دانشکده کشاورزی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مقایسه خصوصیات مورفولوژیکی و آناتومیکی ریشه ژنوتیپ‌های جو(*Hordeum vulgare*) در مرحله گیاهچه‌ای و اثر تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع آلومینیوم در ریشه این ژنوتیپ‌ها

زهرا امینی

استاد راهنما
دکتر حمیدرضا خزاعی

اساتید مشاور
دکتر محمد کافی ؛ دکتر مسعود قدسی

بهمن ماه 1392

تعهد نامه

عنوان پایان نامه : مقایسه خصوصیات مورفولوژیکی و آناتومیکی ریشه ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare*) در مرحله گیاهچه‌ای و اثر تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع آلومینیوم در ریشه این ژنوتیپ‌ها

اینجانب **زهرا امینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زراعت** دانشکده **کشاورزی** دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی **آقای دکتر حمیدرضا خزاعی** متعهد می شوم :

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد یگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

1392/11/11

زهرا امینی

مالکیت نتایج و حق نشر

- **کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.**
- **استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.**

چکیده

نقش رشد ریشه در افزایش عملکرد محصولات زراعی موضوع شناخته شده و مهمی است که امروزه بیش از پیش مورد توجه متخصصان اصلاح نباتات قرار گرفته است. به منظور مطالعه خصوصیات مورفولوژیکی و آناتومیکی ریشه 18ژنوتیپ جو (*Hordeum vulgare*) و همچنین مقایسه تحمل این ژنوتیپ‌ها به تنش اکسیداتیو ناشی از آلومینیوم، آزمایش‌هایی در سال 1391در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار (مقایسات آناتومیکی با چهار تکرار) انجام گرفت. مقایسات مورفولوژیک با استفاده از دو محیط رشد اتاقک ژل و کاغذ صافی صورت گرفت. نتایج نشان داد که لاین C-87-10 با 283 میلی‌متر طول ریشه در کاغذ صافی و با 226 میلی-متر طول در اتاقک ژل بیش‌ترین مجموع طول ریشه را به خود اختصاص داد، درحالی که در کاغذ صافی رقم نیمروز با 139/3 میلی‌متر و در اتاقک ژل رقم سهند با 39 میلی‌متر کمترین طول ریشه را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند. از لحاظ وزن خشک ریشه در هر دو محیط رشد ژنوتیپ‌های یوسف، DC-85-5، C-87-10 و نصرت در رده‌های نخست و ارقام والفجر، سهند و نیمروز در رده‌های انتهایی قرار گرفتند. همچنین در کاغذ صافی، لاین DC-85-5 و رقم سهند به ترتیب بیش‌ترین و کمترین مقدار طول برگ را دارا بودند. در اتاقک ژل، لاین C-87-19 بیش‌ترین و رقم سهند کمترین سطح برگ را به خود اختصاص داد. در مقایسه بین دو محیط رشد، اتاقک ژل از لحاظ نحوه مطالعه ریشه نسبت به کاغذ صافی برتری نشان داد. در مقایسات آناتومیکی دو ژنوتیپ نیمروز و DC-86-3 به ترتیب بالاترین و پائیین ترین پهنای پوست و سطح مقطع کل را دارا بودند. رقم زر جو بیش‌ترین مساحت دایره آوندی، تعداد متازایلم و مجموع مساحت متازایلم ها را به خود اختصاص داد. از نظر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز رقم نصرت و از لحاظ فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ژنوتیپ DC-86-8 در مقام نخست قرار گرفتند. در کل لاین C-87-10 از لحاظ مجموع طول ریشه که مهمترین خصوصیت مورفولوژیکی است و رقم زرجو از لحاظ خصوصیات آناتومیکی برترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. از نظر میزان تحمل آلومینیوم نیز رقم سهند و ریحان چون هر دو آنزیم را به میزان بالایی تولید کردند رقم برتر معرفی شد.

کلید واژه‌ها: تنش آلومینیوم، آناتومی، اتاقک ژل، جو، ریشه

فهرست مطالب

صفحه

فصل اول 1

1-1 مقدمه 1

فصل دوم 5

1-2 بررسی منابع 5

1-1-2 تاریخچه و اهمیت جو 5

2-1-2 گیاه شناسی 6

3-1-2 موارد استفاده جو 7

4-1-2 سیستم ریشه غلات 7

5-1-2 اهمیت مطالعه ریشه 8

6-1-2 انواع روش‌های مطالعه ریشه 10

7-1-2 صفات ریشه‌ای 14

1-7-1-2 مجموع طول ریشه 14

2-7-1-2 وزن خشک ریشه 15

3-7-1-2 میانگین قطر ریشه 16

4-7-1-2 تعداد ریشه 16

8-1-2 آناتومی ریشه 17

1-8-1-2 ساختار تشریحی ریشه گیاهان تک لپه 18

2-8-1-2 اجزای ساختار ریشه 19

9-1-2 تنش اکسیداتیو 20

1-9-1-2 گونه‌های اکسیژن فعال 21

2-9-1-2 مکان سنتز گونه‌های اکسیژن فعال 24

3-9-1-2 آنتی‌اکسیدان‌ها سیستم دفاعی در برابر صدمات اکسیداتیو 25

10-1-2 سمیت آلومینیوم 26

1-10-1-2 اثر آلومینیوم بر ریشه 25

2-10-1-2 نقش آلومینیوم در بروز تنش اکسیداتیو 28

فصل سوم 31

1-3 مواد و روش‌ها 31

1-1-3 مواد گیاهی 31

1-1-1-3 برخی مشخصات ارقام مورد استفاده 31

2-1-3 مقایسه تفاوت‌های مورفولوژیکی 33

3-1-2-1 کاغذ صافی.....33
3-1-2-2 اتاقک ژل.....34
3-1-3 مقایسه تفاوت‌های آناتومیکی.....35
3-1-4 تعیین میزان آنتی‌اکسیدان‌ها.....36
3-1-4-1 تهیه عصاره آنزیمی ریشه.....36
3-1-4-2 تعیین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز.....37
3-1-4-3 تعیین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز.....37
3-1-5 محاسبات آماری.....38
فصل چهارم.....39
4-1 نتایج و بحث.....39
4-1-1 مقایسات مورفولوژیکی.....39
4-1-1-1 طول و تعداد ریشه.....39
4-1-1-2 وزن خشک ریشه.....43
4-1-1-3 میانگین قطر ریشه.....44
4-1-1-4 خصوصیات اندام هوایی.....45
4-1-2 مقایسات آناتومیکی.....45
4-1-2-1 پهنای پوست.....47
4-1-2-2 مساحت دایره محیطیه.....47
4-1-2-3 سطح مقطع ریشه.....47
4-1-2-4 مجموع مساحت و تعداد متازایلم‌ها.....48
4-1-3 همبستگی صفات مورفولوژیکی و آناتومیکی.....51
4-1-4 مقایسات تحمل به آلومینیوم.....54
4-1-4-1 میزان فعالیت کاتالاز.....52
4-1-4-2 میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز.....53
فصل پنجم.....55
5-1 نتیجه‌گیری.....55
پیشنهادات.....57
منابع.....59
پیوست‌ها.....71

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 2-1. نمای شماتیک اتاقک ژل	34
شکل 2-2. تصاویر اسکن شده اتاقک ژل	35
شکل 4-2. سطح مقطع ریشه ژنوتیپ‌های جو	50
شکل 4-2. مقایسه میانگین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز	53
شکل 4-3. مقایسه میانگین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز	54

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول 4-1. تجزیه واریانس صفات مربوط به کاغذ صافی	39
جدول 4-2. تجزیه واریانس صفات مربوط به اتاقک ژل	40
جدول 4-3. مقایسه میانگین صفات مربوط به کاغذ صافی	42
جدول 4-4. مقایسه میانگین صفات مربوط به اتاقک ژل	42
جدول 4-5. تجزیه واریانس صفات آناتومیکی	46
جدول 4-6. مقایسه میانگین صفات آناتومیک	46
جدول 4-7. همبستگی صفات مورفولوژیکی و آناتومیکی	51
جدول 4-8. تجزیه واریانس میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان	52

فهرست علائم و اختصارها

معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری
آسکوربات پراکسیداز	Ascorbat peroxidase	APX
پراکسید هیدروژن	Hydrogen peroxide	H_2O_2
دهیدرو آسکوربات رداکتاز	Dehydro Ascorbat peroxidase	DR
سوپراکسید دیسموتاز	Superoxide desmutase	SOD
کاتالاز	Catalase	CAT
گلوتاتیون اس-ترانسفراز	Glutation S-transferase	GST
گلوتاتیون رداکتاز	Glutation redactase	GR
گونه‌های فعال اکسیژن	Oxygen Reactive Species	ROS
مونودهیدرو آسکوربات رداکتاز	Mono dehydro Ascorbat peroxidase	MR

فصل اول

1-1 مقدمه

تامین نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد جهان مدت‌ها است که به یکی از نگرانی‌های بزرگ بشر تبدیل شده است. افزایش سطح زیر کشت و عملکرد در واحد سطح تنها گزینه‌ها برای افزایش غذا و تولیدات کشاورزی هستند. از آنجایی که امروزه تقریباً تمام زمین‌های زراعی به زیر کشت رفته‌اند و یا به علت فرسایش خاک و عوامل انسانی از مساحت این زمین‌ها کاسته شده، تنها راه باقی‌مانده افزایش تولید در واحد سطح است. این امر از طریق مدیریت زراعی مناسب، استفاده بهینه از منابع خاک، آب و عوامل محیطی به همراه برنامه‌های به نژادی امکان‌پذیر است.

از آنجا که تولید محصولات غذایی برای بقای نسل بشر ضروری است و 75 درصد انرژی انسان از نشاسته غلات تأمین می‌گردد، کشت گیاهان زراعی مخصوصاً غلات همیشه به صورت یک اصل ضروری باقی خواهد بود (اسمیت و اسمت، 2012). جو با تولید سالانه 136 میلیون تن پس از گندم، ذرت و برنج چهارمین غله مهم جهان است (آکار و همکاران، 2004). در جهان بیش از 85 درصد جو تولید شده برای تغذیه دام استفاده می‌شود که عملکرد آن به طور متوسط 5 – 4 تن در هکتار و در شرایط مطلوب بر حسب رقم حدود 8 تن در هکتار گزارش شده است. جو جزء گیاهان متحمل به خشکی است و در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی برای کشت گندم کافی نیست، کشت می‌شود (پوئلهام، 1985).

پیش‌بینی شده که در سال 2025 بیش از 60 درصد انسان‌ها در کشورهای دچار محدودیت آب ساکن خواهند بود (ژو و همکاران، 2010) و کمبود آب مشکلی بزرگ برای تأمین غذای این جمعیت کثیر است. بنابراین

معرفی و درک صفات بهبود دهنده تحمل به خشکی در گیاهان زراعی برای سیستم‌های زراعی امری ضروری است. در دهه‌های اخیر محققان شماری از صفاتی را شناسایی کرده‌اند که ممکن است برای دستیابی بهتر گیاه به آب و تحمل کم آبی کارساز باشد.

بررسی سیستم ریشه‌ای با مهاجرت گیاهان به اکوسیستم‌های خشکی مرتبط است. ریشه یک اندام کلیدی برای سازگاری گیاه به محیط زیست متغیر است و از این جهت در بحث تنوع زیستی اهمیت می‌یابد. اخیراً سیستم‌های ریشه‌ای به عنوان عنصری کلیدی در انقلاب سبز مطرح هستند که منجر به افزایش کارامدی گیاه در استفاده از منابع می‌شود (بوندر و همکاران، 2013). سیستم ریشه‌ای بزرگ برای رشد سریع گیاه و ثبات عملکرد در جو ضروری است (استردا و همکاران، 2011). ریشه‌ها در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی، از جمله تنش‌های خشکی و شوری، نقش مهمی در بقا و عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌کنند (برزویی و همکاران، 1390 ؛ میشل و همکاران، 2009). سیستم ریشه‌ای یک عامل مهم است که عملکرد و کیفیت محصول را در سال‌های خشکی افزایش می‌دهد. خصوصیات ریشه مانند تراکم ریشه، طول ریشه، عمق ریشه دهی و توزیع سیستم ریشه به عنوان عامل‌های موثر در مقاومت به خشکی در نظر گرفته می‌شوند (استردا و همکاران، 2011 ؛ پانگبوت و همکاران، 2009 ؛ ماتسویی و سینگ، 2003) چنانچه یک سیستم ریشه‌ای تحت شرایط خشکی، آب بیشتری استخراج کند، جذب مواد غذایی را افزایش دهد، از بیماری‌ها اجتناب کند و با علف‌های هرز رقابت خوبی داشته باشد، منجر به عملکرد بیشتری می‌شود. ضمناً این ریشه با کاهش نفوذ عمقی آب و مواد غذایی در جهت کشاورزی پایدار عمل می‌کند.

دشواری مطالعه ریشه در این است که گیاه به سبب داشتن انعطاف‌پذیری مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی قادر است ریشه خود را با ویژگی‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک تطبیق دهد. روش‌های رایج استفاده شده برای مطالعه ریشه مانند نمونه‌برداری تخریبی نیاز به زمان، هزینه بالا و نیروی انسانی برای کاوش و شستشوی ریشه دارد، ضمن اینکه مقداری از ریشه هم حین شستشو از دست می رود (سوبدی و همکاران، 2006).

بسیاری از مطالعات رشد ریشه در شرایط کنترل شده و با استفاده از گیاهچه جوان رشد یافته در محیطی یکنواخت مانند ژل، هیدروپونیک یا ماسه انجام شده است. ریشه‌های گیاهچه در چنین محیط‌هایی به سرعت

غربالگری می‌شوند و طول ریشه و سرعت طویل شدن ریشه‌های مختلف به آسانی تعیین می‌گردد (هارگریوز و همکاران، 2009).

یکی از تنش‌های که ممکن است برای رشد گیاه محدودیت ایجاد کند، تنش سمیت عناصر می‌باشد که به نوبه خود عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آمار نشان می‌دهد که 235 میلیون هکتار از زمین‌های جهان دچار مسمومیت ناشی از فلزات سنگین هستند (سینگ و همکاران، 2012). در خاک‌های اسیدی سطوح سمی آلومینیوم رشد گیاهان را متوقف می‌کند و در گیاهان حساس باعث کاهش عملکرد می‌گردد. گونه‌های گیاهی و ارقام مختلف یک گونه درجات مختلفی از مقاومت به آلومینیوم را از خود نشان می‌دهند و در بین غلات دانه ریز جو از حساس‌ترین گونه‌هاست (سونگ و همکاران، 2011).

در سطح سلولی پیوند قوی آلومینیوم با لیگاندهای دهنده اکسیژن مانند پروتئین، اسیدنوکلئیک و فسفولیپید موجب بازدارندگی تقسیم سلولی، رشد سلول و انتقال مواد می‌گردد. در سطح ملکولی آلومینیوم باعث تغییر در الگوی بیان ژن می‌شود که در پاسخ به تنش اکسیداتیو پاسخگو هستند (ناواسکیوز و همکاران، 2011).

اولین خط دفاعی در برابر سمیت آلومینیوم سیستم ریشه است، چون ریشه جذب و انتقال مواد سمی به اندام هوایی را کنترل می‌کند. سمیت آلومینیوم به واسطه فعال‌سازی واکنش‌های آنزیمی و غیر آنزیمی منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌شود. تحت تنش آلومینیوم سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی متعددی برای سبک کردن تنش اکسیداتیو در گونه‌های حساس و متحمل وجود دارد (ژو و همکاران، 2009). این اتفاق با قرار گرفتن ریشه به مدت چند دقیقه تا چند ساعت در معرض آلومینیوم رخ می‌دهد. Al^{3+} سمی‌ترین شکل آلومینیوم است که تنش اکسیداتیو را باعث می‌شود (المری تبلدی و همکاران، 2009). آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، سوپر اکسید دسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردکتاز وظیفه حفاظت آنزیمی در برابر اکسیدان اکسیدان‌ها را بر عهده دارند (اینز و مونتاگو، 1995).

کشت ارقامی که متحمل به غلظت‌های بالای این کاتیون باشند و آنتی‌اکسیدان بیشتری در ریشه تولید کنند، از ارکان مهم کشت موفق در خاک‌های حاوی مقادیر بالای این فلز می‌باشد.

هدف از این تحقیق مطالعه خصوصیات موروفولوژیکی و آناتومیکی ریشه برخی از ژنوتیپ‌های جو و همچنین بررسی سطح تحمل این ژنوتیپ‌ها به آلومینیوم، از طریق مقایسه میزان آنتی‌اکسیدان‌های تولید شده در ریشه این گیاه و در نهایت غربالگری ژنوتیپ‌ها بر اساس این خصوصیات مورد مطالعه است.

فصل دوم

2-1 بررسی منابع

2-1-1 تاریخچه و اهمیت جو

جو اولین غله‌ای است که توسط انسان کشت شده است و تا چند قرن قبل غله منحصر به فرد بود، تا اینکه به تدریج گندم از اهمیت بیشتری برخوردار شده و جایگزین آن شد. محققان اظهار داشتند که جو اهلی برای اولین بار ده هزار سال قبل، از خویشاوند وحشی خود به نام علمی *Hordeum vulgare* ssp spontaneum در خاورمیانه به دست آمد (بدر و همکاران، 2000). جو یکی از گیاهان مهم تیره غلات می‌باشد و جزء ده گیاه برتر کشت شده در جهان است. این گیاه دامنه سازگاری وسیعی دارد، با این حال ارزش تجاری آن به مراتب کمتر از گندم است و نقاطی از مناطق خشک را اشغال می‌کند که میزان بارندگی در آنجا بسیار کم و نامنظم بوده و برای کشت گندم مناسب نیست (تاج بخش و پور میرزا، 1382). با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد گوشتی و پروتئین حیوانی، تولید جو که دارای میزان بالایی از پروتئین و اسید امینه ضروری لایسین است و در حال حاضر مهم‌ترین ماده تشکیل دهنده جیره غذایی دامداری‌ها را تشکیل می‌دهد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌گردد (ماکویی، 1984). این گیاه یکی از محصولات مهم و اصلی ایران است و در سطحی معادل 1/154 میلیون هکتار در شرایط آب و دیم کشت می‌شود و از نظر سطح زیر کشت پس از گندم در رتبه دوم قرار دارد (انصاری مالکی و همکاران، 2009). به گزارش آکار و همکاران (2004) میزان تولید جو در جهان در حدود 137 میلیون تن می‌باشد. از کل تولیدات زراعی سال 89-1388 ایران 22/2 میلیون تن سهم غلات بوده که معادل29/5 درصد است. از این مقدار 69/4 درصد از

کشت آبی و 30/6 درصد از کشت دیم حاصل شده است. از کل تولید غلات 16/1 درصد سهم جو بوده است (آمارنامه کشاورزی 89-1388).

2-1-2 گیاه‌شناسی

جو گیاهی از خانواده گندمیان (Poaceae) از جنس Hordeum و از گونه sativum است. دارای انواع بهاره و پائیزه است (تاج‌بخش و پور میرزا، 1382). گیاهی یک ساله و دارای ارتفاعی حدود 120-60 سانتی‌متر می‌باشد (بریگز 1987). ساقه جو شامل میان گره‌های استوانه‌ای توخالی است که به وسیله 5 تا 10 گره متصل شده‌اند. طول میانگره‌ها به ترتیب از پایین به سمت بالای ساقه افزایش می‌یابد. طول ساقه در اکثر ارقام بین 30 تا 150 سانتی‌متر متغیر است. قسمتی از ساقه که درست در زیر خوشه قرار می‌گیرد ممکن است راست یا خمیده باشد.

برگ‌های این گیاه نیز به تعداد 5 تا 10 عدد در هر ساقه می‌باشند و از گره‌هایی که به طور متناوب در دو طرف ساقه قرار دارند، ظاهر می‌گردند. هر برگ شامل غلاف، پهنک، گوشواره، لیگول و یقه برگ می‌باشد. برگ‌های اولیه نوک مدور دارند و در این مرحله است که گندم را از جو تشخیص می‌دهند.

جو به طور طبیعی خودگرده‌افشان است و احتمال دگر گرده افشانی در آن بسیار کم است. این گیاه دارای گل آذین سنبله مرکب است که دارای تعدادی سنبلچه می‌باشد و این سنبله ها به محور خوشه اصلی متصل هستند. محور سنبله دارای دندانه است که روبروی هم واقع شده‌اند و در هر دندانه سه سنبلچه قرار دارد. درون هر سنبلچه یک گل وجود دارد. با توجه به اینکه کدام سنبلچه‌ها بارور می‌شوند، جوها را به انواع شش ردیفه، چهار ردیفه و دو ردیفه تقسیم‌بندی می‌کنند. فاصله بین گره‌های خوشه نشان دهنده تراکم سنبله می باشند که ممکن است سست، متراکم یا متوسط باشند. از نظر تعداد کرومزوم دارای انواع دیپلوئید، تتراپلوئید و هگزاپلوئید است. جوهای اهلی اغلب از تیپ دیپلوئید هستند (تاج بخش و پور میرزا، 1382).

ریشه جو مانند گندم، سطحی و افشان بوده و شامل دو جزء مجزاست. تقریباً 8-4 ریشه جنینی که از جنین منشأ می‌گیرند (وهبی و گرگوری، 1995). این ریشه‌ها در استحکام و تغذیه گیاه جوان در دوران اولیه رشد نقش مهمی دارند. یک یا دو عدد از این ریشه‌ها به طور عمودی و تا عمق دو متری خاک نفوذ می‌کنند (تاج بخش و پور

میرزا، 1382) و بسیاری از ریشه‌های گرهی یا نابجا که از پایین‌ترین گره به وجود می‌آیند. شبکه ریشه‌ای انواع جو بهاره ضعیف‌تر از سایر غلات بهاره بوده و ریشه‌های جو پائیزه طویل‌تر و قطورتر از انواع بهاره آن می‌باشد (وهبی و گرگوری، 1995).

2-1-3 موارد استفاده جو

در ابتدا از جو به عنوان غذای انسان استفاده می‌شد. اما امروزه در درجه نخست برای تغذیه دام استفاده می شود و سپس برای تولید مالت و مقدار کمتری هم به عنوان بذر و مصرف مستقیم توسط انسان به کار می‌رود. همچنین از جو برای تولید نشاسته که مصارف انسانی و شیمیایی دارد، استفاده می‌کنند (فائو، 2002).

از کاه و کلش این گیاه نیز به عنوان محصول جانبی بهره می‌گیرند و آن را به منظور تهیه بستر در کشورهای توسعه یافته و تغذیه دام در کشورهای در حال توسعه به مصرف می‌رسانند دانه جو هنوز در بسیاری از کشورها مانند هند، چین و اتیوپی به عنوان غذای اصلی انسان استفاده می‌شود (فائو، 2002). همچنین به این علت که جو زیست توده زیادی تولید می‌کند، از آن به عنوان یک کود سبز به منظور افزایش مواد آلی خاک و بهبود ساختار خاک استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از آن به عنوان یک گیاه پوششی و به عنوان عاملی برای جلوگیری از فرسایش خاک بهره برد. این گیاه با داشتن یک سیستم ریشه‌ای متراکم مانع از آبشویی شدن نیترات شده که منجر به افزایش کیفیت آب های زیرزمینی می‌گردد (والنزولا و اسمیت، 2002).

2-1-4 سیستم ریشه غلات

ریشه‌ها معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شوند:

ریشه‌های اولیه (حقیقی): که از رویان منشأ می‌گیرند و معمولاً در سراسر عمر گیاه وجود دارند، این نوع ریشه‌ها، سیستم ریشه‌ای راست را تشکیل می‌دهند.

ریشه‌های نابجا: که از ساقه، برگ و دیگر بافت‌ها به طور ثانوی منشأ می‌گیرند و ممکن است دائم یا موقتی باشند. در تک لپه‌ای‌ها ریشه اولیه عمر کوتاهی دارد و به زودی با یک دسته از ریشه‌ها نابجا منشأ گرفته و در قسمت پایه‌ای ساقه چه جایگزین می‌گردد، این ریشه‌های نابجا را سیستم ریشه‌ای افشان می‌نامند (چلبیان، 1388).

غلات دارای ریشه افشان می‌باشند. هنگامی که دانه غلات جوانه می زند اولین ریشه‌های که به وجود می آیند، ریشه‌های اولیه یا جنینی نامیده می‌شوند. این ریشه‌ها ممکن است تا پایان عمر گیاه باقی بمانند و یا پس از مدتی از بین بروند. عمق نفوذ ریشه در انواع غلات فرق می‌کند. نفوذ ریشه بستگی به عواملی همچون جنس خاک، میزان بارندگی و درجه حرارت خاک دارد. اگر خاک مطلوب و دارای زهکش باشد عمق نفوذ ریشه کمتر می‌شود (تاج بخش و پور میرزا، 1382)

از آنجا که تعیین و تشخیص صفات ریشه دشوار است، لذا بررسی‌های اندکی در رابطه با ریشه نسبت به اندام هوایی وجود دارد و تعدادی محدودی مطالعه روی صفات مورفولوژیکی ریشه مثل ارتفاع ریشه، زیست‌توده، قطر ریشه، سطح و حجم آن انجام شده است و این در حالی است که ریشه نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد دارد (حسین و همکاران، 1990). برای مثال ارقام جو بهاره نسبت به ارقام پائیزه ریشه کوتاه‌تری دارند، در نتیجه از نیتروژن سطح خاک استفاده می‌کنند. اما ارقام پاییزه با ریشه‌های عمیق خود قادرند از نیتروژن عمق خاک بهره‌برداری کنند (توروپ و کریستنسن، 2006). میزان طول ریشه ارقام جو بهاره و پائیزه به نوع خاک و به شرایط آب و هوایی بستگی دارد و در ارقام پائیزه به ظرفیت و محتوای آب خاک و نیز به میزان بارندگی وابسته است (توروپ کریستنسن و همکاران، 2003). توروپ کریستنسن (2009) اظهار داشت تفاوت های زیادی بین سیستم ریشه‌ای گندم پاییزه و بهاره از لحاظ طول، توزیع و گسترش ریشه وجود دارد. وی اظهار داشت میانگین طول ریشه‌ها در گندم پاییزه (2/2 متر) دو برابر گندم بهاره (1/1 متر) است. توسعه ریشه گندم پاییزه در طول پاییز و زمستان صورت می‌گیرد. همچنین ریشه‌های گندم کشت شده در اوایل پاییز نسبت به کشت اواخر پاییز طویل تر هستند و با افزایش درجه حرارت در زمان باز شدن گل‌ها ریشه دوانی و افزایش طول ریشه‌ها متوقف می‌شود (توروپ کریستنسن، 2009).

2-1-5 اهمیت مطالعه ریشه

مطالعات فراوانی در مورد اندام هوایی گیاهان همچون برگ، ساقه، گل و میوه صورت گرفته است. اما گیاهان دارای درجه قابل توجهی از تنوع در سیستم ریشه‌ای خود نیز هستند. سیستم ریشه‌ای بین گونه‌ها و درون گونه‌ها دارای تنوع می‌باشد که این تنوع تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط است. ریشه واسطه اصلی بین گیاه و عوامل زنده و غیر زنده محیط خاک است و این امر را با حس کردن تلنگرهای محیطی و پاسخ دادن به آن انجام می‌دهد (اسمیت و اسمت 2012).

ریشه علاوه بر کمک به استقرار گیاه در خاک، نقش مهم جذب آب و عناصر غذایی، کنترل جذب مواد و واکنش به برخی تنش‌های محیطی را بر عهده دارد. سهم ریشه‌ها در استقرار گیاه در خاک را نباید دست کم گرفت. تا جایی که می‌توان بخشی از موفقیت انقلاب سبز را ناشی از وجود ریشه‌های قوی در بوته‌های گندم و استقامت بهتر بوته‌ها در مقابله با خوابیدگی دانست (اروا و هم، 2001). رشد ریشه و ساختار آن در سازگاری گیاه به محیط رشد تاثیر دارد و دسترسی به عناصر قابل دسترس و آب گیاه را تعیین می‌کند. این ساختار توسط بر هم کنش ژن‌ها و محیط کنترل می‌شود (گوربر و همکاران، 2013).

اهمیت رشد ریشه در افزایش عملکرد محصولات زراعی موضوع شناخته شده و مهمی است که امروزه بیش از پیش مورد توجه متخصصان اصلاح نباتات قرار گرفته است. گوین (2010) و هالوسکوا و همکارانش (2009) بیان داشتند تنش های غیر زنده عصر حاضر که پیامد فعالیت های صنعتی آلوده کننده محیط‌زیست از قبیل افزایش فلزات سنگین شوری خاک و افزایش دمای هوا هستند، بر خصوصیات مورفولوژیکی و رشد ریشه‌ها به عنوان اولین ارگان گیاهی که با شرایط نامساعد محیطی مواجه می‌شوند، تأثیر دارند و به این ترتیب با اختلال در رشد ریشه در فرایند رشد گیاه و افزایش عملکرد ارقام مختلف جو مشکل ایجاد می‌کنند.

صفات ساختاری ریشه برای انتخاب گیاهان زراعی و ارقام کارآمدتر در جذب مواد غذایی از خاک، خصوصاً در محیط های دارای محدودیت آب مهم هستند. دستیابی به رطوبت اعماق خاک و کاهش نیاز به آبیاری می‌تواند به وسیله کارآمدتر ساختن ساختار ریشه به دست آید (اسمیت و اسمت، 2012). صفات ریشه‌ای می‌توانند اثر خشکی را با افزایش میزان جذب آب بواسطه افزایش تراکم طول ریشه یا با افزایش استخراج آب به وسیله افزایش نفوذ ریشه تعدیل کنند (مانشادی و همکاران، 2008). اندازه ریشه یک عامل مهم برای جذب عناصر غذایی ضروری مثل فسفر

پتاسیم و نیتروژن است. مورفولوژی ریشه از میزان کود نیتروژن به کار رفته تأثیر می‌گیرد. محققان گزارش کرده‌اند که غلظت بالای نیترات طول جانبی ریشه جانبی را افزایش می‌دهد درحالی‌که مجموع طول ریشه اولیه را کاهش می‌دهد (کومار و نارایانا، 2013).

برخی گیاهان به منظور تسهیل نفوذ در خاک‌های متراکم ریشه‌هایی با ضخامت بالا تولید می‌کنند و برخی دیگر ریشه‌هایی با زوایایی مختلف برای رسیدن به مواد غذایی ایجاد می‌کنند. توانایی گیاه برای گستراندن ریشه‌های خود در خاکی که آب و مواد غذایی‌اش در دسترس باشد، امری حیاتی برای رشد گیاه و تولید محصول است (هارگریوز و همکاران، 2009). علاوه بر جذب آب و مواد غذایی، نقش ریشه را در رقابت با علف‌های هرز نمی‌توان نادیده گرفت. بدون شک گیاهی که در ابتدای رشد قادر به تشکیل یک سیستم ریشه‌ای گسترده باشد، در استفاده از منابع غذایی رقیب قدرتمندتری نسبت به سایر گونه‌های موجود خواهد بود. کازماریک و همکاران (2013) گزارش کردند که در کشت مخلوط جو و یولاف، اگر این دو گونه با سیستم ریشه‌ای خود نسبت به یکدیگر واکنش نشان دهند، جو قدرت غالبیت بیشتری نسبت به یولاف خواهد داشت.

سیستم ریشه از لحاظ فنوتیپی خیلی انعطاف‌پذیر است. چرا که محیطی که گیاهان رشد می‌کنند از لحاظ زمانی و مکانی متفاوت است (برتین و همکاران، 2003). رشد و نمو ریشه بر حسب خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، اقلیم و ژنوتیپ گیاه تغییر می‌کند (روشن ضمیر و همکاران، 1389). از آنجا که با خارج کردن ریشه از خاک ممکن است ساختار ریشه تخریب شود و همچنین با توجه به اینکه در محیط های رشد مختلف انعطاف‌پذیری فنوتیپی سیستم ریشه مشاهده می‌شود، مطالعه ریشه کاری دشوار بوده و غربالگری را محدود ساخته است.

2-1-6 انواع روش‌های مطالعه ریشه

روش‌های مطالعه ساختار ریشه دو دسته می باشند. دسته اول آنهایی هستند که در مزرعه انجام می‌شوند و ممکن است تخریبی یا غیر تخریبی باشند. روش‌های مزرعه‌ای شامل استفاده از ریزوترون[1]، استفاده از مونولیت[1]،

[1] Rhizotron

روش نیمرخ خاک و استفاده از اوگر می باشد که روش ریزوترون و نیم‌رخ خاک غیرتخریبی بوده و پس از مطالعه ریشه، گیاه قادر به ادامه زندگی خواهد بود. دسته دوم روش‌های آزمایشگاهی‌اند که همگی غیرتخریبی هستند. از جمله این روش‌ها می‌توان استفاده از سیستم نیمه هیدروپونیک[2]، اتاقک رشد[3]، سیستم هیدروپونیک[4]، سیستم آئروپونیک[5] و اتاقک ژل[6] را نام برد.

2-1-6-1 ریزوترون

ریزوترون شامل یک لوله شفاف است که درون خاک و در هر قسمت از نمونه جاسازی می‌شود. جنس این لوله معمولا شیشه است. قطر این لوله بین 12-80 میلی‌متر است. جزئ دیگر این دستگاه یک دوربین مینیاتوری است که فیلم و عکس می‌گیرد و به نمایشگر ارسال می‌کند. انتهای لوله که در سطح خاک است باید پوشیده شود تا نور به لوله نفوذ نکند. با استفاده از تصاویر گرفته شده نحوه توزیع ریشه در پروفیل خاک مشاهده می‌شود (علیزاده، 1383).

2-1-6-2 مونولیت

در این روش ستون‌هایی از خاک برداشته می‌شود. پس از شستشو و خارج کردن خاک اطراف ریشه‌ها، سیستم ریشه از نظر طول، اندازه و زوایا بررسی می‌شود. ساده ترین مونولیت برداشت یک بیل خاک حاوی ریشه و شستن آن در یک ظرف توری است، اما برای مطالعه دقیق‌تر از مونولیت مکعبی استفاده می‌شود.

مونولیت صفحه‌ای مستطیل شکل است که پیچ هایی به فواصل مساوی و به طور عمودی روی آن ثابت شده اند که می‌تواند ریشه‌ها را درون پروفیل‌های مکعبی خاک نگهدارد. در مونولیت مکعبی حفره ای به طول تقریبی یک متر و حداکثر تا عمق توسعه ریشه ها حفر می شود و سپس از دیواره آن لایه به لایه مونولیت‌هایی تهیه و خارج

---

[1] Monolith
[2] Semi-hydroponic
[3] Growth chmber
[4] Hydroponic
[5] Airoponic
[6] Gel chamber