

## تغییرات میزان پرولین، روابط آبی و سازگاری مورفولوژیکی دو واریته سویا (پرشینگ و DPX) تحت تنش آبی

\*حسن مدرس زاده<sup>۱</sup>، محمدعلی رضایی<sup>۲</sup>، مه لقا قربانلی<sup>۲</sup>

۱. باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

۲. گروه زیست‌شناسی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

### چکیده

تنش آبی محدودیت اصلی در تولید بسیاری از محصولات زراعی بوده و باعث ایجاد بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در گیاهان می‌شود. این مسأله در مورد رقم‌های مختلف از یک گونه از جمله سویا نیز مشاهده شده است. هدف از این پژوهش، مطالعه اثر تنش آبی بر روی روابط آبی، مقدار پرولین و ویژگی‌های مورفولوژیکی دو رقم سویا شامل پرشینگ و DPX بود. بدین منظور آزمایشی در شرایط گلدانی انجام گرفت و تیمارهای آبی ۸۰ (غرقابی)، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد (خشکی) ظرفیت اشباع آب خاک بر روی آنها اعمال گردید. نتایج مطالعات اختلاف معنی‌داری را در سنجش‌های مورد بررسی در دو رقم سویا نشان داد. در هر دو رقم کاهش میزان آبیاری موجب کاهش ارتفاع گیاه و طول ریشه گردید و در تیمار غرقابی نیز با افزایش چشمگیر ریشه‌های نابجا همراه بوده است. در رقم پرشینگ کاهش میزان آبیاری منجر به کاهش در میزان نسبی آب (RWC) گردید، اما در رقم DPX پائین‌ترین میزان RWC در تیمار ۴۰ درصد مشاهده گردید. از دست دادن آب برگ (LWL) در همه تیمارها در رقم پرشینگ بالاتر از تیمارهای مشابه در رقم DPX بود. بیشترین میزان پرولین برگ و ریشه مربوط به تیمارهایی بود که دارای RWC پائینتری بوده که این میزان در دو رقم پرشینگ و DPX به ترتیب در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ درصد مشاهده گردید. در هر دو رقم، میزان اسید آمینه پرولین در برگ‌ها بیشتر از ریشه مشاهده گردید. نتایج مشخص نمود که در هر دو رقم، برگ بیشتر از ریشه تحت تأثیر استرس آبی قرار گرفته و رقم پرشینگ حساسیت بیشتری را در مقادیر پائین ترآبی از خود نشان داد.

واژگان کلیدی: تنش آبی، RWC، LWL، پرولین، سازگاری مورفولوژیکی و سویا

## مقدمه

گیاهان تیره بقولات ارزش اقتصادی زیادی دارند از جمله سویا که در رژیم غذایی اکثر مردم وجود دارد (مظفریان، ۱۳۸۳). این گیاه دارای نام‌های مختلفی از قبیل سوژا، لوبیا روغنی، لوبیا منجوری، نخودفرنگی چینی و لوبیا چینی بوده و در زبان انگلیسی به سوی بین (Soybean) مشهور است. زراعت سویا در اغلب کشورهای دنیا به منظور تولید روغن، پروتئین‌های گیاهی و علوفه صورت می‌گیرد و اهمیت جهانی سویا به دلیل درصد بالای پروتئین آن است (آلیاری و همکاران، ۱۳۷۹).

تنش غرقابی به عنوان پوششی از آب بر روی بخشی از زمین زراعی تعریف می‌شود که در اثر آبیاری بیش از اندازه یا بارش فراوان باران ایجاد می‌شود. غرقابی باعث جایگزینی هوای درون خاک توسط آب شده و دسترسی ریشه گیاه را به اکسیژن متوقف می‌سازد. گیاه سویا همانند گندم و کتان به تنش غرقابی حساس بوده و صدمات شدیدی را در زمان تنش غرقابی متحمل می‌شود (Geigenberger, 2003). پاسخ سریع گیاهان به تنش غرقابی بسته شدن روزنه و کاهش جریان آب از ریشه به اندام هوایی است چنین مساله‌ای در سویا، برنج، ذرت و تنباکو مشاهده شده. همچنین جذب پتاسیم را کاهش داده و روزنه بسته می‌شود (Eric and Laurentius, 2004).

مطالعات Boru و همکاران (۲۰۰۳) روی گیاه سویا در شرایط هیدروپونیک نشان داد تیمارهایی که شامل ۲ هفته بدون اکسیژن (۱۰۰ درصد گاز  $N_2$ ) یا ۸۰ درصد کاهش اکسیژن بودند تأثیری روی رشد و بقای سویا نداشتند. چنین نتایج مشابهی در گیاهان غرقاب شده سویا بمدت ۲۱ گزارش شده است (Bacanamwo and Purcell, 1999). گیاهان در شرایط کمبود یا فقدان اکسیژن با تولید ریشه‌های نابجا، رشد ناهنجار ساقه و آثرانسیم توسعه یافته به منظور انتقال اکسیژن به ریشه‌ها سازگاری حاصل می‌کنند (Boru et al. 2003).

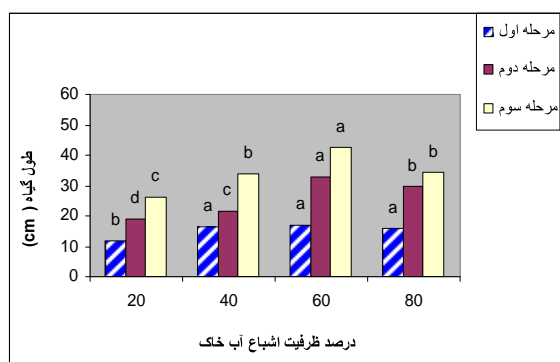
در گیاه سویا، ریشه‌های نابجا و آثرانسیم ظرف چند روز بعد از غرقاب شدن ظاهر می‌شوند (Bacanamwo and Purcell, 1999). تنش غرقابی روی رشد و بقای گیاهان اثرات زیادی داشته و منجر به کاهش چشمگیر تبادلات اکسیژن و سرعت انتشار گاز می‌شود. در چنین شرایطی سیگنال‌های دریافت کننده تنش منجر به تنظیم روبه پائین مسیرهای متابولیکی شده تا مصرف اکسیژن کاهش یابد و در بلند مدت نیز منجر به تنظیمات مورفولوژیکی نظیر توسعه بافت آثرانسیم و طویل شدن سریع اندام هوایی شده تا ورود اکسیژن را افزایش دهد (Eric and Laurentius, 2004; Geigenberger, 2003). کمبود آب یکی از فاکتورهای محدودکننده اصلی تولید محصول در سرتاسر جهان بوده (Mohd et al. 2004; Quan et al. 2004) و بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه تحت تنش خشکی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Quan et al. 2004). در شرایط کمبود آب، فشار تورگر کاهش یافته و باعث کاهش سرعت رشد و توسعه سلول و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Pattanagul and Madore, 1999). تحت شرایط استرس، گونه‌های فعال اکسیژن نظیر رادیکال‌های سوپر اکسید، اکسیژن منفرد، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل در غلظت‌های زیاد تولید شده و می‌توانند به پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA آسیب برسانند (Valentovic et al. 2006). در پاسخ به کاهش آب، گیاهان تنوعی از ترکیبات را تحت عنوان محلول‌های اسمزی انباشته می‌کنند (Hokstra et al. 2001; Bohnert, 2002). این ترکیبات از پروتئین‌ها و غشاهای در برابر اثرات دنا تورا سیون استرس‌ها محافظت می‌کنند و نقش مهمی در حفظ فشار تورگر و جذب آب در شرایط استرس دارند (Rontein et al. 2002). در واکنش به تنش خشکی ترکیبات اسمزی مختلفی از قبیل پروتئین‌ها، پرولین، قندها (Chaves et al. 2003) و گلایسین بتائین (Gao et al. 2002) انباشته می‌شوند. تنظیم اسمزی بخشی از مکانیسم‌های اجتناب از خشکی است (Mundree et al. 2002). در زمان کاهش آب سلول، حجم سلولی کاهش یافته و فرصت

ظهور دانه رست‌ها و برگ‌های اولیه تک برگچه‌ای در روز هشتم بعد از کشت به فواصل ۵ روز در میان انجام شد و تا مرحله پر شدن دانه ادامه یافت. سنجش‌های مربوط به پرولین و روابط آبی گیاه در روز پانزدهم بعد از کشت انجام گردید. برای بررسی وضعیت آبی گیاه، میزان نسبی آب (RWC) (Sairam and Srivastava, 2002) و میزان ازدست دادن آب برگ (LWL) (Xing et al. 2004) اندازه‌گیری گردید. میزان پرولین نیز با استفاده از روش (Bates et al. 1973) اندازه‌گیری گردید

محاسبات آماری نمونه‌ها بصورت فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی و با ۴ تکرار صورت گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن و رسم نمودارها به ترتیب با استفاده از نرم‌افزار Excel و word انجام شدند.

### بحث و نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نشان داد که طول گیاه تحت تاثیر تنش آبی قرار گرفته به نحوی که در رقم پرشینگ، ارتفاع گیاه در تیمار غرقابی (۸۰٪) و خشکی (۲۰٪) کاهش یافته و شدت این کاهش در تیمار ۲۰ درصد بیشتر بوده است، اما در رقم DPX کمترین میزان رشد مربوط به تیمار ۲۰ درصد بوده است. در هر دو رقم نیز مطلوب‌ترین رشد مربوط به تیمار ۶۰ درصد بوده است. شکل ۱ و ۲ تغییرات طول گیاه دو رقم سویا - پرشینگ و DPX - را در طی سه مرحله از رشد نشان می‌دهد (سه مرحله عبارتند از: روز ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بعد از کشت).



شکل ۱: میانگین ارتفاع گیاه در رقم DPX

برهم‌کنش‌های مولکولی زیاد می‌شود و خطر دناتوراسیون پروتئین‌ها و الحاق غشاها را افزایش می‌دهد اما طیف وسیعی از محلول‌های سازشی از این کار ممانعت به عمل می‌آورند (Yordanov et al. 2003). پرولین دارای نقش‌های متفاوتی نظیر پایداری پروتئین‌ها، غشاها و ساختارهای درون سلولی بوده و بعنوان سرکوبگر گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Kishor et al. 2005).

Ford (۱۹۸۴) غلظت تعدادی از مواد محلول را در گیاهان تیره بقولات تحت تنش خشکی بررسی نمود و عنوان کرد که در برگ‌های گیاه سویا تحت استرس خشکی غلظت پرولین ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از شاهد بوده است.

شناخت و درک جنبه‌های مختلف واکنش‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی رقم‌های مختلف از یک گونه در برابر تنش‌های محیطی نظیر خشکی از کارهای مهم و اساسی بوده و انتخاب رقمی که بتواند سازگاری بیشتری را در شرایط خشکی از خود نشان داده و از بازدهی بیشتری برخوردار باشد همواره مورد توجه بوده است لذا تحقیقی به منظور بررسی فاکتورهای نامبرده در دو رقم سویا صورت پذیرفت.

### مواد و روش‌ها

بذرهای دو رقم سویا شامل پرشینگ و DPX از ایستگاه تحقیقات کشاورزی استان گلستان تهیه و سپس بذور هر یک از رقم‌ها به تعداد ۱۰ عدد بطور جداگانه در داخل ۴۸ گلدان به ابعاد ۲۴×۲۴×۲۴ کشت داده شدند. خاک درون آن بر اساس آزمایش تجزیه خاک دارای بافت silt-clay و pH حدود ۷/۹ بود. بعد از مشخص کردن ظرفیت اشباع آب خاک، تیمارهای ۸۰ درصد (غرقابی)، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد (خشکی) ظرفیت اشباع در نظر گرفته شد و برای هر یک از تیمارها در هر رقم تعداد ۱۲ گلدان انتخاب گردید سپس گلدان‌ها در محیط آزاد و مناسب (شرایط تابستانه با میانگین دمای ۳۱ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد) قرار گرفتند. آبیاری نمونه‌ها بر اساس تیمارهای مذکور بعد از

شکل ۳ و ۴ تغییرات طول ریشه را در طی ۳ مرحله نشان می‌دهد. مشخص گردید در رقم DPX از آهنگ رشد بهتری برخوردار بوده و طول ریشه در مقایسه با رقم پرشینگ کمتر تحت تاثیر تنش آبی (غرقابی و خشکی) قرار گرفته است.

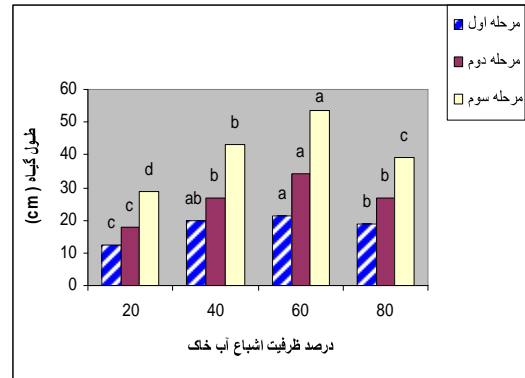


شکل ۵: تشکیل ریشه‌های نابجا در تیمار غرقابی

همچنین در هر دو رقم کاهشی در میزان رشد ریشه در تیمار غرقابی (۸۰ درصد) در مرحله سوم نسبت به مرحله دوم مشاهده گردید که این مساله به دلیل وجود شرایط غیرهوازی بوده که باعث از بین رفتن و سوختگی بافت در قسمت انتهایی ریشه شده و افزایش چشمگیری در میزان تولید ریشه‌های نابجا در تیمار غرقابی مشاهده گردید (شکل ۵).

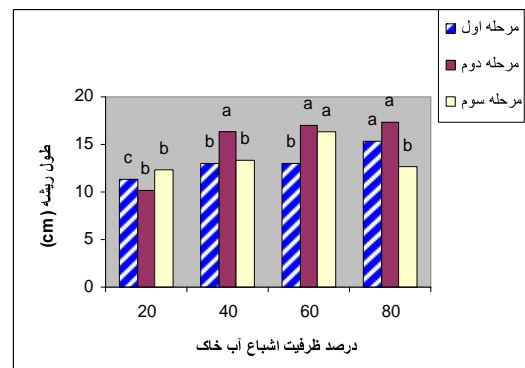
در شرایط غرقابی رشد ریشه اصلی و ریشه‌های جانبی آن توسط استرس غرقابی سرکوب شده و تشکیل ریشه‌های نابجا گسترش می‌یابد در نتیجه گیاه سویا تشکیل سیستم ریشه کم عمق را داده و ریشه‌های نابجا منجر به بازگشت سریع فعالیت ریشه بعد از غرقابی می‌شود (Scott et al. 1989).

مطالعات Niki و Gladish (۲۰۰۱) بر روی سیستم ریشه سویا رقم *cv. Enrei* در فاصله ۵ روز بعد از کشت نشان داد که طولی شدن راس ریشه اصلی در تیمار دو روزه غرقابی مهار شده و منجر به کم عمقی سیستم ریشه سویا شده است و نشان دادند که ریشه‌های نابجا نقش مهمی در مقاومت به غرقابی در گیاه سویا بازی می‌کنند در پژوهش حاضر نیز مشاهده گردید که در تیمار غرقابی با افزایش چشمگیر

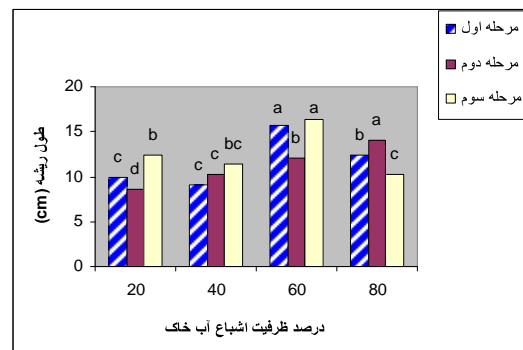


شکل ۲: میانگین ارتفاع گیاه در رقم پرشینگ

بررسی‌ها نشان داد که اولاً رقم DPX از شدت کاهش رشد کمتری در مقایسه با پرشینگ برخوردار بوده و دوماً هر دو رقم حساسیت بیشتری را در برابر تیمار خشکی (۲۰ درصد) در مقایسه با تیمار غرقابی (۸۰ درصد) نشان دادند. Boyer و Meyer (۱۹۸۱) و Huang و Jiang (۲۰۰۲) گزارش کردند که کاهش آب منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود.

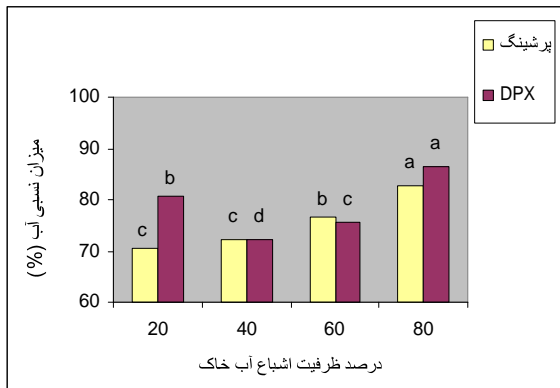


شکل ۳: تغییرات طول ریشه در رقم DPX در طی سه مرحله از رشد



شکل ۴: تغییرات طول ریشه در رقم پرشینگ در طی سه مرحله از رشد

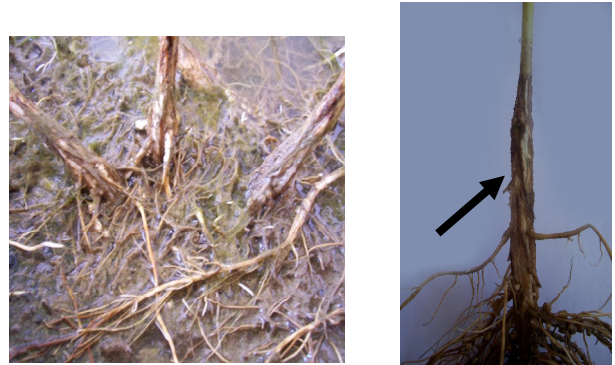
(Niadu et al. 2006) و پنبه (Pennyapacker et al. 1990) مشاهده شده است.



شکل ۷: تغییرات میزان نسبی آب (RWC) در دو رقم پرشینگ و DPX در نکته قابل توجه آن است در رقم DPX مقدار RWC در تیمار ۲۰ درصد افزایش یافته است. به نظر می‌رسد علت این امر، به دلیل استفاده از مکانیسم‌های تولید محلول‌های سازشی نظیر پرولین، قندهای محلول، گلیسین بتائین و .... بوده است که منجر به کاهش پتانسیل آبی سلول شده و یک شیب پتانسیل آبی را به منظور حرکت آب به درون گیاه ایجاد نموده و نشان دهنده پاسخ سریع رقم DPX به تنش خشکی است. Unyayar و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که تنش غرقابی تغییری در میزان RWC در گیاه آفتابگردان ایجاد نکرد. همچنین نتایج مطالعات بر روی *Cowpea* نشان داد که تحت تنش غرقابی، میزان نسبی آب گیاهان غرقاب شده همانند سطح شاهد بوده است (Onwungbuta-Enyi, 2004). که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر در شرایط غرقابی در تضاد است، زیرا بالاترین میزان RWC در تیمار غرقابی (۸۰درصد) مشاهده گردید.

مطالعه بر روی دو رقم مقاوم و حساس به تنش خشکی گیاه گندم نشان داد که کاهش میزان RWC در وارته مقاوم کمتر بوده است (Sairam and Srivastava, 2002) که با یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد، به نحوی که رقم DPX در تیمار ۲۰ درصد (تنش خشکی) از RWC

ریشه‌های نابجا همراه بوده که عمدتاً در قسمت پایه ساقه ظاهر شده و باعث ایجاد سازگاری گیاه در شرایط غرقابی شده است، زیرا دسترسی ریشه را به اکسیژن افزایش داده است و باعث ایجاد مقاومت در برابر غرقابی می‌شود. گیاهان به کمبود اکسیژن (شرایط غرقابی) و یا عدم اکسیژن با تولید ریشه‌های نابجا و رشد غیرعادی ساقه و گسترش بافت آثرانسیم پاسخ می‌دهند (Boru et al. 2003).



شکل ۶: ساقه ضخیم شده در قسمت بالای سطح خاک (سمت راست) و ریشه‌های نابجا (سمت چپ)

نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط غرقابی (۸۰درصد) تولید ریشه‌های نابجا افزایش یافته و ساقه در قسمت بالای سطح ضخیم شده و رشد غیرعادی یافته است (شکل ۶).

شکل ۷ تغییرات میزان نسبی آب (RWC) را در دو رقم سویا در تیمارهای مختلف آبی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در رقم پرشینگ با کاهش میزان آبیاری مقدار RWC کاهش یافته، اما در رقم DPX بر خلاف رقم پرشینگ مقدار RWC در تیمار ۲۰ درصد افزایش چشمگیری را نشان داد. در هر دو رقم بالاترین مقدار RWC مربوط به تیمار ۸۰ درصد (غرقابی) بوده است.

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که اولین نشانه کمبود آب در بافت‌های گیاهی، کاهش میزان نسبی آب (RWC) است و این مساله در بسیاری از گونه‌های گیاهی نظیر آفتابگردان (Unyayar et al. 2004)، گندم (Prado et al. 2002)، یونجه

گونه‌های حساس به خشکی در مقایسه با گونه‌های مقاوم به خشکی بیشتر است (Yordanov et al. 2003).

به نظر می‌رسد بالا بودن میزان LWL در رقم پرشینگ در مقایسه با رقم DPX در تیمار ۲۰ درصد به دلیل بالا بودن پراکسیداسیون غشایی ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن باشد که منجر به کاهش سیالیت غشاء سلول شده، در نتیجه توانایی غشاء سلول به منظور کنترل جابجایی یونی به درون و خارج سلول کاهش یافته است.

نتایج مطالعات Valentovic و همکاران (۲۰۰۶) بر روی دو رقم ذرت - حساس به خشکی (Ankora) و مقاوم به خشکی (Nova) نشان داد که میزان LWL در رقم حساس به خشکی در مقایسه با رقم مقاوم بالاتر بوده است و اظهار داشتند که گیاهان Nova قدرت نگهداری آب برگ‌های بالاتری را هم در شرایط کنترل و هم تنش خشکی نشان دادند که با نتایج حاصل از پژوهش مطابقت دارد.

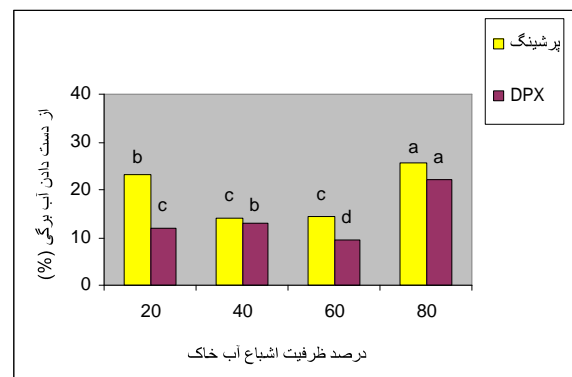
شکل ۹ و ۱۰ تغییرات میزان پرولین را در تیمارهای مختلف در دو رقم سویا نشان می‌دهد. نتایج پژوهش مشخص کرد که در هر دو رقم بالاترین میزان پرولین در برگ و ریشه مربوط به تیمارهایی بوده است که از RWC پایین تری برخوردار بوده که این مقدار در دو رقم DPX و پرشینگ به ترتیب در تیمارهای ۴۰ و ۲۰ درصد مشاهده گردید. در هر دو رقم نیز برگ‌ها بیشتر از ریشه تحت تأثیر استرس آبی قرار گرفته و رقم پرشینگ حساسیت بیشتری را در مقادیر پایین تر آبی از خود نشان داد.

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که کاهش RWC منجر به انباشته شدن متابولیت‌هایی نظیر پرولین شده و غلظت آن در RWC پایین، چندین برابر افزایش می‌یابد (Lawlor, 2002). نتیجه مطالعات در دو گونه گندم و نخود نشان داد که با اعمال تنش خشکی میزان RWC کاهش یافته و میزان پرولین افزایش یافت (Alexieva et al. 2001).

بالاتری برخوردار بوده است که نشان دهنده مقاوم‌تر بودن رقم مذکور در مقایسه با پرشینگ است، زیرا از قدرت حفظ آب بالاتری برخوردار است.

شکل ۸ تغییرات میزان کاهش آب برگ (LWL) را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش مشخص نمود که میزان LWL در رقم پرشینگ در همه تیمارها بیشتر از تیمارهای مشابه در رقم DPX بوده است به نحوی که در تیمار ۲۰ درصد میزان آن تقریباً ۲ برابر شده است. در هر دو رقم نیز تیمار غرقابی بالاترین میزان LWL را به خود اختصاص داده است.

با بررسی نتایج حاصل از میزان LWL مشخص گردید که بین دو رقم تفاوت معنی‌داری در حفظ آب برگ وجود دارد و رقم DPX در همه تیمارها بویژه در تیمار ۲۰ درصد که تنش خشکی است از LWL کمتری برخوردار بوده و نشان دهنده آن است که رقم DPX قدرت حفظ برگ‌های بالاتری را در تمامی تیمارها داشته است.



شکل ۸: تغییرات میزان کاهش آب برگ (LWL) در ارقام پرشینگ و DPX

بیان شده است تحت تنش‌های محیطی نظیر خشکی، میزان نفوذپذیری غشاء افزایش یافته و سیالیت غشاء کاهش می‌یابد (Blokhin, 2003). پراکسیداسیون بالای لیپید در گیاهان تحت تنش خشکی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Fu and Huang, 2001).

کمبود شدید آب باعث اختلال در ارتباط بین پروتئین‌ها و لیپیدهای غشایی شده و تحریک فعالیت‌های لیپولیتیک در

به عنوان یک محافظت کننده اسمزی در مقابله با تنش استفاده کرده و در تیمار ۲۰ درصد که پرولین کمتری تولید کرده، اما تنش شدیدتری است به احتمال زیاد از مکانیسم‌های دفاعی دیگری نظیر قندها استفاده کرده است. در مطالعه انجام شده بر روی دو ژنوتیپ آفتابگردان مشاهده گردید که استرس خشکی باعث تجمع پرولین شده اما در تیمار غرقابی تغییری در آن ایجاد نشده است (Unyayar et al. 2004).

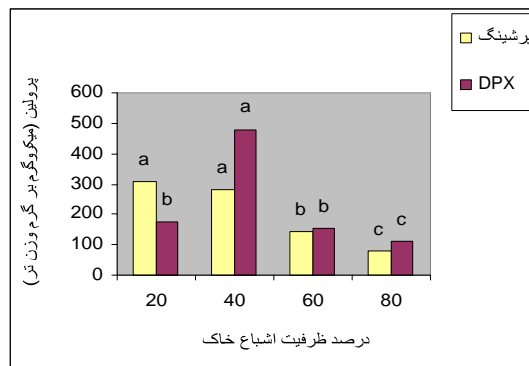
پیشنهاد شده است که تنش ملایم خشکی با تجمع ترکیباتی نظیر پرولین و گلیسین بتائین همراه بوده (Rizhsky et al. 2004)، اما تنش شدید خشکی با تجمع قندهایی نظیر ساکارز همراه است (Hokstra et al. 2001). شواهد حاکی از آن است که این ترکیبات در غلظت‌های بالا در گیاهان انباشته شده تا در کاهش غیر فعال شدن آنزیم‌ها یا کم شدن سیالیت غشاء در اثر کمبود آب کمک کنند (Valentovic et al. 2006).

نتایج مطالعات نشان داد که تجمع محلول‌های سازشی نظیر پرولین در هر دو رقم به دلیل تنظیم اسمزی و پایداری غشاهاست و اثر استرس آبی بر روی رقم پرشینگ بیشتر از رقم DPX بوده است، زیرا باعث تجمع بیشتر پرولین در مقادیر پایتیر آبی (تیمار ۲۰ درصد) شده است.

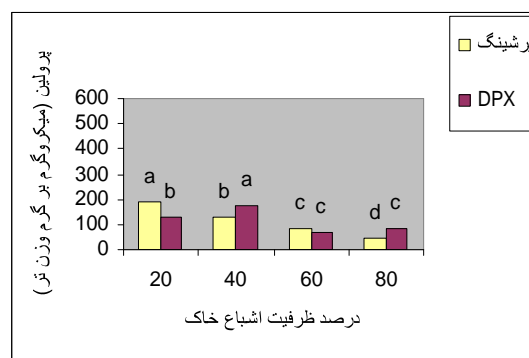
بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که RWC بالاتر و LWL پایین‌تر در رقم DPX در تیمار ۲۰ درصد حاکی از مقاوم‌تر بودن این رقم در برابر تنش‌های خشکی است و رقم پرشینگ حساسیت بیشتری را در مقادیر پائین‌تر آبی از خود نشان می‌دهد.

### منابع

آلیاری، ه، شکاری، ف، (۱۳۷۹). دانه‌های روغنی - زراعت و فیزیولوژی انتشارات عمیدی تبریز، صفحه ۱۴۷ - ۱۷۰.  
مظفریان، و. (۱۳۸۳). رده‌بندی گیاهی، کتاب دوم: دو لپه‌ای‌ها، انتشارات امیرکبیر تهران، صفحه ۲۵۸.



شکل ۹: تغییرات میزان پرولین برگ در دو رقم پرشینگ و DPX



شکل ۱۰: تغییرات میزان پرولین ریشه در دو رقم پرشینگ و DPX

مطالعات بر روی دو رقم ذرت نشان داد مقدار پرولین ریشه و برگ‌ها در حالت کنترل در رقم مقاوم به خشکی بیشتر بوده اما تحت استرس خشکی میزان آن در رقم حساس به خشکی بیشتر شده است و این مسأله هم در ریشه وهم در برگ مشاهده گردید و غلظت پرولین در ریشه بیشتر از برگ بوده است (Valentovic et al. 2006).

در تحقیق حاضر بر روی دو رقم سویا مشاهده شد که میزان پرولین آزاد در همگی تیمارها در برگ بیشتر از ریشه بوده است و نتایج به دست آمده حاکی از این است که رقم DPX دارای پرولین آزاد بیشتری در مقادیر بالای آبیاری بوده اما در تیمار ۲۰ درصد که تنش خشکی محسوب می‌شود میزان آن در رقم پرشینگ بیشتر است. در هر دو رقم غلظت پرولین در تیمار غرقابی (۸۰ درصد) کاهش یافته است. علت افزایش میزان پرولین در تیمار ۴۰ درصد در رقم DPX نشان دهنده آن است که رقم نامبرده در تنش‌های متوسط از پرولین

- Alexieva, V., Sergiv, I., Mapelli, S., and karanov, E. (2001).** The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant cell & Environment*, vol, 24, page 1337.
- Bacanamwo, M., Purcell, L.C., (1999).** Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. *CropScience* 39:143-149.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teare, T. D., (1973).** Rapid determination of free proline for water stress studies, *Plant Soil*, 39: 205-207.
- Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K.V., (2003).** Antioxidants, Oxidative damage and oxygen deprivation stress. *Ann. Bot.* 91: 179-194.
- Bohnert, H. J. (2002).** What makes desiccation tolerable? *Genome Biol.* 1: 1010– 1010.
- Boru, G., Vantoal, T., Alves, J., Hua, D. and Knee, M. (2003).** Response of Soybean Oxygen Deficiency and Elevated Root-Zone Carbon Dioxide Concentration. *Annals of Botany*, 91: 447–453
- Bray, A. E. (1997).** Plant responses to water deficit. *Trend in Plant Science*, vol. 2, Issue 2, pp. 48 – 54.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P. and Perreira, J. S. (2003).** Understanding plant response to drought- from gene to the whole plant. *Functional plant Biology*, 30, 239 – 264.
- Eric J. W. V. and Laurentius A. C. J. V. (2004).** Acclimation to soil flooding- sensing and signal transduction. *Plant and soil.* 245: 197–214.
- Ford C.W. (1984)** Accumulation of low molecular weight solutes in water- stressed tropical legumes. *Phytochemistry* 23, 1007-1015.
- Fu, J., and Huang (2001).** Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two coolseason grasses to localized drought stress. *Environ. Exp. Bot.* 45: 105-114.
- Gao, X-P., Warvg, X-F., Lu, Y-F., Zhang, I-J, Shen, Y-Y., Liang, Z., and Zhang, D\_P. (2002).** Jasmonic acid is involved in the water – stress-induced betaine accumulation in pear leaves. *Plant, Cell & Environment*, Vol. 27, Issue 4, page 497.
- Geigenberger P. (2003).** Response of plant metabolism to too little oxygen. *curr. opin plant Biol.* 6, 247-256.
- Hokstra, F. A., Golovina, E. A., Buitink, J. (2001).** Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends Plant Sci.* 6:431-438.
- Jiang, Y. and Huang, B. (2002).** Protein alteration in tall fescue in response to drought stress and abscisic acid, *Crop Science*, 42, 202–207.
- Kishor, K.P.B., Sangam, S., Amrutha, R.N., Laxim, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. R. S. S., Rao, S., Reddy, K.J., Theriappan, P. and Sreenivasula, N. (2005).** Regulation of Proline biosynthesis, degradation, Uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science.* vol. 88, No. 3, pp. 424 – 438.
- Lawlor, W.D., (2002).** Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, 89: 861-870
- Meyer, R. F. and Boyer, J-S., (1981).** Osmoregulation, solute distribution and growth in soybean seedlings having low water potential, *Panta*, 151, 482-489.
- Mohd, R. I., Mohd, K. Y. and Marzian, M., (2004).** Growth, water relation, stomatal conductance and proline concentration in water stressed Banana (*Musa SPP.*) plants. *Asion Journal of plant sciences*, 3(6): 709- 713.
- Naidu, B.P., Cameron, D.F., and Konduri, S.V., (2006).** Improving drought tolerance of cotton by *glycine betaine* application and selection. The Australian agronomy conference.
- Niki, T., and Gladish, D.K. (2001).** Changes in growth and structure of pea primary (*Pisum sativum L. CV. Alaska*) as a result of sudden flooding. *Plant cell physio.* 42:694-702.
- Onwugbuta–Enyi, J., (2004).** Water balance and procimate composition in cowpea (*Vigna unguiculata (L). Walps*) Seedlings exposed to drought and flooding stress. *Journal of Applied Sciences & Environmental management*, Vol. 8, No. 2, PP.55-57.
- Pattanagul, W. and Madore, M. A. (1999).** Water deficit Effects on Raffinose family oligosaccharide metabolism in *Coleus*. *Plant Physiology*, vol 121, PP. 987– 993.
- Pennypacker, B.W., Leats, K.L., Stout, W.L. and Hill, R.R., (1990).** Techniques for stimulating field drought stress in green house. *Agron, J.*, 82, 951-957.
- Prado, F.E., Boero, C., Gallarodo, M. and Gonzalez, J.A., (2002).** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* wild seeds. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 42, 27-34.
- Quan, R., Shang, M., Zhang, H., Zhao,Y., and Zhang, J. (2004).** Engineering of enhanced glycine betaine synthesis improves drought tolerance in maize. *Plant Biotechnology journal*, 2, pp. 477 – 489.



- Rizhsky, L., Liang, H., Shman, J., Shulaev, V., Davletova, S. and Mittler, R. (2004).** When defense pathways collide. The Response of *Arabidopsis* to a combination of drought and Heat stress. *plant physiology*, 134: 1683– 1696.
- Rontein, D., Basset, G., Hanson, A. D. (2002).** Metabolic engineering of osmoprotectants accumulation in plants. *Metabolic Engineering*, 4:49-56.
- Sairam, R.K. and Srivastava, G. C. (2002).** Changes in antioxidant activity in sub- cellular fraction of tolerant and susceptible wheat genotypes to long term salt stress. *Plant Sci.* 162: 897-904
- Scott H.D., De Angulo J., Daniels M.B. and Wood L.S. (1989).** Flood duration effect on soybean growth and yield *Agronomy Journal* 81,631-636.
- Unyayar, S., keles, Y. and Unal, E. (2004).** proline and ABA levels in two sunflower Genotypes subjected to water stress. *Bulg. J. Plant Physiol.* 30(3-4), 34-47.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., Gasparikova, O., (2006).** Effects of osmotic stress on compatible solutes content membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant soil Environ.* 52, (4): 186-191.
- Xing, H., Tan, L., An, L., Zhao, Z., Wang, S., Zhang, C., (2004)** Evidence for the involvement of nitric oxide and reactive oxygen species in osmotic stress tolerance of wheat seedlings: Inverse correlation between leaf abscisic acid accumulation and leaf water loss. *Plant Growth Regul.*, 42: 61-68
- Yordanov, I., Velikova, V., Tsoner, T. (2003).** Plant responses to drought and stress tolerance *Bulg. J. Plant Physiol.*, Special Issue 2003, 187-206.