متر-مربع در روز در نواحی گرمسیری دریافت می‌کند (وان دات، ۱۹۸۶).

تغییر فصلی در رطوبت نسبی هوا از تغییرات فصلی بارش تبعیت می‌کند و رطوبت نسبی ممکن است در نواحی مرطوب به ۹۵-۸۰ %برسد ولی در نواحی خشک حتی تا ۲۰%افت کند اما رطوبت نسبی بالا مساعد برای رشد و ایجاد برخی بیماریهای قارچی است. مشکلات اصلی در تولید برنج غیرغرقاب، فیزیکی (تنش خشکی و خصوصیات فیزیکی خاک) و بیولوژیکی (بیماریها، حشرات، پرندگان، مورچه‌ها و علف‌های هرز) هستند. تنش‌های خشکی مسئول نوسانات عملکرد و خاک غیرحاصلخیز دلیل اصلی کاهش عملکرد برنج غیرغرقاب است. در کل تنش رطوبتی خاک در برنج زمانی اتفاق می‌افتد که ۵۰%کل آب قابل جذب خاک تخلیه شود (وان دات، ۱۹۸۶).

برنج به تنش آبی بویژه در مرحله زایشی بسیار حساس است. عمل گرده افشانی بیشتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد یک رقم برنج غیرغرقاب اصلاح شده خصوصیات حد واسط بین برنج غیرغرقاب امروزی و رقم‌های سنتی را دارد. برای مثال برگ‌های به طور متوسط دراز و سست، ارتفاع متوسط و توانایی پنجه دهی متوسط. در نواحی مستعد خشکی، رقم‌های زود رس با ویژگی‌های زیر مطلوب هستند: سیستم ریشه‌ای عمیق، وزن ریشه بیشتر، به ویژه زمانی که در رطوبت بالای خاک رشد یافته باشند، قطر ریشه بیشتر، ریشه‌های قوی‌تر اما با حجم بیشتر و نسبت بالای ریشه به بخش هوایی برای جذب بهتر آب، استفاده از رقم‌های زودرس و زودکشت ممکن است به برنج غیرغرقاب برای فرار از تنش خشکی کمک کند اگرچه حفظ رطوبت خاک برای کشت برنج غیرغرقاب در مناطق مستعد خشکی بسیار حیاتی است (وان دات، ۱۹۸۶).

در آزمایشی که توسط فجریا و بالیگار (۱۹۹۷) در خاک اکسی سول انجام گرفت، مشاهده شد که از عناصر پرمصرف، Ca و P و از عناصر کم مصرف، Mo و Zn از مهم‌ترین عناصر محدودکننده عملکرد برنج غیرغرقاب هستند. در میان ۵ محصول مورد آزمون، برنج غیرغرقاب بیشترین حساسیت را به کمبود P و کمترین حساسیت را به کمبود Ca نشان داد. چون قابلیت جذب P برای برنج در شرایط غیرغرقاب کاهش می‌یابد.

۱-۳- Zn

ضرورت Zn برای گیاهان عالی توسط سامر و لیپمن در سال ۱۹۲۶ کشف شد. Zn یک عنصر کم مصرف است اما اهمیت آن در تولید محصول در سالهای اخیر افزایش یافته است و اخیراً به عنوان مهم‌ترین عنصر کم مصرف محدود کننده عملکرد برنج در بخش‌های مختلف جهان شناخته شده است (فجریا، ۲۰۰۹). Zn عنصر ضروری برای چندین فرایند بیوشیمیایی مثل سنتز سیتوکروم و نوکلئوتید، متابولیسم اکسین، تولید کلروفیل، فعال سازی آنزیم و تکامل

غشا و جز لاینفک آنزیم‌های الکل دهیدروژناز، کربنیک انیدراز، سوپر اکسید دیسموتاز و RNA پلی مراز است (مارشنر، ۱۹۹۵ و دوبرمن و فیرهوست،۲۰۰۰). فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز به سرعت بر اثر کمبود Zn کاهش می‌یابد. کربنیک آنهیدراز در سیتوپلاسم و کلروپلاست‌ها تجمع و واکنش تبدیل CO_2 به بی‌کربنات و بالعکس را کاتالیز می‌کند که به فراهم شدن CO_2 برای فتوسنتز کمک می‌نماید (مارشنر، ۱۹۹۵). Zn سبب تسریع فرایندهای اکسایش، سنتز پروتئین و انتقال کربوهیدراتها می‌شود (کاباتا-پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱). گزارش شده‌است که کاهش عملکرد در گندم، برنج، ذرت و دیگر محصولات زراعی تا ۵۰% در خاک‌های با کمبود حتی ملایم Zn رایج و کمبود Zn دومین اختلال تغذیه‌ای محدود کننده عملکرد برنج غرقاب در فیلیپین است (چاخ ماخ و همکاران، ۱۹۹۸ و فجریا، ۲۰۰۹).

حدود یک سوم مردم جهان از سوء تغذیه ناشی از عناصر کم مصرف به ویژه کمبود Zn رنج می‌برند. مقدار کافی عناصر غذایی کم مصرف در برنج به ویژه Zn یک ویژگی مطلوب در کشورهایی می‌باشد که بیشتر از دانه‌ها برای تغذیه استفاده می‌کنند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). کمبود Zn در محصولات نه فقط عملکرد دانه را کاهش می‌دهد، بلکه کیفیت تغذیه‌ای دانه را نیز پایین می‌آورد. کمبود Zn در دانه‌های غلات مسئول کمبود این عنصر در انسانها به ویژه در کشورهای در حال توسعه است، جایی که رژیم‌های غذایی عمدتاً غلات هستند و خیلی کم از محصولات حیوانی و ماهی‌ها استفاده می‌کنند. مطابق گزارش سازمان بهداشت جهانی، کمبود Zn به عنوان پنجمین عامل خطر برای انسان-ها در جهان در حال توسعه مطرح است (ولچ، ۱۹۹۳). اصلاح ارقام برنج با غلظت Zn بالا در دانه‌ها به عنوان راهی برای کاهش سوء تغذیه Zn در جوامع انسانی پیشنهاد شده است. نتایج نشان داده است که وضعیت Zn بومی خاک عامل اصلی برای تعیین غلظت Zn دانه بعد از ژنوتیپ و کود می‌باشد (ویسوا و همکاران، ۲۰۰۸). کمبود Zn در خاکهایی با ماده آلی کم و در خاک‌های آهکی بسیار رایج است. در خاک‌های آهکی جذب سطحی و حبس شدن به وسیله کربنات‌ها دلیل اصلی قابلیت جذب ضعیف و کمبود Zn عنوان شده است (فجریا، ۲۰۰۹).

سطح بحرانی Zn خاک برای وقوع کمبود Zn با روش DTPA، ۰/۵ تا $mg\ kg^{-1}$ ۱ گزارش شده است (فجریا، ۲۰۰۹). مصرف ۴۰ تا $kg\ ha^{-1}$ ۵۰ به صورت سولفات Zn برای تصحیح کمبود Zn در خاکهای ایران مناسب عنوان شده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۹ و چاکرالحسینی، ۱۳۸۲). پراساد و یومار (۱۹۹۳) و تیواری و دیودی (۱۹۹۲) در تحقیقات خود نشان دادند که مصرف ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم سولفات Zn در هکتار به طور معنی‌داری باعث افزایش تولید برنج گردید.

۱-۳-۱- Zn در خاک

کانیهای مهم دارای Zn شامل اسفالریت (ZnS)، اسمیت زونیت ($ZnCO_3$) و همی مورفیت ($Zn_4(OH)_2Si_2O_7.H_2O$) می‌باشند. Zn همچنین جانشین منیزیم در کانی مونت موریلونایت می‌شود. شکل‌های Zn که در خاک می‌توانند قابلیت جذب آن توسط گیاهان را تحت تأثیر قرار دهند، عبارتند از: Zn محلول، Zn تبادلی، Zn به طور اختصاصی جذب سطحی شده بر سطح کلوئیدها و Zn جانشین شده به جای Mg^{2+} در ساختار کریستالی کانیهای رس (تیزدل، ۱۹۸۵). مقدار Zn خاکها به طور معنی‌داری وابسته به نوع خاک، عملیات مدیریتی اعمال شده توسط کشاورزان، شرایط اقلیمی، گونه‌های کشت شده و شدت کشت می‌باشد. مقدار Zn کل در لیتوسفر (سنگ کره)

به طور متوسط $mg\ kg^{-1}$ ۷۰ و محدوده متداول برای خاک‌ها با مقدار متوسط $mg\ kg^{-1}$ ۲۰ می‌باشد (نیشابوری و ریحانی تبار، ۱۳۸۹).

Zn در خاک به شکل‌های زیر یافت می‌شود:

(الف) در محلول خاک به صورت گونه‌های یونی یا کمپلکس شده

(ب) در محل‌های تبادلی اجزای واکنش پذیر خاک

(ج) کمپلکس شده با مواد آلی

(د) محبوس شده در اکسیدهای Fe، Al و Mn

(ه) در ساختمان کانیهای اولیه و ثانویه

Zn در بخش‌های مختلف خاک از قابلیت جذب متفاوتی برای گیاهان برخوردار است. به عنوان مثال Zn موجود در بخش های محلول و تبادلی به سهولت قابل جذب برای گیاهان بوده اما Zn موجود در ساختمان کانیهای اولیه و ثانویه خاک نسبتاً غیر قابل جذب برای گیاهان است (اینگار، ۱۹۸۱).

۱-۳-۲- جذب Zn توسط خاکها و گیاه برنج

Zn در خاک نسبتاً غیرمتحرک است و گزارش شده که پخشیدگی مکانیسم غالب انتقال به ریشه‌های گیاهان است (باربر، ۱۹۹۵). عوامل کی‌لیت کننده تولید شده به وسیله ریزجانداران یا ترشح شده به وسیله ریشه‌های گیاه ممکن است نقش مهمی در انتقال Zn به ریشه‌های گیاهان بازی کنند (تیزدل، ۱۹۸۵). این فلز در خاک‌های قلیایی و آهکی به علت جذب توسط کربناتها، رسوب به صورت هیدروکسیدها یا کربناتهای Zn و یا تشکیل زینکات کلسیم نامحلول غیرمتحرک می‌شود (کاباتا-پندیاس و پندیاس، ۲۰۰۱).

جذب Zn درخاک‌ها می‌تواند به وسیله pH خاک، مقدار و ماهیت کانی‌های رسی و ماده آلی، مقدار اکسیدهای Fe و Mn و همین طور مقدار کربنات‌های خاک تحت تأثیر قرار گیرد (فجریا، ۲۰۰۹). شومن (۱۹۸۵) گزارش کرده است که هم انرژی پیوند Zn با سطوح فاز جامد خاک و هم میزان جذب آن در خاک‌های ریز بافت نسبت به خاکهای درشت بافت بیشتر است و در میزان جذب Zn درصد رس تأثیر زیادی دارد. جذب Zn در خاک به شدت تحت تأثیر pH بوده و قسمت اعظم تغییر پذیری در جذب Zn به pH نسبت داده می‌شود (فجریا، ۲۰۰۹). برخی محققان هم گزارش کرده‌اند که pH فقط در محدوده اسیدی در جذب Zn نقش دارد و جذب Zn در pH های بالاتر از ۷/۱ مستقل از آن است (باربر، ۱۹۹۵).

هالدر و مندل (۱۹۷۹) گزارش کردند که مقدار Zn و Cu قابل استخراج با استات آمونیوم یک نرمال در هر سه رژیم رطوبتی (غرقاب دائم، غرقاب متناوب و اشباع، اشباع دائم) به مرور زمان کاهش یافت. ترتیب کاهش به صورت زیر بود: رژیم رطوبتی اشباع دائم > غرقاب دائم > غرقاب متناوب. مصرف ماده آلی باعث کاهش Zn قابل استخراج با استات آمونیوم شد. غیر متحرک شدن زیستی، تشکیل کربنات و هیدروکسیدهای Zn در شرایط غیرغرقاب و اثر ضدیتی افزایش Fe، Mn و P قابل استخراج در شرایط غرقاب، دلایل احتمالی برای کاهش مقدار Zn و Cu قابل استخراج مطرح شد.

جیوردانو (۱۹۷۹) اثر دما و نیتروژن خاک بر پاسخ برنج غرقاب و غیرغرقاب به Zn را مورد مطالعه قرار داد. بر طبق گزارش ایشان عملکرد دانه در حالت غیرغرقاب نسبت به حالت غرقاب بالاتر بود. اوره و سولفات آمونیوم عملکرد مشابه و مقدار جذب Zn مشابه‌ای برای برنج غرقاب داشتند اما سولفات آمونیوم برای برنج غیرغرقاب در تیمار بدون Zn قابل ترجیح بود. دلیل این امر این طور مطرح شد که مصرف سولفات آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن، ممکن است مقداری Zn را آزاد سازد.

نجفی (۱۳۷۸) گزارش کرد که Zn قابل استخراج با DTPA پس از افزودن کود سولفات Zn به خاک در هر دو شرایط غرقابی و غیرغرقابی ابتدا به سرعت کاهش یافته و سپس ثابت باقی می‌ماند و همین طور نتایج نشان داد که Zn قابل استخراج با DTPA در شرایط غرقابی به طور معنی‌داری از شرایط غیرغرقابی کمتر است. ایشان دلیل این امر را به کاهش پارامتر ریداکس و افزایش حلالیت Fe و Mn و اثر ضدیتی آنها بر قابلیت جذب Zn نسبت دادند. هم‌چنین قابلیت جذب Zn خاک و Zn مصرفی در محصولات غیرغرقاب خیلی بیشتر از خاک‌های غرقاب گزارش شده است (به نقل از بوری و همکاران، ۲۰۰۰).

کاشم و سینگ (۲۰۰۱a) گزارش کردند که انحلال پذیری و غلظت همه فلزات در محلول خاک با غرقاب کاهش می‌یابد. به گزارش نامبردگان غلظت Cd، Zn و Ni به طور معنی‌داری هم‌بستگی مثبت با Eh و هم‌بستگی منفی با pH در هر دو خاک با تیمار ماده آلی و بدون آن نشان داد. طی تحقیقی مشاهده شد که pH به ترتیب در شرایط غرقاب دائم (احیای کامل) از ۶/۸ تا ۷، غرقاب متناوب (احیای متوسط) از ۵/۸ تا ۶/۲ و شرایط غیرغرقاب معمولی از ۵/۱ تا ۶/۲ تغییر کرد (به نقل از کاشم و سینگ، ۲۰۰۱a) و قابلیت استفاده Zn با افزایشpH، کاهش یافت که این نتیجه توسط ریحانی تبار و همکاران (۱۳۸۵) نیز گزارش شده که با افزایش pH خاک تمام شکل‌های Zn و به ویژه Zn قابل استخراج با DTPA کاهش می‌یابد.

گائو و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که جذب Zn توسط برنج در شرایط هوازی، به دلیل تنش آبی، گونه بندی Zn در خاک و محلول خاک کمتر از غرقاب است. در شرایط غرقاب افزایش غلظت Fe و Mn باعث افزایش انحلال Zn می‌شود. به این ترتیب که Fe^{2+} وMn^{2+} نسبت به شکل‌های اکسیدی شان از قابلیت جذب بیشتری برخوردار هستند و در نتیجه با Zn برای جذب سطوح ماده آلی، رسها یا دیگر اکسیدها رقابت می‌کنند. در ضمنFe^{2+} از تشکیل ZnS جلوگیری می‌کند.

ملکوتی و همکاران (۱۳۸۳) گزارش کردند که با مصرف کود Zn، علاوه بر افزایش عملکرد (۵ تا ۲۱ درصد)، غلظت Zn دانه و شلتوک برنج افزایش یافت. نتایج ایشان نشان داد که اثر متقابل K و Zn معنی‌دار بوده و مصرف توأم این دو عنصر غذایی اثرات مثبتی بر رشد ریشه‌ها و بخش هوایی برنج داشت و در واقع K موجب افزایش جذب Zn گردید. حسینی و همکاران (۱۳۸۴) به این نتیجه رسیدند که مصرف Zn باعث افزایش معنی‌دار تعداد پنجه، عملکرد ماده خشک و نیز غلظت Zn، B و K در بافت گیاهی برنج رقم قصرالدشتی گردید. غلظت P با مصرف Zn کاهش قابل توجهی یافت ولی غلظت Fe تحت تأثیر قرار نگرفت. واکنش برنج رقم خزر به محلول پاشی Zn و B توسط بهمنیار و همکاران (۱۳۸۴) مطالعه و چنین گزارش شد که مصرف Zn باعث افزایش میزان تجمع Zn در برگ، وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک می‌شود بعلاوه Zn مصرفی موجب افزایش جذب Fe می‌گردد.