

الگوهای زمانی و مکانی رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط تنش غرقابی

علی گنجعلی، هابرو پالتا و نیل ترنر^۱

چکیده

تغییرات زمانی و مکانی صفات مربوط به ریشه در ژنوتیپ‌های نخود شامل، Rupali (تیپ دسی) و Flip 97-530 (تیپ کابلی) در شرایط تنش غرقابی و بدون تنش (شاهد) در گلخانه تحقیقاتی CSIRO در ایالت وسترن استرالیا مورد مطالعه قرار گرفتند. جعبه‌های مخصوص مطالعه ریشه به ابعاد $100 \times 24 \times 10$ سانتی‌متر که یک دیواره آن شیشه‌ای بود به عنوان واحدهای آزمایشی انتخاب شدند. هنگامی که طول ریشه اولین ژنوتیپ آن به ۵۰ سانتی‌متری سطح خاک رسید، تنش غرقابی به مدت ۱۲ روز اعمال و پس از مدت مذکور در پیچه خروج آب باز و زهکشی انجام شد. سرعت رشد ریشه با استفاده از اطلاعات ثبت شده بر روی فیلم‌های ترانس پرانسی، محاسبه شد. همبستگی خطی، مثبت و بسیار معنی‌داری بین صفات ریشه در اندازه‌گیری‌های مستقیم (داخل خاک) و غیر مستقیم (فیلم‌های ترانس پرانسی) وجود داشت. پوسیدگی و مرگ ریشه‌ها در دوره تنش غرقابی باعث افت سریع رشد ریشه در دوره تنش و پس از آن شد، اما در مراحل انتهایی دوره بازگشت، رشد سریع ریشه‌ها مجدداً در لایه ۰-۴۰ سانتی‌متری سطح خاک افزایش یافت. الگوهای زمانی و مکانی متفاوتی از نظر رشد ریشه مشاهده شد. سرعت رشد ریشه در هر لایه پروفیل خاک با یک اختلاف زمانی و با یک مقدار معین که برای هر لایه خاک متغیر بود، به حداکثر رسید. هم در شرایط تنش و هم بدون تنش، تراکم طول ریشه با افزایش عمق خاک در هر دو ژنوتیپ کاهش یافت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که استراتژی رشد ریشه‌ها در گیاه نخود، گسترش بیشتر آنها در لایه‌های سطحی خاک (۰-۴۰ سانتی‌متری) است. در طول دوره رشد، ژنوتیپ Flip 97-530 از نظر صفات مربوط به ریشه از قابلیت‌های بالاتری نسبت به ژنوتیپ Rupali برخوردار بود. بنابراین، استفاده از این ژنوتیپ برای مناطق دارای تنش غرقابی امید بخش تر به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تنش غرقابی، ریشه و نخود (*Cicer arietinum* L.).

مقدمه

زراعی نشان داده است که خصوصیات بستر گیاه تأثیر معنی‌داری بر الگوی توزیع ریشه‌ها در پروفیل خاک دارد و می‌تواند توزیع کمی ریشه‌ها را در لایه‌های خاک تغییر دهد (۱۹ و ۱۱). تنش غرقابی یک مشکل عمومی در بسیاری از اراضی زیر کشت دنیا و از جمله بسیاری از زمین‌های زراعی جنوب غرب استرالیا (ایالت و سترن) است (۸). بیش از ۶۰ درصد اراضی زراعی ایالت وسترن استرالیا دارای خاک دو لایه‌ای^۲ (۲۳) و از ظرفیت نگهداری آب کمی برخوردار هستند. بنابراین اراضی این مناطق عموماً مستعد ایجاد شرایط

ریشه‌ها در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی از جمله تنش‌های غرقابی و خشکی نقش مهمی در بقا و عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌نمایند. مطالب زیادی در ارتباط با ساختار هندسی و واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی به رشته تحریر در آمده است اما اطلاعات از واکنش ریشه‌ها در حضور تنش‌های مختلف محیطی و چگونگی تأثیر آنها بر فرایندهای رشد و نمو ریشه، کم و یا وجود ندارد (۱۰ و ۱۱). بررسی‌ها در گیاهان

۱- عضو هیات علمی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی ایالت استرالیا غربی CSIRO و استاد فیزیولوژی گیاهان زراعی CSIRO، ایالت استرالیا غربی و دانشکده کشاورزی دانشگاه وسترن استرالیا (UWA)

(۲۸).

بطور کلی اطلاعات ما در مورد تغییرات مکانی و زمانی رشد ریشه و جنبه‌های مختلف آن کم و محدود است، زیرا ریشه اندامی زیرزمینی و مطالعه آن مشکل و پرهزینه است (۲۶). در شرایط عدم امکان اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه در شرایط مزرعه، شبیه‌سازی رشد ریشه با زمان به عنوان یک راه حل برای ارزیابی تفاوت‌های ژنوتیپی و بررسی واکنش آنها به شرایط متغیر محیطی مورد توجه قرار می‌گیرد (۲۴). موفقیت مدل‌هایی که رشد ریشه و توزیع آن را شبیه‌سازی می‌کنند به چگونگی شناخت دقیق روابط موجود بین صفات مربوط به ریشه وابسته است. تایلور و کلپر (۲۲) دریافتند مشاهدات بدست آمده از طریق ثبت اطلاعات ریشه روی دیواره شیشه‌ای ریزوترون^۴ همبستگی بسیار بالایی با رشد ریشه در درون خاک دارد. این محققان همچنین تفاوت معنی‌داری را در RLD مشاهده شده و برآورد شده با استفاده از اطلاعات دیواره شیشه‌ای ریزوترون مشاهده نکردند. شناخت الگوهای زمانی و مکانی توزیع ریشه‌ها در خاک به منظور اعمال مدیریت صحیح در زمان و مکان در بخش‌های مختلف پروفیل خاک و افزایش کارایی ریشه در بهره‌برداری بهینه از پتانسیل آب و خاک، ضروری است. مطالعات در ارتباط با پراکنش ریشه و ویژگی‌های فیزیولوژیکی رشد و نمو آن در ابعاد زمان و مکان در شرایط تنش غرقابی، برای برخی گیاهان مانند ذرت (۲۱)، گندم (۱۳ و ۱۷) و نخود فرنگی (۳) انجام شده است، اما چنین اطلاعاتی برای نخود وجود ندارد و یا بسیار محدود است. لذا این آزمایش با هدف بررسی تأثیر تنش غرقابی موقت بر الگوهای مکانی و زمانی رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود و چگونگی تأثیر آن بر صفات مربوط به ریشه در پروفیل خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود در پروفیل خاک و برآورد صفات مربوط به ریشه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، آزمایشی در سال زراعی ۲۰۰۵ با دو ژنوتیپ نخود شامل Flip 97-530

غرقابی هستند (۴). وجود تنش غرقابی در مرحله رشد رویشی نخود (۳) و تنش خشکی انتهایی در مرحله پر شدن دانه‌ها (۲۵)، علت اصلی عملکرد پایین و متغیر نخود در این مناطق است. شرایط غرقابی از طریق تأثیر بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، رشد ریشه و سرانجام رشد گیاه را محدود و متوقف می‌کنند (۱۷ و ۲۷). ریشه‌ها اولین اندام گیاه هستند که اثرات تنش غرقابی را تجربه می‌کنند و پس از آن اندام‌های هوایی تحت تأثیر تنش قرار می‌گیرند (۱۷). مرگ ریشه‌ها و بوئزه ریشه‌های بذری در شرایط تنش غرقابی در بسیاری از گیاهان از جمله گندم (۱۳)، نخود (۶) و لوبین (۸) گزارش شده است. گنجعلی و همکاران (۲) در بررسی رشد ریشه ۲۰ ژنوتیپ نخود، تغییرات یکنواختی را بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مربوط به ریشه در مراحل مختلف فنولوژی گیاه مشاهده نکردند. محققان این آزمایش بیان داشتند چنانچه گزینش برای یک صفت خاص مورد نظر باشد بهتر است انتخاب در مرحله‌ای از فنولوژی گیاه انجام شود که صفت مذکور در آن مرحله دارای بیشترین اثرگذاری است. حساسیت گیاه به تنش غرقابی نیز با مراحل مختلف نمو گیاه و شرایط محیطی حاکم بر گیاه مانند درجه حرارت، تشعشع و نوع خاک به شدت تغییر می‌کند (۱۴ و ۱۴). در یک آزمایش، تنش غرقابی، سرعت رشد ریشه (RGR^۱) گندم را بیش از دو برابر اندام هوایی آن کاهش داد (۱۷). در مطالعات مربوط به ریشه، تراکم طول ریشه (RLD^۲) به عنوان معیاری برای کارایی ریشه گیاه از نظر جذب آب و عناصر غذایی مطرح است. در این ارتباط ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی نخود معمولاً از RLD و وزن خشک ریشه (RDW^۳) بالاتری در شرایط کمبود رطوبت خاک برخوردار هستند (۱۹ و ۲۸). در باقلا (*Vicia faba* L.)، RLD با افزایش عمق خاک به طور قابل توجهی کاهش یافت. در این گیاه حدود ۵۶ الی ۶۶ درصد RLD به لایه صفر الی ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک تعلق داشت (۱۸). متأسفانه اطلاعات در مورد تغییرات RLD ژنوتیپ‌های نخود در واکنش به تنش غرقابی محدود و یا وجود ندارد، اما مطالعات در شرایط تنش خشکی نشان داده است که حداکثر RLD به لایه‌های سطحی خاک تعلق دارد

1 - Root growth rate

2 - Root Length Density (RLD)

3 - Root dry weight (RDW)

4- Rhizotron

رشد نمودند. در تیمار شاهد هر دو روز یکبار جعبه‌ها آبیاری و آب اضافی از طریق دریچه خروجی از محیط ریشه گیاه خارج می‌شد. گیاهان در محیط کنترل شده با درجه حرارت ثابت روز و شب به ترتیب ۲۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد و فتوپریود طبیعی (تقریباً ۱۱ ساعت) رشد نمودند و سپس در مرحله شروع گلدهی، گیاهان مربوط به هر جعبه رشد برداشت شدند. به این ترتیب آزمایش با دو ژنوتیپ نخود و دو شرایط تنش غرقابی و بدون تنش (شاهد) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد.

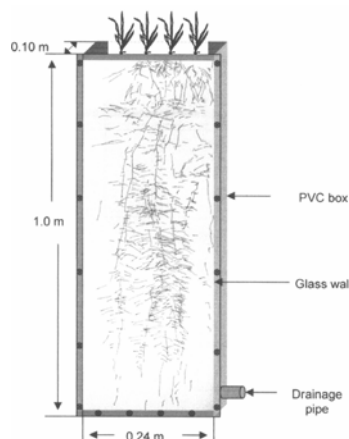
اندازه‌گیری‌ها

رشد ریشه از طریق نقاشی^۶ ریشه‌ها روی دیواره شیشه‌ای جعبه‌های ریشه در فواصل زمانی معین ثبت شد. این عمل از طریق برداشتن پوشش سیاه رنگ PVC از دیواره شیشه‌ای جعبه‌های رشد و ثبت ریشه‌های جدید روی فیلم های ترانس پرانسی و پس از آن روی دیواره‌ای شیشه‌ای انجام شد. با این عمل تشخیص رشد جدید ریشه‌ها برای نوبت‌های بعدی امکان پذیر می‌شد. در هر نوبت پس از اتمام کار، پوشش سیاه رنگ PVC مجدداً در محل اولیه خود نصب می‌شد. این عمل هر ۴۸ ساعت یکبار تا پایان دوره رشد تکرار شد.

هنگامی که اولین ریشه گیاه به عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک رسید، گیاهان موجود در هر جعبه رشد برداشت شدند. جعبه‌های رشد حاوی بخش‌های زیر زمینی گیاه در سردخانه نگهداری شدند و بتدریج برای شستشو و تفکیک ریشه‌ها از خاک به اتاق شستشوی ریشه منتقل شدند. پروفیل خاک موجود در جعبه رشد به لایه‌های ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰، ۸۰-۱۰۰ و ۱۰۰-۱۲۰ سانتیمتری تقسیم و ریشه‌های مربوط به هر لایه بطور جداگانه شسته و ریشه‌های کاملاً تمیز شده آن برای اندازه‌گیری‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. ریشه‌ها ابتدا به مدت ۳۰ دقیقه در متیلن بلو یک درصد (W/V) قرار گرفتند و سپس در سینی‌های شیشه‌ای^۷ به ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر حاوی آب مقطر قرار گرفتند. ریشه‌های رنگ آمیزی شده در هر سینی با یک اسکرن متصل به کامپیوتر، اسکن و سپس با استفاده از نرم‌افزار ROOT

(تیپ کابلی) و Rupali (تیپ دسی) در گلخانه تحقیقاتی CSIRO^۱ شهر پرت^۲ در ایالت وسترن استرالیا انجام شد. جعبه‌های مخصوص رشد ریشه^۳ به ابعاد ۱۰۰×۲۴×۱۰ سانتی‌متر که یک دیواره آن شیشه‌ای بود (شکل ۱)، به عنوان واحدهای آزمایشی در نظر گرفته شدند. پنج سانتی‌متر از قسمت تحتانی جعبه‌ها به منظور ایجاد زهکش از گرانول پر شد و مابقی جعبه‌ها مخلوطی از خاک مزرعه و ماسه به نسبت ۶۰ به ۴۰ پر شدند. خاک مورد استفاده در آزمایش از منطقه مریدین^۴ (منطقه تولید نخود در ایالت وسترن) تهیه شد. دو بذر جوانه‌دار شده در هر جعبه (معادل ۸۰ گیاه در متر مربع) پس از تلقیح با باکتری در عمق ۵ سانتی‌متری سطح خاک کشت شدند. قبل از کاشت، مخلوط عناصر میکرو^۵ به مقدار ۵/۱۶ گرم و عناصر ماکرو شامل KNO₃، Ca(NO₃)₂ و سوپر فسفات تریپل به ترتیب به مقادیر ۱/۲۲، ۱/۷۳، ۱/۱۵ و ۲/۵۷ گرم به هر جعبه رشد اضافه شد. در قسمت تحتانی هر جعبه یک دریچه برای خروج آب زهکش و نیز برای ایجاد تنش غرقابی از طریق بستن آن تعبیه شد.

بررسی‌های طولانی مدت در منطقه نشان داده است که وقوع تنش غرقابی تقریباً مصادف با زمانی است که ریشه‌های نخود حدوداً ۵۰ سانتی‌متر طول دارند، لذا در این آزمایش زمانی که طول ریشه اولین ژنوتیپ به ۵۰ سانتی‌متر رسید، تنش غرقابی اعمال و برای ۱۲ روز ادامه یافت. بعد از این مدت دریچه خروج آب باز و گیاهان در شرایط معمول



شکل ۱: نمایی شماتیک از یک جعبه مطالعه ریشه.

1- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)
3- Root growth box

4- Merridian

5- Rich grow

6- Painting

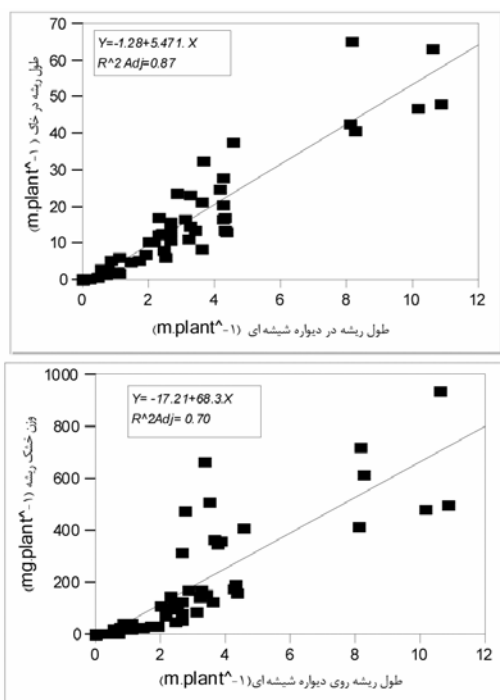
2- Perth
7- Tray

میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) با سطح احتمال خطای کمتر از یک درصد ($P \leq 0.01$) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

روابط موجود بین اندازه‌گیری‌های مستقیم و غیر مستقیم طول و وزن خشک ریشه

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین طول ریشه اندازه‌گیری شده در خاک (اندازه‌گیری مستقیم) و طول ریشه محاسبه شده براساس فیلم‌های ترانس پرانسی (اندازه‌گیری‌های غیر مستقیم) نشان داد که رابطه خطی مثبت و بسیاری معنی‌داری بین دو متغیر فوق وجود دارد ($r^2 = 0.70$) (شکل ۲). با توجه به نتایج فوق امکان برآورد رشد طولی ریشه نسبت به زمان و محاسبه تغییرات لحظه‌ای آن در پروفیل خاک با توجه به معادله‌های حاصله (معادله‌های ۱ و ۲)، امکان پذیر خواهد بود. همچنین رابطه



شکل ۲: همبستگی موجود بین اندازه‌گیری غیر مستقیم طول ریشه با استفاده از اطلاعات ثبت شده بر روی دیواره‌های شیشه‌ای (فیلم‌های ترانس پرانسی) با طول واقعی ریشه در خاک (راست) و وزن خشک ریشه در خاک (چپ).

EDGE (Root Edge, ۱۹۹۹)، طول و سطح ریشه برای هر گیاه محاسبه شد. با توجه به حجم زیاد ریشه‌ها، این عمل چندین بار تا اتمام همه ریشه‌ها برای هر گیاه تکرار شد. پس از اندازه‌گیری‌های سطح و طول، ریشه‌های مربوط به هر بخش بطور جداگانه جمع‌آوری و برای تعیین وزن خشک در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد بمدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و سپس توزین شدند.

فیلم‌های ترانس پرانسی مربوط به هر جعبه و هر روز که رشد ریشه‌ها بر روی آنها ثبت شده بودند به فواصل ۲۰ سانتی متری برش زده شدند و سپس اسکن شدند. پس از اسکن تمامی فیلم‌های مربوط به هر جعبه، تصاویر حاصله با استفاده از نرم افزار ROOT EDGE آنالیز شدند. به این ترتیب طول ریشه‌های مربوط به هر لایه خاک در فواصل زمانی معین، تعیین شدند. تراکم طول ریشه بر اساس طول ریشه موجود در هر لایه خاک (سانتی متر) در حجم اشغال شده توسط ریشه در آن لایه (سانتی متر مکعب خاک) محاسبه شد.

به منظور بررسی الگوهای زمانی تغییرات طول ریشه در پروفیل خاک از معادله‌های غیر خطی استفاده شد. به این ترتیب که بهترین معادله برازش شده بین طول ریشه و زمان که دارای بالاترین ضریب همبستگی بود به تفکیک برای هر لایه از پروفیل خاک انتخاب و با توجه به روابط موجود مقادیر لحظه‌ای هر یک از صفات مورد بررسی تعیین و سپس نمودارهای لازم رسم شدند (معادله‌های ۱ الی ۴).

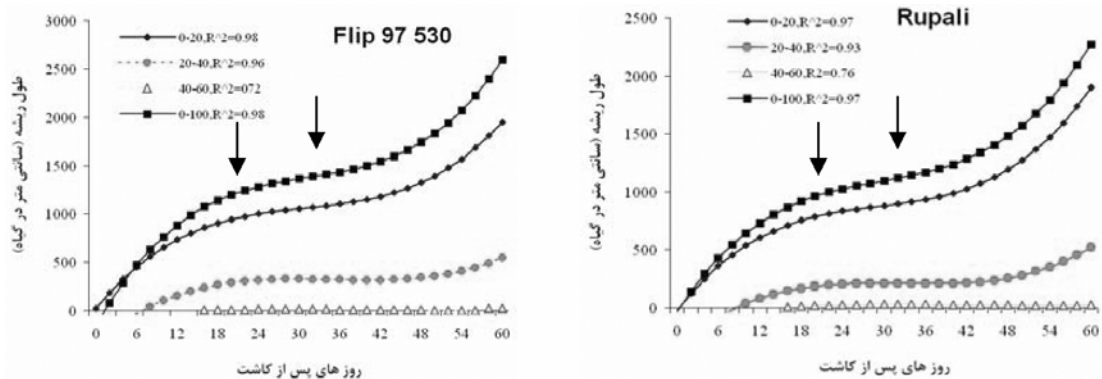
$$RL^1_w = -a + bt - c(t - 22.85)^2 - d(t - 22.85)^3 \quad (1)$$

$$RL^1_c = a + bt - c(t - 28.42)^2 + d(t - 28.42)^3 \quad (2)$$

$$RGR^2_w = dRL^1_w / dt = b - 2c(t - 22.85) - 3d(t - 22.85)^2 \quad (3)$$

$$RGR^1_c = dRL^1_c / dt = b - 2c(t - 28.42) + 3d(t - 28.42)^2 \quad (4)$$

در این معادلات a, b, c, d ضرایب معادله‌های رگرسیون (مقادیر متفاوت برای هر تیمار و لایه خاک)، اندیس‌های W و C به ترتیب شرایط تنش غرقابی و کنترل هستند و t روزهای پس از کاشت می‌باشد. تغییرات زمانی وزن خشک تجمعی ریشه مطابق روش بالا محاسبه و نمودار تغییرات آن رسم شد. تجزیه واریانس و تجزیه رگرسیونی صفات با استفاده از نرم‌افزارهای Mstat-C و JMP انجام و



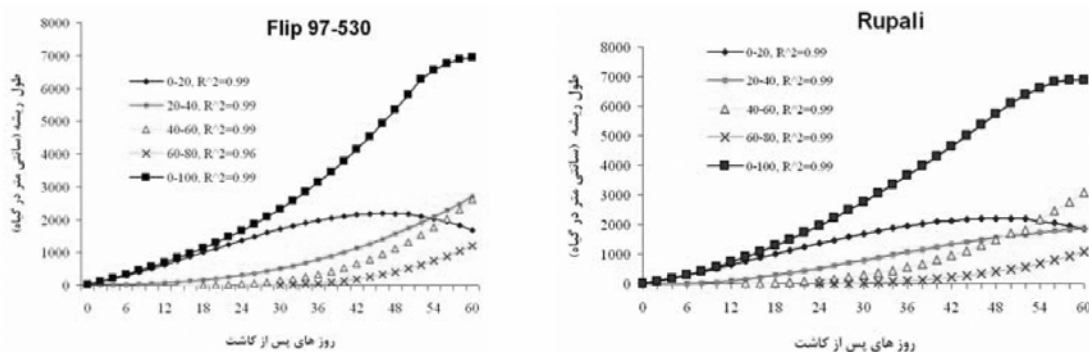
شکل ۳: تغییرات زمانی طول ریشه ژنوتیپ‌های نخود در لایه‌های مختلف پروفیل خاک در محیط تنش غرقابی موقت (پیکان‌ها ابتدا و انتهای دوره تنش غرقابی را نشان می‌دهند).

سانتی‌متری سطح خاک)، تا ۱۸ روز پس از کاشت روند خطی داشت، با شروع دوره تنش غرقابی رشد طولی ریشه متوقف و تا ۵۰ روز پس از کاشت در هردو ژنوتیپ افزایش چشمگیری نداشت (شکل ۳). کاهش رشد ریشه در این فاصله زمانی، به دلیل مرگ و پوسیدگی ریشه‌ها در نتیجه کاهش اکسیژن محیط ریشه از یک طرف و از طرف دیگر کاهش سنتز کربوهیدرات به دلیل زرد و نکروزه شدن برگ‌ها و نتیجتاً انتقال کم مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به ریشه‌ها و گره‌های تثبیت کننده نیتروژن است. این نتایج یافته های کووی و همکاران (۷) و ویزر و و ئو زنک (۲۷) را تأیید می‌نماید. در دوره بازگشت طول ریشه مجدداً در هردو ژنوتیپ افزایش یافت. افزایش طول ریشه در دوره بازگشت، عمدتاً به دلیل رشد ریشه‌های جدیدی است که اغلب در محل طوقه گیاه و در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری سطح خاک مجدداً ظاهر و توسعه یافته‌اند (شکل ۱۱). در هردو ژنوتیپ، تنها بخش بسیار کوچکی از ریشه‌ها در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری و لایه‌های پایین‌تر از ۲۰-۴۰ سانتی‌متری سطح خاک گسترش یافتند (شکل ۳). در این راستا عکس العمل هر دو ژنوتیپ در دوره بازگشت از نظر تغییرات طول ریشه در لایه‌های خاک مشابه بود. آسیب و مرگ بخش عمده‌ای از ریشه‌ها در دوره تنش غرقابی و ذخایر ناکافی مواد فتوسنتزی برای انتقال به ریشه‌ها (۲۰) و همچنین عدم وجود آغازی‌های ریشه سازگار شده به کمبود اکسیژن (۵)، احتمالاً از دلایل اصلی رشد ضعیف ریشه‌ها در دوره

خطی، مثبت و معنی‌داری بین طول ریشه حاصل از اندازه‌گیری‌های غیر مستقیم و وزن خشک ریشه (اندازه‌گیری مستقیم) وجود داشت (شکل ۲)، بنابراین مشابه محاسبه تغییرات لحظه‌ای طول ریشه در پروفیل خاک، تغییرات وزن خشک لحظه‌ای را نیز می‌توان با توجه به تغییرات طول ریشه در پروفیل خاک برآورد و شبیه‌سازی کرد. وارنورد و ویلگن (۲۶) شبیه‌سازی رشد ریشه با زمان را به عنوان یک راه حل مناسب برای مطالعه ریشه در خاک معرفی نمودند. ترنر (۲۴) استفاده از جعبه‌های مطالعه ریشه و شبیه‌سازی شرایط رشد در محیط گلخانه را برای ارزیابی تفاوت‌های ژنوتیپی صفات ریشه پیشنهاد نمود.

الگوهای زمانی طول ریشه در پروفیل خاک

تغییرات طول ریشه در شرایط تنش و بدون تنش غرقابی برای ژنوتیپ‌های Flip 97- 530 و Rupali در لایه‌های مختلف خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. طول ریشه در تیمار تنش غرقابی موقت، پس از رشد خطی اولیه با شروع دوره تنش در هردو ژنوتیپ در لایه‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری سطح خاک کاهش یافت. در این ارتباط توسعه مجدد ریشه‌ها در دوره بازگشت^۱ در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری نسبت به لایه ۰-۲۰ سانتی‌متری سطح خاک محدود تر و آهسته تر بود. در هر دو ژنوتیپ، حداکثر عمق فعالیت ریشه به لایه ۰-۴۰ سانتی‌متری سطح خاک محدود شد. تغییرات طول ریشه در پروفیل خاک (لایه ۰-۱۰۰



شکل ۴: تغییرات زمانی طول ریشه ژنوتیپ‌های نخود در لایه‌های مختلف پروفیل خاک در محیط بدون تنش.

بازگشت می‌باشد. خشک ریشه به اندام هوایی در گیاه نخود کاهش یافت (از ۰/۸۳ در زمان گیاهچه ای تا ۰/۱۳ در مرحله بلوغ). به نظر می‌رسد در مراحل اولیه رشد، اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به سمت ریشه‌ها است و در مراحل بعدی (رشد زایشی) اختصاص بیشتر به سمت اندام‌های هوایی است.

سرعت رشد ریشه‌ها در پروفیل خاک

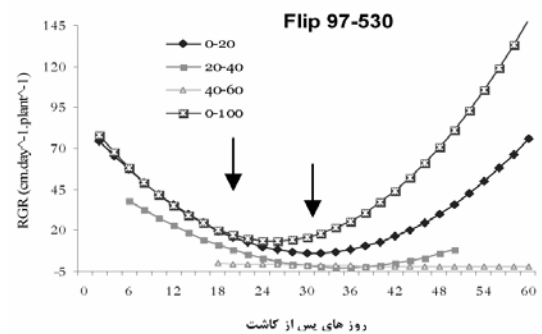
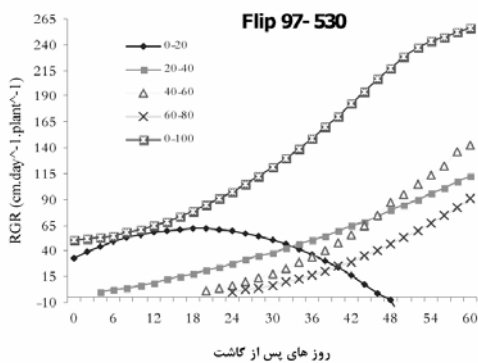
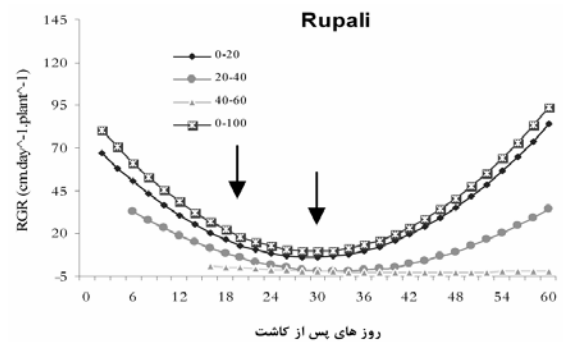
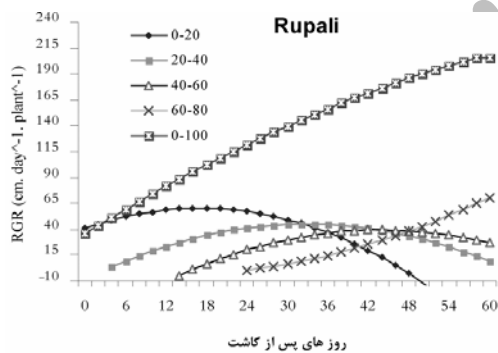
شکل ۵ تغییرات سرعت رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود Flip 97-530 و Rupali را در شرایط تنش غرقابی در پروفیل خاک نشان می‌دهد. سرعت رشد ریشه در هر دو ژنوتیپ در شرایط تنش غرقابی کاهش یافت و در این ارتباط الگوی مکانی تغییرات طول ریشه در پروفیل خاک با تفاوت‌های جزئی مشابه بودند. نظر به اینکه ریشه‌های جدید عمدتاً در اطراف طوقه گیاه ظاهر می‌شوند (لایه ۰-۲۰ سانتی متری)، بنابراین سرعت رشد ریشه در لایه ۰-۴۰ سانتی متری با یک تأخیر و سرعت کمتر نسبت به لایه سطحی افزایش یافت. پوسیدگی و مرگ اکثر ریشه‌ها از جمله ریشه اصلی در دوره تنش غرقابی سبب شد که عمق فعالیت ریشه‌ها تنها به لایه ۰-۴۰ سانتی متر سطح خاک محدود شود. افزایش تنفس بی‌هوازی در شرایط تنش غرقابی (محیط بدون اکسیژن) و مصرف بیشتر کربوهیدرات برای تولید انرژی مورد نیاز برای فعالیت‌های متابولیکی (تولید ۲ مولکول ATP در تنفس بی‌هوازی در مقابل تولید ۳۸ مولکول ATP در تنفس هوازی به ازای سوختن هر مولکول گلوکز) منجر به گرسنگی کربوهیدرات در ریشه و ساقه خواهد شد (۲۷ و ۱) که متعاقب آن کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی به برگ‌ها برای تولید مواد فتوسنتزی خواهد بود و نتیجه بعدی آن کمبود مواد فتوسنتزی برای

شکل (۴) تغییرات زمانی طول ریشه را در لایه‌های مختلف پروفیل خاک در شرایط بدون تنش نشان می‌دهد. همانطور که در شکل پیدا است الگوی تغییرات ریشه در پروفیل خاک در هر دو ژنوتیپ مشابه و تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین آنها قابل مشاهده نیست. طول ریشه در لایه ۰-۲۰ سانتی متری سطح خاک تا حدود ۴۰ روز پس از کاشت به طور خطی افزایش یافت و سپس روند افزایشی آن کاهش و طول ریشه در محدوده ۲۲۰۰ سانتی متر ثابت باقی ماند. رشد ریشه در لایه ۰-۴۰ سانتی متری سطح خاک با یک تأخیر از ۱۲ روز پس از کاشت تا ۵۰ روز پس از آن که تقریباً مصادف با شروع گل دهی گیاه بود، به طور خطی افزایش یافت. افزایش طول ریشه در لایه‌های ۶۰-۸۰ و ۶۰-۸۰ سانتی متری با تأخیرهایی به ترتیب ۲۵ و ۳۵ روزه شروع و تا مرحله گل دهی ادامه یافت. برغم توقف رشد طولی ریشه در لایه ۰-۲۰ سانتی متری پس از ۴۰ روز بعد از کاشت، اما الگوی تغییرات طول ریشه در لایه ۰-۱۰۰ سانتی متری سطح خاک تا مرحله گل دهی روند افزایشی داشت. نتایج حاصله نشان می‌دهند که روند افزایش طول ریشه در خاک تا مرحله گل دهی تداوم داشته و پس از آن به دلیل وجود رقابت برای دریافت مواد فتوسنتزی بین اندام‌های زایشی، سهم ریشه‌ها از مواد فتوسنتزی کاهش یافته و نهایتاً روند افزایشی رشد ریشه‌ها متوقف شده است. گریگوری (۱۰) در بررسی‌های خود روی ریشه دو ژنوتیپ نخود بیان داشت که الگوی رشد ریشه (مجموع طول ریشه‌ها در پروفیل خاک) از نوع سیگموئیدی است و رشد ریشه‌ها تا شروع غلاف دهی تداوم و پس از آن کاهش می‌یابد. در یک آزمایش با افزایش سن گیاه، نسبت وزن

سانتی متری سطح خاک با یک هفته تأخیر آغاز شد و روند افزایشی آن در ژنوتیپ Rupali تا ۳۶ روز پس از کاشت و در ژنوتیپ Flip 97-530 تا شروع گل‌دهی تداوم یافت (شکل ۶). با کاهش RGR در لایه ۰-۲۰ سانتی متری سطح خاک، RGR در لایه های ۶۰-۸۰ و ۴۰-۶۰ سانتی متری سطح خاک افزایش و تا مرحله گل‌دهی این روند ادامه یافت. در ژنوتیپ Flip 97-530، RGR تنها در لایه ۰-۲۰ سانتی متری سطح خاک پس از یک دوره افزایش، روند نزولی پیدا کرد. در سایر لایه‌های خاک (۲۰ الی ۱۰۰ سانتی متری)، روند صعودی RGR تا مرحله غلاف دهی ادامه داشت. اما در ژنوتیپ Rupali، روند افزایشی RGR تنها در لایه ۰-۸۰-۶۰ سانتی متری سطح خاک تا مرحله فوق تداوم داشت. طول بیشتر ریشه‌ها در ژنوتیپ Flip 97-530 نسبت به ژنوتیپ Rupali، احتمالاً به دلیل فعالیت و سرعت بیشتر رشد ریشه‌ها در پروفیل خاک، بویژه در لایه‌های تحتانی تر خاک مربوط باشد. یوسف علی و همکاران (۲۸) تفاوت‌های معنی‌داری را در سیستم ریشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود گزارش کردند. این محققان اختلاف‌های موجود را عمدتاً به قابلیت‌های ژنتیکی آنها مربوط دانستند. با این حال اطلاعات در مورد تغییرات

انتقال به بخش‌های مختلف گیاه و از جمله ریشه است (۱۷ و ۱۲). این تغییرات مرتباً موجب تحلیل بیشتر و بیشتر ریشه‌ها شده و در نهایت مرگ آن‌ها را به دنبال دارد. نکته قابل توجه این است که سرعت رشد ریشه در مراحل انتهایی دوره بازگشت، با شیب نسبتاً تندی افزایش یافت. احتمالاً این موضوع به نقاط رشدی بیشتر ریشه‌ها در دوره بازگشت مربوط می‌شود (۱۷). در دوره بازگشت سرعت رشد ریشه در پروفیل خاک (۱۰۰ - صفر سانتی متری) در ژنوتیپ Flip 97-530 نسبت به ژنوتیپ Rupali با شیب بیشتری افزایش یافت که مؤید قابلیت‌های بالاتر ژنوتیپ Flip 97-530 برای تولید مواد فتوسنتزی و اختصاص آن به ریشه‌ها در دوره بازگشت می‌باشد.

شکل ۶ تغییرات RGR را در پروفیل خاک برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در محیط بدون تنش نشان می‌دهد. در هر دو ژنوتیپ، RGR در لایه ۰-۲۰ سانتی متری سطح خاک تا ۱۵ الی ۲۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار (حدود ۶۰ سانتی متر در روز به ازای هر گیاه) و پس از یک دوره سرعت رشد ثابت، RGR با شیب نسبتاً تندی کاهش یافت. روند افزایشی RGR در لایه ۰-۴۰-۲۰



شکل ۶: سرعت لحظه‌ای رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود در لایه‌های مختلف پروفیل خاک در شرایط تنش غرقابی موقت

شکل ۵: سرعت لحظه‌ای رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود در لایه‌های مختلف پروفیل خاک در شرایط تنش غرقابی موقت (پیکان‌ها ابتدا و انتهای دوره تنش غرقابی را نشان می‌دهند).

است که خود تأثیر ثانویه ناشی از غیرفعال شدن و مرگ ریشه‌ها در شرایط کمبود اکسیژن است (۱۷)، بدیهی است در این شرایط سطح فتوسنتز کننده کاهش و به دنبال آن تخصیص مواد فتوسنتزی برای انتقال به بخش‌های زیرزمینی به شدت کاهش می‌یابد. با گذشت زمان، فعالیت ریشه‌ها برای جذب آب و عناصر غذایی کمتر و تأثیر منفی آن در رشد بخش‌های مختلف گیاه مضاعف و در نهایت مرگ و پوسیدگی ریشه‌ها و به طور کلی ضعف عمومی گیاه را به دنبال دارد (۱۴).

برخی محققان کاهش سریع وزن خشک ریشه را در شرایط تنش غرقابی به دلیل اختصاص مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای از ریشه به اندام‌های هوایی به منظور کاهش نسبت Root/Shoot می‌دانند، محققان، پدیده فوق را یک راهکار فیزیولوژی مؤثر در کاهش حجم بافت‌های تنفس کننده ریشه پیشنهاد می‌نمایند (۱). با این حال این موضوع در مطالعات دیگران تأیید نشده است.

تواکم طول ریشه (RLD)

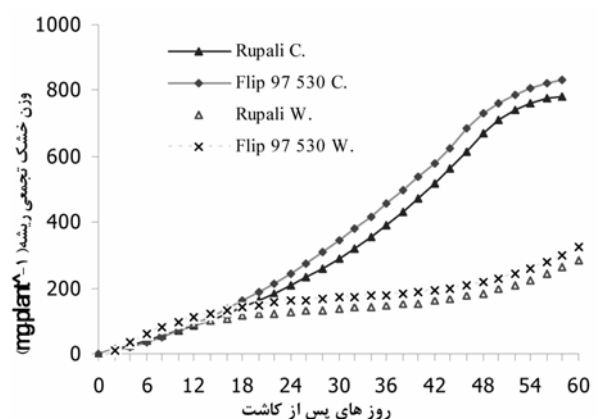
همبستگی‌های خطی مثبت و بسیار معنی‌داری بین RLD حاصل از اندازه‌گیری مستقیم (داخل خاک) و غیر مستقیم (استفاده از فیلم‌های ترانس پرانسی) هم در شرایط تنش غرقابی ($r^2 = 0/13$) و هم در شرایط بدون تنش ($r^2 = 0/17$) مشاهده شد (شکل ۸). نتایج حاصله مجدداً استفاده از دیواره شیشه‌ای جعبه‌های رشد ریشه و فیلم‌های ترانس پرانسی را برای برآورد صفات مربوط به ریشه و مطالعه تغییرات آنها در پروفیل خاک را تأیید می‌نماید. در مطالعات مختلف همبستگی‌های معنی‌داری بین مقادیر برآورد شده صفات مربوط به ریشه (اندازه‌گیری‌های غیر مستقیم با استفاده از دیواره‌های شیشه‌ای جعبه‌های رشد ریشه) و مقادیر واقعی آنها در خاک، گزارش شده است، در بررسی‌های این محققان، تفاوت معنی‌داری بین RLD محاسبه شده با استفاده از دیواره‌های شیشه‌ای و RLD داخل خاک، وجود نداشت (۱۵ و ۲۱).

شکل ۹ تغییرات RLD را در لایه‌های مختلف پروفیل خاک برای ژنوتیپ‌های Rupali و Flip 97-530 در شرایط تنش غرقابی و بدون تنش نشان می‌دهد. تنش غرقابی، RLD را در تمامی لایه‌های خاک کاهش داد. به طور متوسط

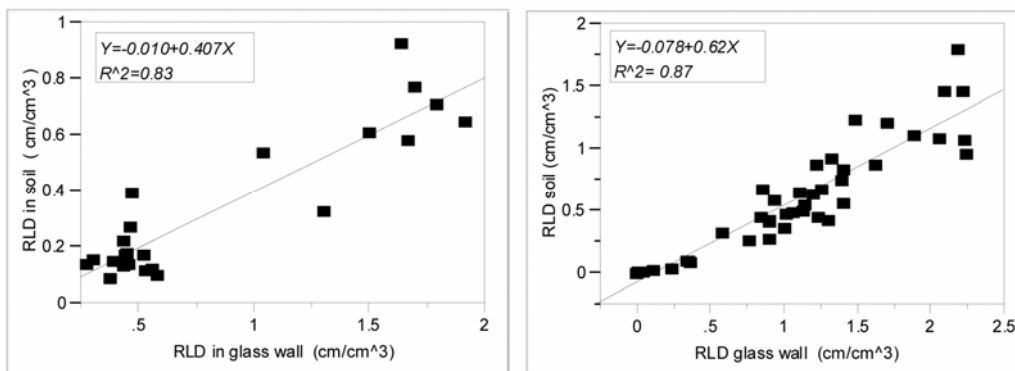
سرعت رشد ریشه نخود در لایه‌های خاک محدود و یا وجود ندارد.

الگوهای زمانی وزن خشک ریشه در پروفیل خاک

شکل ۷ تغییرات زمانی وزن خشک تجمعی ریشه را در پروفیل خاک (لایه ۱۰۰ - صفر سانتی‌متری سطح خاک) برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش غرقابی و بدون تنش نشان می‌دهد. در شرایط بدون تنش وزن خشک تجمعی ریشه از حدود ۱۰ روز پس از کاشت تا مرحله گل‌دهی به صورت نمایی افزایش یافت، در این ارتباط علیرغم تشابه الگوی تغییرات وزن خشک تجمعی ریشه نسبت به زمان در هر دو ژنوتیپ، در طول دوره رشد، وزن خشک ریشه در ژنوتیپ Flip 97-530 نسبت به ژنوتیپ Rupali بیشتر بود. طول بیشتر ریشه‌ها در ژنوتیپ Flip 97-530 در پروفیل خاک، احتمالاً از مهمترین دلایل بالا بودن وزن خشک ریشه در این ژنوتیپ می‌باشد. اولویت انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی در دوره گل‌دهی (۱۰ و ۱۶)، احتمالاً علت اصلی کاهش روند افزایشی وزن خشک تجمعی ریشه است. تنش غرقابی تأثیر معنی‌داری بر الگوی زمانی تغییرات وزن خشک تجمعی ریشه داشت و مقدار آن را در هر دو ژنوتیپ به شدت کاهش داد (شکل ۷). مطالعات نشان داده است که یکی از اولین اختلالاتی که در شرایط تنش غرقابی اتفاق می‌افتد، کلرویس و زردشدن برگ‌ها متعاقب کمبود عناصر غذایی



شکل ۷: تغییرات وزن خشک تجمعی ریشه ژنوتیپ‌های نخود نسبت به زمان در پروفیل خاک (۱۰۰- صفر سانتی‌متری) در محیط تنش غرقابی و بدون تنش.

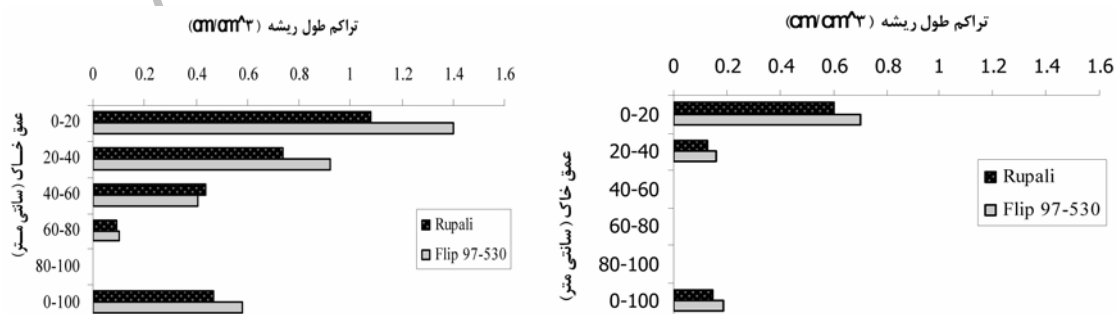


شکل ۸: همبستگی های موجود بین RLD محاسبه شده با استفاده از اطلاعات ثبت شده بر روی دیواره های شیشه ای (فیلم های ترانس پرانسی) با RLD محاسبه شده در خاک برای محیط دارای تنش غرقابی موقت (راست) و محیط بدون تنش (چپ).

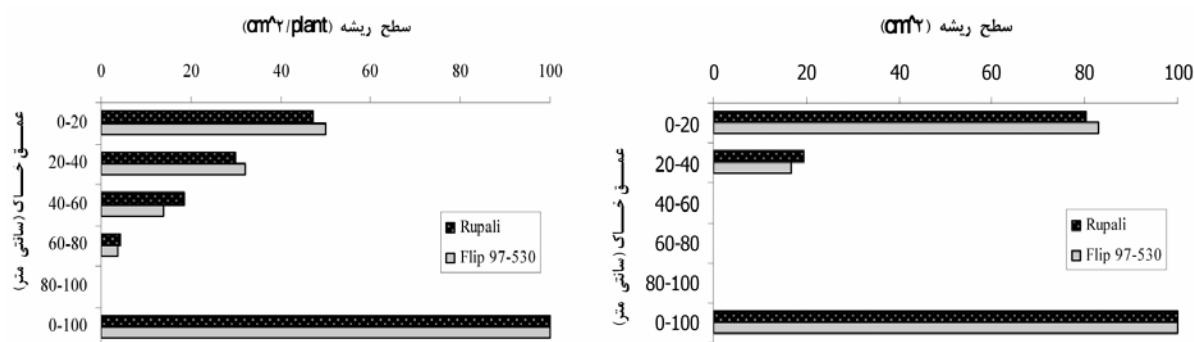
بیان داشت که طول ریشه ها عموماً به صورت لگاریتمی با افزایش عمق خاک کاهش می یابند. در نخود یوسف علی و همکاران (۲۸)، حداکثر RLD و RDW را در لایه های سطحی خاک گزارش کردند. در بررسی های این محققان، صفات فوق با افزایش عمق خاک به طور یکنواخت کاهش یافت. RLD بیشتر در هر لایه خاک از جهت بالاتر بودن سطح فعال ریشه در واحد حجم خاک به منظور جذب بیشتر آب و عناصر غذایی و انتقال آن به اندام های هوایی با اهمیت است. آگاهی از مقادیر RLD در لایه های مختلف پروفیل می تواند در برنامه های مدیریت حاصلخیزی خاک اهمیت قابل توجهی داشته باشد.

ژنوتیپ Flip 97-530 در تمامی لایه های خاک، هم در شرایط تنش و هم بدون تنش از RLD بالاتری نسبت به ژنوتیپ Rupali برخوردار بود و به نظرمی رسد که این ژنوتیپ در شرایط مختلف محیطی از سیستم ریشه ای گسترده تر و احتمالاً از تحمل به تنش غرقابی بالاتری

درصد کاهش RLD نسبت به تیمار شاهد در لایه های ۲۰ - ۰، ۴۰ - ۲۰، ۶۰ - ۴۰، ۸۰ - ۶۰ و پروفیل خاک (۱۰۰ - ۰ سانتی متر) به ترتیب برابر ۴۰، ۸۵، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۶۰ درصد است. مرگ ریشه ها در دوره تنش غرقابی، بنیه و رشد ضعیف آنها بویژه در اوایل دوره بازگشت، علت اصلی کاهش RLD در لایه های مختلف خاک می باشد. در دوره بازگشت، ریشه های جدید عمدتاً در اطراف طوقه گیاه ظاهر و توسعه یافتند که نتیجه آن مقادیر بالاتر RLD در لایه های ۲۰ - ۰ و ۴۰ - ۲۰ سانتی متری سطح خاک می باشد. کووی و همکاران (۶) رشد ضعیف ریشه و اندام هوایی گیاه را در دوره بازگشت به کمبود کربوهیدرات برای رشد مجدد ریشه و اندام هوایی مربوط دانستند. در هر دو محیط دارای تنش و بدون تنش، بیشترین مقدار RLD به لایه ۲۰ - ۰ سانتی متری سطح خاک تعلق داشت و با افزایش عمق خاک، RLD در هر دو ژنوتیپ کاهش یافت. گریگوری (۱۰) در بررسی های خود روی سیستم ریشه بقولات دانه ای



شکل ۹: تغییرات تراکم طول ریشه (RLD) در ژنوتیپ های Rupali و Flip 97-530 در لایه های مختلف پروفیل خاک در محیط تنش (راست) و بدون تنش غرقابی (چپ).



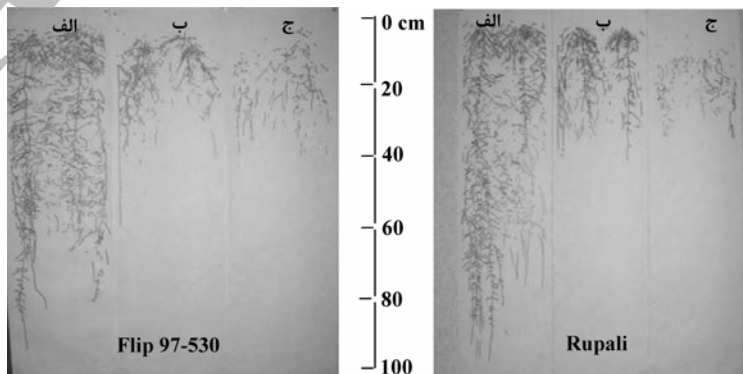
شکل ۱۰: تغییرات سطح ریشه در ژنوتیپ‌های Rupali و Flip 97-530 در لایه‌های مختلف پروفیل خاک در محیط تنش (راست) و بدون تنش غرقابی (چپ).

تأکید می‌کند.

توزیع مکانی ریشه‌ها و رشد ریشه‌های جدید (دوره بازگشت)

شکل ۱۱ توزیع ریشه‌ها را در پروفیل خاک و رشد ریشه‌های جدید را در دوره بازگشت برای ژنوتیپ‌های Rupali و Flip 97-530 در محیط تنش و بدون تنش نشان می‌دهد. تنش غرقابی تأثیر معنی‌داری بر مقدار و الگوی توزیع ریشه‌ها در لایه‌های مختلف پروفیل خاک داشت و مقدار آن را در هر لایه خاک نسبت به شاهد به صورت معنی‌داری کاهش داد ($p \leq 0.01$). بخش عمده‌ای از ریشه‌ها در دوره تنش غرقابی پوسیده و از بین رفتند و ریشه‌های جدید در دوره بازگشت با سرعت کند اولیه در لایه‌های سطحی خاک ۰-۴۰ سانتی متری توزیع شدند (شکل ۵). در این آزمایش برهم‌کنشی بین ژنوتیپ و تنش غرقابی وجود نداشت و واکنش هر دو ژنوتیپ از نظر الگوی توزیع ریشه‌ها در پروفیل خاک مشابه بود.

برخوردار است. وزن خشک ریشه، اندام هوایی و سطح برگ بالاتر ژنوتیپ Flip 97-530 در شرایط تنش غرقابی (داده‌ها نشان داده نشده است) مؤید این موضوع است. شکل ۱۰ سطح ریشه (جذب) در هر لایه خاک را نسبت به کل سطح ریشه در پروفیل خاک، نشان می‌دهد. در شرایط تنش غرقابی حدود ۸۰ درصد سطح جذب به لایه ۰-۲۰ سانتی متری سطح خاک محدود می‌شود و باقیمانده به لایه ۲۰-۴۰ سانتی متری، در این شرایط بهره‌برداری ریشه از بخش محدودی از خاک سبب تخلیه سریع عناصر غذایی در لایه (لایه‌های) موردنظر خواهد شد که شاید بتوان بخشی از رشد کند گیاه به خصوص مراحل اولیه دوره بازگشت را به این موضوع نسبت داد. در شرایط بدون تنش، سطح ریشه نیز مشابه تغییرات RLD در پروفیل خاک، با افزایش عمق خاک کاهش یافت. در هر دو ژنوتیپ، بیش از ۸۰ درصد سطح جذب به لایه ۰-۴۰ سانتی متری سطح خاک تعلق داشت که مجدداً اهمیت مدیریت خاک را در لایه فوق



شکل ۱۱: الگوی رشد ریشه ژنوتیپ‌های نخود در شرایط بدون تنش (الف)، تنش غرقابی (ب) و رشد ریشه‌های جدید در دوره بازگشت (ج).

نتیجه گیری

تنش به ترتیب بیش از ۱۰۰ و ۸۰ درصد ریشه‌ها در لایه ۴۰-۰ سانتی متری سطح خاک توسعه یافتند که نتیجه آن کاهش RLD با افزایش عمق خاک است. نتایج فوق مؤید این است که احتمالاً استراتژی اول ریشه‌ها، توسعه در لایه‌های سطحی خاک و سپس با توجه به نیاز و ضرورت، گسترش در لایه‌های پایین تر خاک می باشد. شاید کمبود عناصر غذایی با توجه به بهره برداری گسترده ریشه از لایه‌های سطحی خاک، علت گسترش ریشه‌ها در لایه‌های تحتانی تر خاک باشد. علیرغم الگوی مشابه تغییرات صفات ریشه در هردو ژنوتیپ، ژنوتیپ 97-530 Flip هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش از قابلیت‌های بالاتری نسبت به ژنوتیپ Rupali برخوردار بود. بنابراین استفاده از این ژنوتیپ در مناطق دارای تنش احتمالاً امیدبخش تر خواهد بود.

قدردانی

هزینه‌های این آزمایش از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه وسترن استرالیا (UWA) تامین شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می شود. از سرکار خانم کریستینی لودویک که از کمک‌های ایشان در اجرای این آزمایش بهره مند بودیم سپاسگزاری می شود.

همبستگی‌های خطی، مثبت و بسیار معنی داری بین صفات مربوط به ریشه در اندازه‌گیری‌های مستقیم (داخل خاک) و غیر مستقیم (فیلم‌های ترانس پرانسی) وجود داشت ($P \leq 0/01$). پوسیدگی و مرگ بخش عمده‌ای از ریشه‌ها در اثر کاهش سنتز مواد فتوسنتزی و گرسنگی کربوهیدرات در ریشه ناشی از تنفس بی هوازی، سبب شد که طول ریشه در دوره تنش غرقابی به شدت کاهش یابد. ذخایر ناکافی مواد فتوسنتزی و وجود آغازی‌های سازگار نشده به کمبود اکسیژن، احتمالاً از دلایل اصلی رشد ضعیف ریشه‌ها در دوره بازگشت می باشد.

فعالیت ریشه‌ها در شرایط تنش غرقابی به لایه ۴۰-۰ سانتی متری سطح خاک محدود شد در حالیکه در شرایط بدون تنش، ریشه‌ها عموماً تا عمق ۱۰۰ سانتی متری سطح خاک گسترش یافتند. الگوهای زمانی و مکانی متفاوتی از نظر رشد ریشه در ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشاهده شد. در هردو ژنوتیپ سرعت رشد ریشه در لایه ۲۰-۰ سانتی متری سطح خاک بلافاصله پس از کاشت افزایش و پس از ۳ الی ۴ هفته به حداکثر مقدار و سپس بتدریج شروع به کاهش کرد. سرعت رشد ریشه در لایه‌های تحتانی تر خاک با تأخیر و مقادیر متفاوت افزایش یافت. در شرایط تنش و بدون

منابع

- ۱- کافی، م. و م. مهدوی دامغانی. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- گنجعلی، ع. م. کافی، ع. باقری و ف. شهریاری. ۱۳۸۳. بررسی روابط آلومتریکی صفات ریشه و اندام هوایی در گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.). مجله علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۱۸ شماره ۱.
- 3 - Belford, R.K., R.Q. Cannell, R.J. Thomson and C.W. Dennis. 1980. Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). J. Sci. Food Agric., 31: 857-869.
- 4 - Belford, R.K., M. Dracup, D. Tennant. 1992. Limitations to growth and yield of cereal and lupin crops on duplex soils. Aust. J. Exp. Agric., 32: 929 - 945.
- 5 - Cannell, R.Q., M.B., Jackson. 1981. Alleviating aeration stresses. PP. 141 - 192, In: G.F. Arkin and H.M. Taylor (Eds.), Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress. American Society of Agricultural Engineers.
- 6 - Cowie, A.L., R.S. Jessop and D.A. Maclcod. 1996a. Effects of waterlogging on chickpeas I. Influence of timing of water logging. Plant and Soil, 183 : 97-103.
- 7 - Cowie, A.L., R.S. Jessop and D.A. Maclcod. 1996b. Effects of waterlogging on chickpeas. II. Possible causes of increased sensitivity to water logging at flowering. Plant and Soil, 183: 105-115.
- 8 - Davies, C.L., D.W. Turner and M. Dracup. 2000. Yellow lupin (*Lupinus luteus*) tolerates waterlogging better than narrow - leaved lupin (*L. angustifolius*). I. Shoot and root growth in a controlled environment. Aust. J. Agric. Res., 55: 701 - 709.
- 9 - Drew, M.C. 1983. Plant injury and adaptation to oxygen deficiency in the root environment: a review. Plant and Soil., 75: 179 - 199.
- 10 - Gregory, P.J. 1988. Root growth of chickpea, faba bean, lentil and pea and effects of water and salt stresses. PP. 857-867. In : R.J. Summer field (Ed.), World Crops: Cool Season Food Legumes. Kluwer Academic Publishers.

- 11 - Gupta, V.S. 1998. Production and Improvement of Crops for Dry land .Oxford and IBH Publishing . CO. PVT. LTD.
- 12 - Gupta. U.S. 1997. Crop Improvement: Vol II. Stress Tolerance. Oxford and IBH Publishing CO. PVT. LTD.
- 13 - Huang, B., J.W. Johnson, S. Nesmith and D. C. Bridges. 1994a. Root and Shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aeration. Crop Sci., 34: 1538 – 44.
- 14 - Huang, B., J.W. Johnson, S. Nesmith and D. C. Bridges. 1994b. Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotypes to water logging and nutrient supply. J. Exp. Botony, 45:193 – 202.
- 15 - Hoogenboon, G., M. G. Huck and C. M. Peterson. 1987. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. Agron. J., 79: 609 - 614.
- 16 - Krishnamurthy, L., J. Kashiwagi and H. D. Upadhyaya. 2003. Genetic diversity of drought avoidance root traits in the mini - core germplasm collection of chickpea. International Chickpea and Pigeonpea Newsletters, 10: 21 - 24.
- 17 - Malik, A., T.D. Colmer, H. Lambers and M. Schortemyer. 2001. Changes in physiological and morphological traits of roots and shoots of wheat in response to different depths of waterlogging. Aust. J. Plant physiol., 28 : 1121-1131.
- 18 - Monschadi, A. M., J. Sauerborn, H. Stutzol, W. Gobel and M. C. Saxena. 1998. Simulation of faba bean (*Vicia faba L.*) root system development under Medeterranean conditions. Euro. J. Agron., 9: 259 –272.
- 19 - Pardo, A., M. Amato and F.Q. Chiaranda. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum L.*). Plant growth and water distribution. Euro. J. Agron., 13:39-45.
- 20 - Pezeshki S.R. 1994. Plant response to flooding. PP. 289-321. In: (RE Wilkinson Ed.). Plant -Environment Interactions. Marcel Dekker. Inc: New York
- 21 - Tardieu, F. 1988. Analysis of the spatial variability of maize root density. 2. Distances between roots . Plant and Soil., 107 : 267 – 272.
- 22 - Taylor, H. M. and B. Klepper. 1971. Water uptake by cotton roots during an irrigation cycle. Aust. J. Biol. Sci., 24: 853 – 859.
- 23 - Tennant, D., G. Scholz, J. Dixon, B. Purdie. 1992. Physical and chemical characteristics of duplex soils and their distribution in the south west of Western Australia, Aust. J. Exp. Agri., 32: 827 – 843.
- 24 - Turner, N.C. 1996. Further progress in crop water relations. Adv. Agron., 58: 293-333.
- 25 - Turner, N.C., G.C. Wright and K.H.M. Siddique. 2003. Adaptation of grain legumes to water-limited environment: Selection for physiological, biochemical and yield component characteristics for improved drought resistance. PP. 43-80. In: N.P. Saxena (Ed.). Management of Agriculture Drought “Agronomic and Genetic Options”. Science Publishers Inc, NH, USA.
- 26 - Varnord wijk, M. and P.Willigen. 1987. Agricultural concepts of roots: From morphogenetic to functional equilibrium between root and shoot growth. Neth. J. Agric. Sci. 35:487-496.
- 27 - Visser, E. J.W. and L.A.C.J. Voesenek. 2004. Acclimation to soil flooding - sensing and signal-transduction. Plant and Soil. 244: 197 - 214.
- 28 - Yousuf-Ali, M., C. Jahnsen, L. Krishnamurthy and A. Hamid. 2005. Genotypic variation in root system of chickpea (*Cicer arietinum L.*) across environment. J. Agron. Crop Sci., 191: 464 - 472.

Spatial and temporal patterns of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) root growth under waterlogging stress

A. Ganjeali, J. Palta and N.C. Turner¹

Abstract

The dynamic of root growth of chickpea genotypes; including Rupali (Desi) and Flip 97-530 (Kabuli) were evaluated under waterlogging stress in a Glasshouse experiment at CSIRO, Perth, WA. during 2005. Root growth boxes (0.1×0.24×1.0 m) with one wall of glass were used as experimental units. Data were analyzed based on Randomized Complete Block Design with three replications. Waterlogging was induced when the first root reached 50cm. The water level was maintained on the soil surface for 12 days. After that, waterlogging was finished by draining the root growth boxes. In soil profile, root growth rate were calculated based on recorded information on transparent films during growing season. There was positive and strong linear correlation between the root traits that were measured in soil (direct measurement) and transparent films (indirect measurement). Decay and death of roots caused a severe decrease on root growth rate during waterlogging, but root growth rate was sharply increased at the end of recovery period on 0-40 cm layer of soil surface. In both genotypes, spatial and temporal patterns of the root growth were different. Root growth rate was highest on distinct time for each layer of soil profile. In both genotypes, RLD decreased with increasing soil depth. Results showed that more distribution of root system on upper soil layers (0-40 cm) is a strategy for chickpea plants, and so, soil management is very important on this layer. In stress and non stress environments, Flip 97-530 showed better root characteristics than the Rupali during growing season, so this genotype is probably more tolerate to water logging stress.

Keywords: Chickpea (*Cicer arietinum* L.), root, waterlogging stress.

1- Full Prof. of Crop physiology, CSIRO Plant Industry, Western Australia and Center for Legume in Mediterranean of Agriculture (CLIMA), Faculty of Agriculture, University of Western Australia (UWA)