دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال هفتم، شماره بیست و سوم، ۱۳۹۴

تاثیر دوره غرقابی در مرحله زایشی و روش کوددهی بر رشد و تثبیت زیستی نیتروژن در سویا

محمد خادم‌پیر[۱]، سرالله گالشی[۲]، افشین سلطانی[۲]، فرشید قادری‌فر[۲]

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۱

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش غرقابی بر تجمع ماده خشک، سطح برگ، تعداد گره‌ها و قطرگره‌های تثبیت کننده نیتروژن در گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) رقم DPX آزمایشی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. این آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل انجام شد. فاکتورها شامل روش کوددهی در سه سطح (تلقیح با باکتری *BradyRhizobium japonicum*، عدم تلقیح به اضافه کود نیتروژنه (۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار) و عدم تلقیح بدون کود نیتروژنه) و فاکتور دوم دوره تنش غرقابی شامل ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ روز بود، که در مرحله رشد زایشی (R2) اعمال گردید. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش طول دوره غرقابی صفات سطح برگ و وزن خشک برگ بطور متوسط ۵۵ درصد نسبت به شاهد کاهش پیدا کردند و وزن خشک ریشه و حجم ریشه بطور متوسط ۱۰ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کردند. در تیمار تلقیح با باکتری بدون مصرف کود تشکیل گره مشاهده شد، که با افزایش مدت تنش غرقاب تعداد گره در بوته، قطر گره و وزن خشک گره روندی کاهشی داشتند. در بین سطوح تغذیه‌ای سطح عدم تلقیح به‌اضافه کود نیتروژنه کمترین آسیب را از تنش غرقاب پذیرفت و تنش غرقاب بیشترین تاثیر را روی سطح تغذیه‌ای عدم تلقیح بدون کود داشت. نتایج این پژوهش بیانگر این امر است که اگر سویا بوسیله کود نیتروژنه در حد مطلوب تغذیه شود خسارت کمتری را از دوره غرقابی می‌بینند و همچنین نتایج نشان داد دوره غرقابی باعث کاهش معنی‌دار تعداد گره تثبیت کننده نیتروژن در سویا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دوره غرقابی، تغذیه نیتروژنی، تلقیح باکتری، سطح برگ، سویا

خادم پیر، م.، س. گالشی، ا. سلطانی و ف. قادری فر. ۱۳۹٤. تاثیر دوره غرقابی در مرحله زایشی و روش کوددهی بر رشد و تثبیت زیستی نیتروژن در سویا. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۳: ٦۳-٤٥.

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: m.khadempir87@yahoo.com

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مقدمه

سویا از لحاظ تولید پروتئین و روغن بسیار با ارزش است و تنوع زیادی از نظر ارقام و طیف وسیعی از لحاظ سازگاری اقلیمی– خاکی دارد، اما سطح زیر کشت آن در ایران به‌دلیل پایینی کیفیت بذر تولیدی و حساسیت شدید فرایند استقرار گیاه به کیفیت بستر، شوری خاک و آب‌ایستادگی توسعه زیادی نیافته است (خواجه پور، ١٣٨٦). بر اساس گزارش دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی در سال ١٣٩٠، استان گلستان با اختصاص ٧٥/٩ درصد از کل سطح زیر کشت سویای کشور و ٧٣/٨ درصد از کل تولید دانه این محصول به خود در جایگاه نخست تولید سویا در کشور قرار دارد (آمارنامه کشاورزی، ١٣٩٠).

غرقابی به شرایطی گفته می شود که قسمتی از ساقه گیاه در زیر سطح آب باشد، اما در صورتی که خلل و فرج درشت خاک اشباع از آب باشد آب ماندگی اتفاق می‌افتد. تنش غرقابی اثرات مخرب زیادی بر کیفیت و کمیت تولیدات زراعی دارد (کافی و همکاران، ١٣٨٨). سویا از جمله گیاهان حساس به غرقاب، در تمام مراحل رشد است. بارندگی‌های شدید، طغیان رود خانه‌ها، آبیاری زیاد، شیب بیش ازحد زمین زراعی، نفوذ پذیری کم (به علت وجود لایه‌های غیر قابل نفوذ در خاک) عدم وجود زهکش مناسب و سیلاب‌های بهاره باعث تجمع آب بیشتر از ظرفیت زراعی و بالا آمدن سطح آب در منطقه ریشه شده و سبب تنش غرقابی در اراضی مختلف می‌شود (دنیس و همکاران، ٢٠٠٠).

گیاهان زراعی برای فتوسنتز و تنفس به تبادلات گازهای اتمسفری نیاز دارند. معمول‌ترین مانع برای انتشار گاز، آب است که محیط ریشه را اشباع می‌کند. در خاک‌های غرقاب فضای مخصوص هوا از آب پر شده و چون انتشار گاز در آب ده هزار مرتبه کاهش می‌یابد در این حالت اکسیژن موجود در ریزوسفر (محیط ریشه گیاه) به وسیله‌ی ریشه تخلیه شده و خاک دارای مشکل کاهش اکسیژن[1] و یا فقدان اکسیژن[2]می‌شود. تخلیه‌ی اکسیژن محلول در خاک‌های غرقاب بسته به دما، فعالیت تنفسی گیاهان و میکروارگانیسم‌ها و نیز فراوانی و تداوم اشباع بودن خاک منجر به کاهش یا عدم وجود اکسیژن طی چند ساعت الی چند روز می‌شود (گالشی و همکاران، ١٣٨٨).

بررسی‌های انجام شده روی گیاهان مختلف نشان داده است که اثرات تنش غرقابی در گیاهان مختلف متفاوت بوده و این تفاوت‌ها مربوط به گونه گیاهی، سن گیاه، شرایط فیزیولوژیک و نوع خاک می‌باشد. تنش غرقابی موقت، سطح برگ، بیوماس اندام هوایی و ریشه را کاهش می‌دهد. تنفس بی‌هوازی و مصرف سریع کربوهیدرات‌های موجود در ساقه و ریشه، زرد شدن و ریزش برگ‌ها در شرایط غرقابی، احتمالاً از مهمترین دلایل کاهش بیوماس اندام هوایی می‌باشند. در این ارتباط با طولانی شدن مدت‌های تنش غرقاب شدت کاهش بیوماس اندام هوایی و ریشه بیشتر بوده است(کافی و همکاران، ١٣٨٨).

میزان خسارت تنش غرقابی در مرحله رشد زایشی به مراتب بیشتر از خسارت آن در مرحله رشد رویشی می‌باشد (رسولی، ١٣٩٠). در بقولات مانند نخود فرنگی (بلفورد و همکاران، ١٩٨٠)، لوپن (یروو و همکاران، ١٩٧٦) و سویا (گریفین و ساکسن، ١٩٨٨) با افزایش سن گیاه تحمل به تنش غرقابی کاهش می‌یابد. این محققان دریافتند که مرحله‌ی گلدهی حساس‌ترین مرحله فنولوژیکی به تنش غرقابی است. کاهش تحمل به تنش غرقابی در مرحله گلدهی گیاه احتمالاً نتیجه تغییر مسیر انتقال مواد فتوسنتزی از ریشه به سمت اندام‌های زایشی است (ایوانز، ١٩٨٢). تغییر مسیر انتقال مواد فتوسنتزی ممکن است به تخلیه ذخایر کربوهیدرات موجود در ساقه منجر شود. زو و لین (١٩٩٥) گزارش نمودند که تنش غرقابی اثرات متفاوتی بر فیزیولوژی و عملکرد کلزا در مراحل مختلف رشد داشت. آنها همچنین اظهار داشتند که مرحله‌ی گیاهچه‌ای یا اوایل رشد بسیار حساس‌تر از مرحله‌ی ساقه‌رفتن بود. از سوی دیگر تنش غرقابی در زمان استقرار و گلدهی سبب کاهش عملکرد گردید. دیکن و رایت (٢٠٠٣) در گندم گزارش نمودند تنش غرقابی در طول استقرار گیاهچه‌ها سبب کاهش تراکم در جامعه‌ی گیاهی گردید. کافی و همکاران (١٣٨٨) گزارش نمودند که عملکرد گندم، جو و یولاف که از ٢ هفته بعد از کاشت به مدت ٦ هفته متوالی در معرض تنش غرقاب بودند شدیداً کاهش یافت. گوپتا و گوپتا (١٩٩٧) بیان نمودند که گیاهان در مراحل اولیه رشدی نسبت به سایر مراحل حساس‌تر می‌باشند و کاهش میزان عملکرد با افزایش درجه و مدت زمان غرقابی متفاوت است.

باکتری‌های موجود در گره‌های تثبیت کننده نیتروژن برای فعالیت نیاز به اکسیژن دارند. تنش غرقاب یکی از فاکتورهای مهم است که سبب کاهش عملکرد لگوم‌ها در مناطق مرطوب و پرباران می‌شود، مخصوصاً زمانی که رشد گیاه به تثبیت زیستی نیتروژن به روش همزیستی وابستگی داشته باشد. زیرا تجمع آب در خاک موجب کاهش میزان اکسیژن در دسترس گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌شود و عامل منفی برای رشد و فعالیت باکتری‌هایی است که با لگوم‌ها ارتباط همزیستی برقرار کرده‌اند

1-Hypoxia
2- Anoxia

(اشرف و هریس، ٢٠٠٤). با توجه به اینکه تنش غرقاب باعث کاهش فتوسنتز و متعاقب آن باعث کاهش مواد فتوسنتزی می-شود، مواد فتوسنتزی در دسترس گره‌ها را کاهش می‌دهد، که این باعث می‌شود با افزایش مدت تنش غرقاب گره‌ها ریزش پیدا کنند.

گنجعلی و همکاران (١٣٨٦) در نخود گزارش نمودند که رشد ریشه، سطح برگ و به طور کلی رشد گیاه نخود در دوره-های کوتاه‌مدت تنش غرقابی کاهش می‌یابد و چنانچه تنش غرقابی در هنگام رشد رویشی گیاه اتفاق افتد برگ‌ها نکروزه شده و ریزش می‌کنند، همچنین ریشه‌ها پوسیده شده و گره‌های حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن غیرفعال شده و یا از بین می-روند. جیمز و کرافورد (١٩٩٨) در مطالعه خود روی نیلوفر آبی کاهش تثبیت نیتروژن در شرایط غرقاب را تا ٥٠ درصد شاهد گزارش کردند. سانچز و همکاران (٢٠١١) با مطالعه باکتری تثبیت‌کننده بیولوژیک نیتروژن روی ریشه سویا کاهش وزن خشک گره‌ها را از ٣٩ تا ٥١ درصد نسبت به شاهد بعد از ١٤ روز غرقاب گزارش کردند. همچنین یوان و همکاران (٢٠٠٨) در مطالعه‌ای روی سویا حساسیت بالای گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به تنش غرقاب را گزارش کردند.

این پژوهش با هدف بررسی تاثیر دوره غرقابی در مرحله زایشی و روش کوددهی بر رشد و تثبیت زیستی نیتروژن در سویا (رقم DPX) انجام شد و همچنین این پژوهش به‌منظور مقایسه ماده خشک تولیدی گیاه زمانی که فقط با باکتری تلقیح می‌شود با زمانی که از یک منبع نیتروژن کمکی (کود نیتروژنه) استفاده می‌کند، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ١٣٩١ به روش گلدانی با گلدان‌هایی از جنس پلاستیک با دهانه ٣٠ سانتی‌متر و ارتفاع ٣٠ سانتی‌متر در هوای آزاد در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول روش کوددهی در سه سطح (تلقیح بذور با باکتری (*Bradyrhizobium Japonicum* (*BJ*)) به همراه کود آغازگر، عدم تلقیح با باکتری (*BJ*) و بدون استفاده از کود نیتروژنه (اوره) و عدم تلقیح با باکتری و تغذیه بوته‌ها با کود نیتروژنه (اوره) و فاکتور دوم شدت تنش غرقاب در چهارسطح ٠، ٥، ١٠ و ١٥ روز بود. مرحله اعمال تنش، مرحله (R2) اوج گلدهی سویا بود.

در سطح اول (تلقیح بذور با باکتری *Bj*) علاوه بر تلقیح بذور قبل از کاشت، ٥٠ کیلوگرم در هکتار کود اوره بعنوان آغازگر به خاک گلدان‌ها اضافه شد و در سطح دوم (تغذیه با کود نیتروژنه) کود اوره به میزان ١٥٠ کیلوگرم در هکتار در ٣ مرحله (١- همزمان با کاشت ٢- شش برگی ٣- اول گلدهی، در هر مرحله ٥٠ کیلوگرم در هکتار) به خاک گلدان‌ها اضافه شد و در سطح سوم تیمار تغذیه نیتروژنی (عدم مصرف کود و باکتری) از هیچ نوع نیتروژن کودی و باکتری تثبیت‌کننده استفاده نگردید. همچنین در تمام گلدان‌ها همزمان با کاشت مقدار ١٥٠ کیلوگرم در هکتار کود فسفره (سوپر فسفات تریبل) و ١٥٠ کیلوگرم در هکتار کود پتاسه (سولفات بتاسیم) اضافه شد (لازم بذکر است برای محاسبه میزان کود در هکتار برای هر گلدان، عمق خاک مزرعه تا ٣٠ سانتی‌متر و وزن مخصوص حقیقی خاک ٢/٦ فرض شد و سپس میزان کود برای هر گلدان محاسبه شد). در تاریخ ١٨ اردیبهشت‌ماه سال ١٣٩١ نسبت به کشت بذور مورد نظر در گلدان اقدام گردید و در ٢٩ اردیبهشت‌ماه پس از استقرار کامل بوته‌ها با حذف بوته‌های اضافی تعداد بوته‌ها به ٣ بوته در هر گلدان کاهش داده شد.

جدول ١- مشخصات خاک مورد استفاده برای آزمایش

مشخصه	مقدار
بافت	شنی، رسی لوم
اسیدیته گل اشباع	٨/٠
هدایت الکتریکی	٠/٧ (dsm^{-1})
نیتروژن کل	٠/٠٧٩ (ppm)
فسفر قابل جذب	٥/١ (ppm)
پتاسیم قابل جذب	٩٠ (ppm)

در قسمت کف گلدان سوراخ‌هایی برای تخلیه آب مازاد (زهکشی) ایجاد گردید. به منظور اعمال تیمارهای غرقابی، از گلدان‌های تمام تیمارها به تعداد لازم همزمان درون حوضچه-های بزرگ که قبلاً تعبیه شده بود قرار داده شد، به طوری که تا ارتفاع ۲ سانتی‌متر از ساقه بوته‌ها را آب فرا گرفت. بعد از طی هر یک از تیمارهای دوره غرقابی (۵، ۱۰ و ۱۵ روز) گلدان‌ها از درون آب خارج شده و از آنها نمونه‌برداری شد (به این صورت که بعد از گذشت ۵ روز گلدان‌های مربوط به ۵ روز غرقاب خارج شد، بعد از گذشت ۱۰ روز گلدان‌های مربوط به ۱۰ روز غرقاب خارج شد و بعد از گذشت ۱۵ روز گلدان‌های مربوط به ۱۵ روز غرقاب خارج شد) و به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شد.

در این آزمایش به منظور مطالعه رشد و تجمع ماده خشک در مرحله گلدهی کامل (R2) طی تنش غرقاب، صفاتی از جمله سطح برگ، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و ساقه، تعداد گره تثبیت کننده نیتروژن بر روی ریشه، وزن خشک گره، قطر گره، وزن خشک ریشه و حجم ریشه (با استوانه مدرج) در هر یک از تیمارهای غرقابی اندازه‌گیری شد (لازم بذکر است برای هر یک از تیمارها یک شاهد نیز وجود داشت به این صورت که وقتی گلدان‌های مربوط به تیمار ۵ روز غرقاب از آب خارج شدند و صفات مورد نظر روی آنها اندازه‌گیری شد همزمان با آن در گلدان‌هایی که در حالت طبیعی رشد کرده‌اند همان صفات اندازه‌گیری شد).

برای تعیین روند تجمع ماده خشک طی تنش غرقاب در مقایسه با شاهد بعد از اندازه‌گیری سطح برگ بوته‌ها، بوسیله‌ی دستگاه سطح برگ سنج مدل Delta-T، بوته‌ها به تفکیک اندام به مدت ۴۸ ساعت در خشک‌کن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس با ترازوی مدل EK-200 i با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند.

برای اندازه‌گیری حجم ریشه بعد از حذف قسمت هوائی، ریشه‌ها از گلدان خارج و با دقت توسط آب شسته شدند. بعد از گرفتن آب اضافه ریشه‌ها توسط حوله کاغذی، حجم آن‌ها با استفاده از یک استوانه مدرج و تغییر حجم آب موجود در آن اندازه‌گیری شد (البته باید اشاره شود ریشه‌های نابجایی که روی ساقه در طی تنش غرقاب تشکیل شده بودند نیز جدا شده و جزء اندازه‌گیری‌ها به‌حساب آمدند).

برای اندازه‌گیری صفات مربوط به گره‌های تثبیت کننده نیتروژن بعد از اعمال تنش ریشه‌های بوته سویا از گلدان خارج شد و با آب مورد شستشو قرار گرفت (در این مرحله دقت کافی شد تا گره‌ای از ریشه جدا نشود).

داده‌های به‌دست آمده از آزمایش به کمک نرم‌افزار SAS (سلطانی، ۱۳۸۶) تجزیه و تحلیل شد و رسم نمودارها نیز با استفاده از برنامه Excel انجام شد.

نتایج و بحث

برای کمی‌سازی اثر تنش غرقابی بر ویژگی‌های ظاهری گیاه سویا مدل‌های مختلفی برازش داده شدند که معادله درجه دو ($y=ax^2+bx+c$)، خطی ($y=ax+b$) و نمایی ($y=ae^{bx}$) بهترین برازش را داشتند. در این معادلات x مدت تنش غرقاب و y مقدار صفت مربوطه می‌باشد. در معادله درجه دو c عرض از مبداء، a و b ضرایب معادله هستند. در معادله خطی b عرض از مبداء و a شیب معادله می‌باشد. در معادله نمایی a عرض از مبداء و b ضریب معادله می‌باشد. معیار انتخاب مدل برتر برازش داده شده برای توصیف اثر تنش غرقابی بر صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای تغذیه‌ای در مرحله زایشی (R2)، جذر میانگین مربعات (RMSE[1]) و ضریب تبیین (R^2) بود (R^2 هر چه به یک نزدیکتر معادله مناسب‌تر و RMSE هر چه کمتر معادله مناسبتر).

سطح برگ

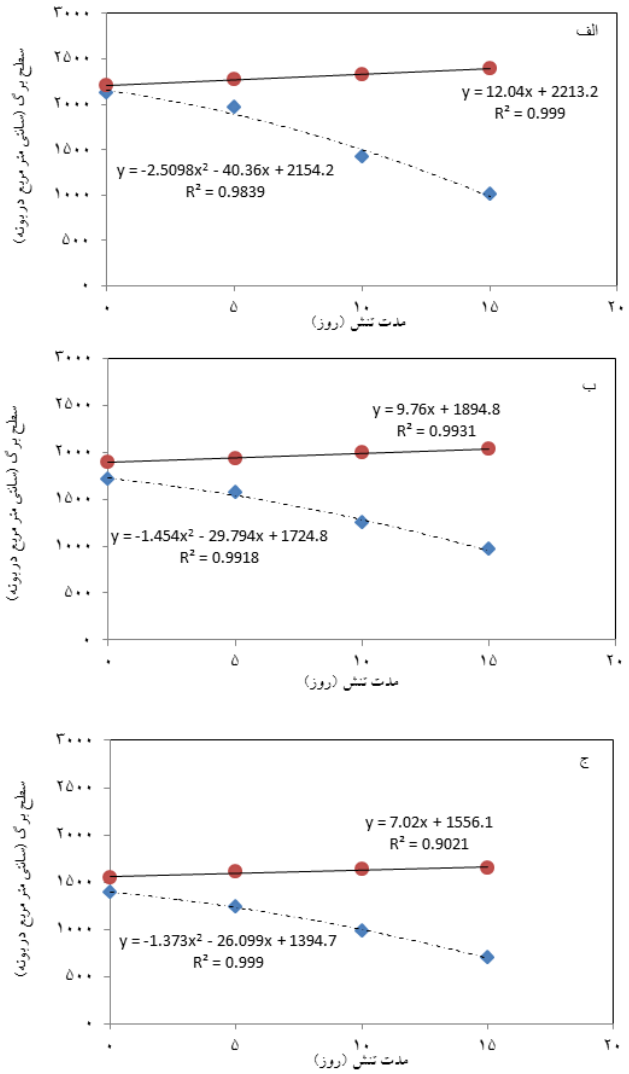
از معادله‌ی درجه دو برای بیان تغییرات سطح برگ در تیمارهای تحت تنش غرقاب و معادله خطی برای تیمارهای شاهد استفاده شد، که بهترین برازش را به نقاط مشاهده شده داشتند، در معادله درجه دو و خطی در شکل ۱ مقدار x مدت زمان غرقاب و y مقدار سطح برگ را نشان می‌دهد. میزان سطح برگ در آغاز تنش غرقابی در تیمار عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به‌ترتیب ۲۱۲۹، ۱۷۱۳ و ۱۳۹۱ سانتی‌متر مربع در بوته بود و در انتهای تنش غرقاب (۱۵ روز) میزان سطح برگ به‌ترتیب ۱۰۰۹/۳۲، ۹۶۲/۶۰ و ۶۹۸/۲۰ سانتی‌متر مربع در بوته بود، که روندی کاهشی را در همه تیمارها نشان می‌داد. با مقایسه ضرایب معادلات برازش داده شده مشخص شد، بین سطوح مختلف تغذیه‌ای تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت (جدول ۲).

دلیل عمده این کاهش سطح برگ طی تنش غرقاب ریزش برگ‌های پایینی در گیاه بود از انجا که در طی تنش غرقاب

1-Root Mean square Error

جذب عناصر غذایی به‌خصوص عناصر غذایی ماکرو (پر مصرف) در گیاه کاهش پیدا می‌کند (در گیاهان تثبیت کننده نیتروژن فعالیت گره‌ها تحت تاثیر تنش غرقاب کاهش پیدا می‌کند) در این شرایط گیاه عناصر غذایی کم جذب شده را به برگ‌های جوان اختصاص می‌دهد و نیز عناصر غذایی ذخیره شده در برگ‌های پیر را به سمت قسمت‌های جوان حرکت می‌دهد و باعث ریزش برگ‌های پیر (برگ‌های پایینی گیاه) می‌شود (رسولی، ۱۳۹۰).

در تیمارهای شاهد عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود، عدم تلقیح بدون کود سطح برگ به ترتیب ۲۲۱۴، ۱۸۹۹، ۱۵۴۲ و در انتهای ۱۵ روز بدون تنش غرقاب به ترتیب ۲۳۹۶، ۲۰۴۲ و ۱۶۵۱ سانتی‌متر مربع در بوته بود. بر اساس مقایسه ضرایب معادلات برازش داده شده، مقدار ضرایب معادلات بین سطوح مختلف تغذیه‌ای تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد داشت (جدول ۲). در شاهدهای تمام تیمارها در طی ۱۵ روز سطح برگ روندی افزایشی داشت، گیاه سویا رقم DPX بدلیل رشد نامحدود بودن همزمان با گلدهی رشد رویشی نیز دارد، که به این دلیل سطح برگ در تیمارهای شاهد طی ۱۵ روز افزایش یافت.



شکل ۱- سطح برگ گیاه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب (خطوط بریده) و تیمار شاهد طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز بدون تنش غرقاب (خطوط ممتد) - (الف: عدم تلقیح به‌اضافه کود ب: تلقیح بدون کود ج: عدم تلقیح بدون کود)

جدول ۲- پارامترهای براورد شده (a, b, c) با خطای معیار و ضریب تبیین (R^2) در معادلات برازش داده شده برای سطح برگ

سطوح تغذیه‌ای	SE ±a	SE ±b	SE ±c	R^2
عدم تلقیح به اضافه کود	-۲/۵±۰/۲۵	-۴۰/۳۵±۲/۲۹	۲۱۵۴/۲۱±۱۰۹/۸۹	۰/۹۸
شاهد	۱۲/۰۴±۰/۲۷	۳۱۲۲±۲/۵۶	-	۰/۹۹
تلقیح بدون کود	-۱/۴۵±۰/۰۵	-۲۹/۷۹±۱/۵۶	۱۷۲۴/۸۳±۵۱	۰/۹۹
شاهد	۹/۷±۰/۵۷	۱۹۹۴/۸±۵/۳	-	۰/۹۹
عدم تلقیح عدم کود	-۱/۳۷±۰/۰۳	-۲۶/۱۱±۱/۱	۱۳۹۴/۷۱±۱۶/۱۹	۰/۹۹
شاهد	۷/۰۲±۱/۶۳	۱۵۵۶±۱۵/۲	-	۰/۹۰

با طولانی شدن مدت تنش غرقاب گیاه برای تعدیل کمبود انرژی ناشی از شرایط بی‌هوازی (غرقاب) هورمون‌های آبسزیک اسید و اتیلن را تولید نموده که ریزش برگ‌ها و کاهش سطح برگ را در پی دارد (رسولی، ۱۳۹۰). تخصیص مقدار زیادی از مواد فتوسنتزی در مرحله‌ی گلدهی جهت تشکیل گل، تشکیل غلاف و پیشرفت نمو دانه تشکیل غلاف و پیشرفت نمو دانه احتمالاً سبب حساسیت بیشتر این مرحله نسبت به تنش غرقابی و تسریع در زوال برگ‌ها گردید (روجا و لیکوزی، ۲۰۱۰). محققان دیگر از جمله تورانی و همکاران (۱۳۹۲) و هنشاو و همکاران (۲۰۰۷) در گیاه سویا، رسولی (۱۳۹۰) در کلزا و پوسیچا و همکاران (۲۰۰۸) در باقلا ریزش برگ‌ها طی تنش غرقاب را گزارش کردند.

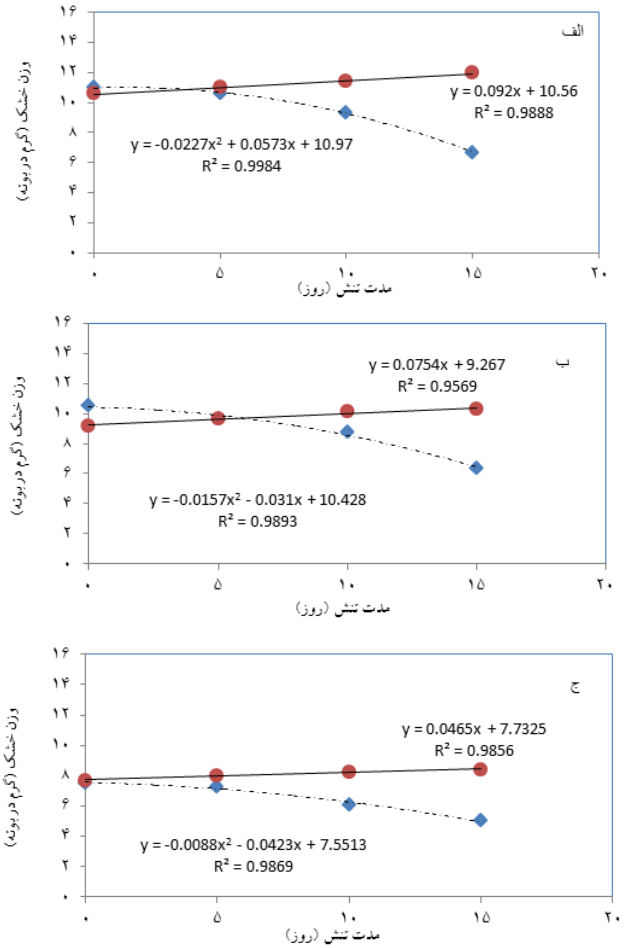
وزن خشک برگ

هماهنگ با کاهش سطح برگ تحت تأثیر تنش غرقابی، وزن خشک برگ نیز در تمام تیمارهای تحت تنش غرقاب کاهش یافت، برای بیان تغییرات وزن خشک برگ در تیمارهای تحت تنش از معادله‌ی درجه دو و برای تیمارهای شاهد از معادله خطی استفاده شد که همانند سطح برگ بهترین برازش را بر داده‌ها داشتند. در این معادلات y مقدار سطح برگ و x مدت زمان تنش می‌باشد. پیروی کردن تغییرات وزن خشک برگ طی تنش غرقاب از معادله درجه دو بدین معنی است که در ابتدا تنش تاثیر زیادی بر روی مقدار وزن خشک برگ‌ها ندارد اما با افزایش مدت زمان تنش بوته‌ها بیشتر تحت تاثیر تنش غرقابی قرار گرفته و میزان وزن خشک برگ‌ها اُفت شدیدی می‌کند برای سطح برگ بوته هم نیز همین اتفاق در طی تنش غرقاب می‌افتد و با افزایش مدت تنش غرقاب سطح برگ بوته بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

مقدار اولیه وزن خشک برگ در آغاز تنش غرقاب در تیمار عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به ترتیب ۱۱/۰۰، ۱۰/۵۰ و ۷/۵۰ گرم در بوته و میزان وزن خشک برگ در انتهای ۱۵ روز تنش غرقاب به‌ترتیب ۶/۷۰، ۶/۳۰ و ۵/۰۰ گرم در بوته بود که روندی کاهشی را نشان می‌داد.

عمده کاهش وزن خشک برگ ناشی از ریزش برگ‌های گیاه بود، که باعث کاهش سطح برگ و در نهایت باعث کاهش وزن خشک برگ در گیاه شد. در تیمارهای شاهد عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به‌ترتیب وزن خشک برگ در بوته برابر ۱۰/۶۰، ۹/۲۰، ۷/۷۰ گرم و در انتهای ۱۵ روز بدون غرقاب وزن خشک برگ در بوته برابر ۱۲، ۱۰/۳۰ و ۸/۴۰ گرم بود، که روندی افزایشی را هماهنگ با افزایش سطح برگ در تیمارهای شاهد نشان می‌داد. بیشترین میزان کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد در تیمار عدم تلقیح به اضافه کود در ۱۵ روز غرقاب (۷۹ درصد) و کمترین آن نیز مربوط به تیمار عدم تلقیح بدون کود کود (۰/۰۲ درصد) بود.

از دیگر دلایل کاهش وزن خشک برگ تحت تاثیر تنش می‌توان به کاهش سطح برگ (شکل ۱) در نتیجه کاهش فتوسنتز و کاهش تولید ماده‌ی خشک در طی تنش غرقاب اشاره کرد. همچنین بین سطح برگ و وزن خشک برگ همبستگی مثبت مشاهده گردید (جدول ۱۰). در منابع نیز وجود همبستگی خطی، مثبت و معنی‌دار بین وزن خشک برگ و سطح برگ تحت تنش غرقابی گزارش گردید (رسولی، ۱۳۹۰؛ طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۰؛ تورانی و همکاران ۱۳۹۲).



شکل ۲- وزن خشک برگ گیاه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب (خطوط بریده) و تیمار شاهد طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز بدون تنش غرقاب (خطوط ممتد) - (الف: عدم تلقیح به‌اضافه کود ب: تلقیح بدون کود ج: عدم تلقیح بدون کود)

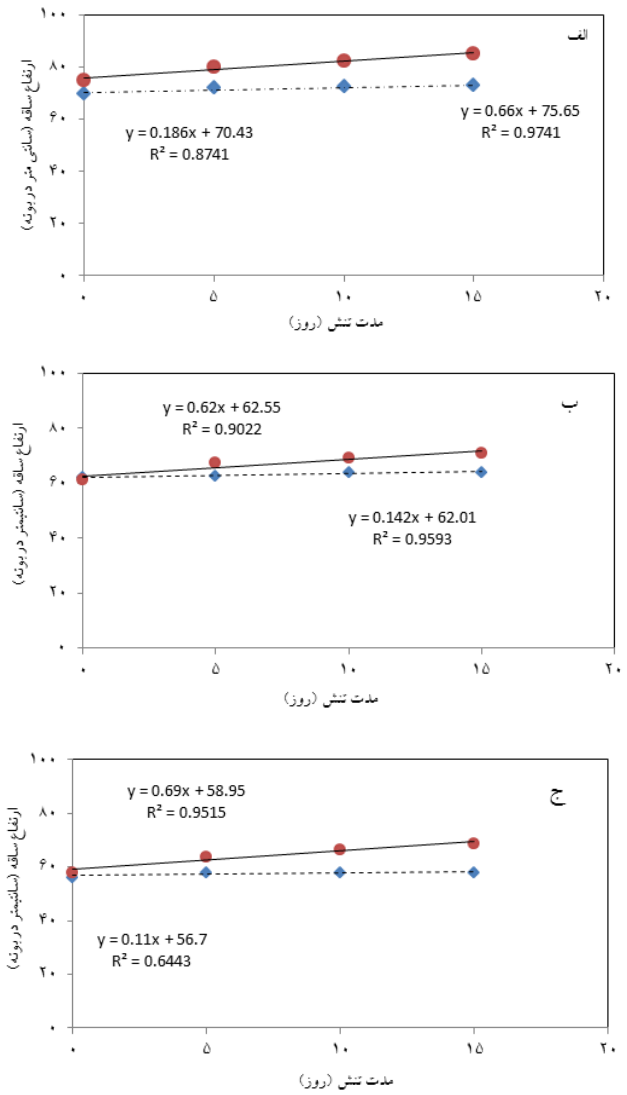
جدول ۳- پارامترهای براورد شده (a, b, c) با خطای معیار و ضریب تبیین (R^2) در معادلات برازش داده شده برای وزن خشک برگ

سطوح تغذیه‌ای	SE ±a	SE ±b	SE ±c	R^2
عدم تلقیح به اضافه کود	-۰/۰۲±۰/۰۰۲	۰/۰۵۷±۰/۰٤	۱۰/۹۷±۰/۱۳	۰/۹۸
شاهد	۰/۰۹±۰/۰۰٦	۱۰/۵٦±۰/۰٦	-	۰/۹۹
تلقیح بدون کود	-۰/۰۱±۰/۰۰۳	۰/۰۳±۰/۱	۱۰/٤۲±۰/۳۱	۰/۹۸
شاهد	۰/۰۷±۰/۰۱	۹/۲٦±۰/۱	-	۰/۹۵
عدم تلقیح عدم کود	-۰/۰۰۸±۰/۰۰٤	-۰/۰٤±۰/۰۲	۷/۵۵±۰/۲۲	۰/۹۸
شاهد	۰/۰٤±۰/۰۰۳	۷/۷۳±۰/۰۳	-	۰/۹۸

ارتفاع ساقه

تغییرات ارتفاع ساقه در تیمارهای تحت تنش غرقاب و تیمارهای شاهد از معادله‌ای خطی (y=ax+b) تبعیت می‌کرد. در این معادله x مدت تنش غرقابی و y مقدار ارتفاع گیاه می‌باشد. در معادله خطی a میزان شیب افزایش ارتفاع گیاه می‌باشد و b عرض از مبداء در معادله خطی می‌باشد. با مقایسه شیب معادله خطی برازش داده شده بر داده مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین سطوح تغذیه‌ای از نظر

ارتفاع وجود دارد (جدول ٤). مقدار اولیه ارتفاع (یا همان ضریب b در معادله خطی) در آغاز تنش غرقاب در تیمار عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به ترتیب ۷۰/۰۰، ٦۲/۰۰ و ٥٦/۲۰ سانتی‌متر و در انتهای تنش غرقاب ارتفاع بوته به ترتیب ۷۲/۹۰، ٦٤/۰۰ و ٥۸/۸۰ سانتی‌متر در بوته بود، ارتفاع بوته در صفر روز در تیمارهای شاهد عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به‌ترتیب ۷٥/۰۰، ٦۱/۳۰ و ٥۸/۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع بوته در ۱٥ روز در تیمارهای شاهد به‌ترتیب ۸٥/۲۰، ۷۱/۰۰ و ٦۸/٦۰ سانتی‌متر بود که روندی افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۳- ارتفاع ساقه در گیاه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب (خطوط بریده) و تیمار شاهد طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز بدون تنش غرقاب (خطوط ممتد) - (الف: عدم تلقیح به‌اضافه کود ب: تلقیح بدون کود ج: عدم تلقیح بدون کود)

در تمام تیمارها با افزایش مدت تنش ارتفاع بوته افزایش یافت، با این تفاوت که افزایش ارتفاع در تیمارهای تحت تنش نسبت به شاهدها کمتر بود، که از دلایل آن می‌توان به کاهش مواد فتوسنتزی تحت شرایط تنش و نیز افزایش فعالیت هورمون ABA در طی تنش غرقاب اشاره کرد (رسولی، ۱۳۹۰). ABA باعث جلوگیری از فعالیت IAA می‌شود و از افزایش ارتفاع جلوگیری می‌کند. از صدمات مهم تنش غرقابی، گیاه کاهش رشد در اثر کاهش سریع فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای، کاهش پتانسیل

آب برگ، تولید اتیلن و ABA می‌باشد (گریچکو و گلیک، ۲۰۰۱؛ اشرف و رحمان، ۱۹۹۹).

جدول٤- پارامترهای براورد شده (a, b) با خطای معیار و ضریب تبیین (R^2) در معادلات برازش داده شده برای ارتفاع ساقه

سطوح تغذیه‌ای	SE ±a	SE ±b	R^2
عدم تلقیح به اضافه کود	۰/۱۸±۰/۰٤	۷۰/٤۳±۰/٤٦	۰/۹۸
شاهد	۰/٦٦±۰/۰۷	۷۵/٦۵±۰/۷۱	۰/۸۷
تلقیح بدون کود	۰/۱٤±۰/۰۲	٦۲/۰۱±۰/۱۹	۰/۹۵
شاهد	۰/٦۲±۰/۱٤	٦۲/۵۵±۱/۳۵	۰/۹۰
عدم تلقیح عدم کود	۰/۱۱±۰/۰۵	۵٦/٦٤±۰/٤۸	۰/۸۰
شاهد	۰/٦۹±۰/۱۱	۵۸/۹۵±۱/۰۳	۰/۹۵

وزن خشک ساقه

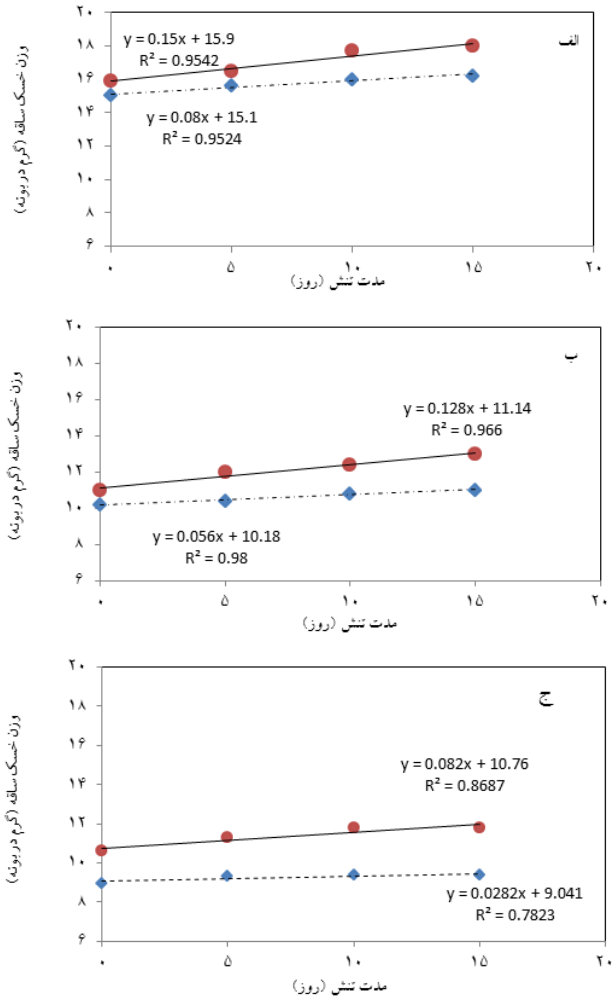
تغییرات وزن خشک ساقه در طی تنش غرقاب همانند با ارتفاع بوته روندی افزایشی داشت و در تیمارهای شاهد و تحت تنش از معادله‌ای خطی (y=ax+b) تبعیت می‌کرد (شکل٤). در این معادله x مدت تنش غرقابی و y مقدار وزن خشک ساقه می‌باشد. در معادله خطی a میزان شیب افزایش وزن خشک ساقه می‌باشد و b عرض از مبداء در معادله خطی می‌باشد مقدار اولیه وزن خشک ساقه در تیمار عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به ترتیب ۱۵/۰۰، ۹/۸۸ و ۸/۹۵ و در انتهای تنش میزان وزن خشک به ترتیب به ۱٦/۵۰، ۱۱/۲۰ و ۹/۸٤ افزایش یافت. با مقایسه شیب معادله خطی برازش داده شده بر داده‌ها مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بین سطوح تغذیه‌ای از نظر وزن خشک ساقه وجود داشت (جدول ۵). که این امر نشان دهنده آنست که تفاوت معنی‌دار بین سطوح تغذیه‌ای از نظر وزن خشک ساقه وجود دارد. باید توجه داشت که میزان افزایش وزن خشک ساقه در تیمارهای شاهد بیش از تیمارهایی بود که تحت تنش غرقابی بودند به عبارت دیگر ضریب a در این معادلات بالاتر بود (جدول ۵).

از دلایل افزایش کمتر وزن خشک ساقه در تیمارهای تحت تنش نسبت به تیمارهای شاهد می‌توان به کاهش فتوسنتز و کاهش جذب مواد غذایی در طی تنش غرقاب اشاره کرد، که باعث کاهش رشد شد. هنشاو و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی افزایش وزن خشک ساقه سویا در طی تنش غرقاب را گزارش کردند. هال (۱۹۹۲) نیز اظهار داشت که مرحله‌ی زایشی بدلیل تغییر مرحله‌ی نموی و تولید اندام‌های زایشی مثل گل و نیام‌ها حساس‌ترین مرحله‌ی نموی به تنش می‌باشد و در این مرحله میزان افزایش وزن خشک ساقه با با شیب کمتری در طی تنش غرقاب اتفاق می‌افتد.

حجم ریشه

حجم اولیه ریشه در ابتدای تنش غرقاب در تیمار عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به ترتیب ۷/٦٦، ٦/۲٦ و ۵/۰٦ و در انتهای تنش غرقاب حجم ریشه به ترتیب برابر ۱۱/۰۰، ۸/۲۰ و ۷/٤۰ سانتی‌متر مکعب در بوته بود، که از معادله‌ای خطی (y=ax+b) با روندی افزایشی تبعیت می‌کرد. در این معادله x، y، a و b بترتیب عبارتند از طول دوره غرقاب، حجم ریشه، شیب افزایش حجم ریشه و عرض از مبداء. مقایسه شیب افزایش حجم ریشه در طول تنش غرقاب در سطوح تغذیه‌ای مختلف نشان می‌دهد که اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بین سطوح تغذیه‌ای وجود دارد.

مهمترین دلیل افزایش حجم ریشه در طی تنش غرقاب افزایش ریشه‌های نابجا در قسمت پایینی ساقه بود که در زیر آب قرار داشتند، با وجود اینکه قسمت انتهایی ریشه طی تنش غرقاب در اثر کمبود اکسیژن و کاهش جذب مواد غذایی اضمحلال پیدا کرده و تارهای کشنده این قسمت ریزش پیدا کرده بودند.



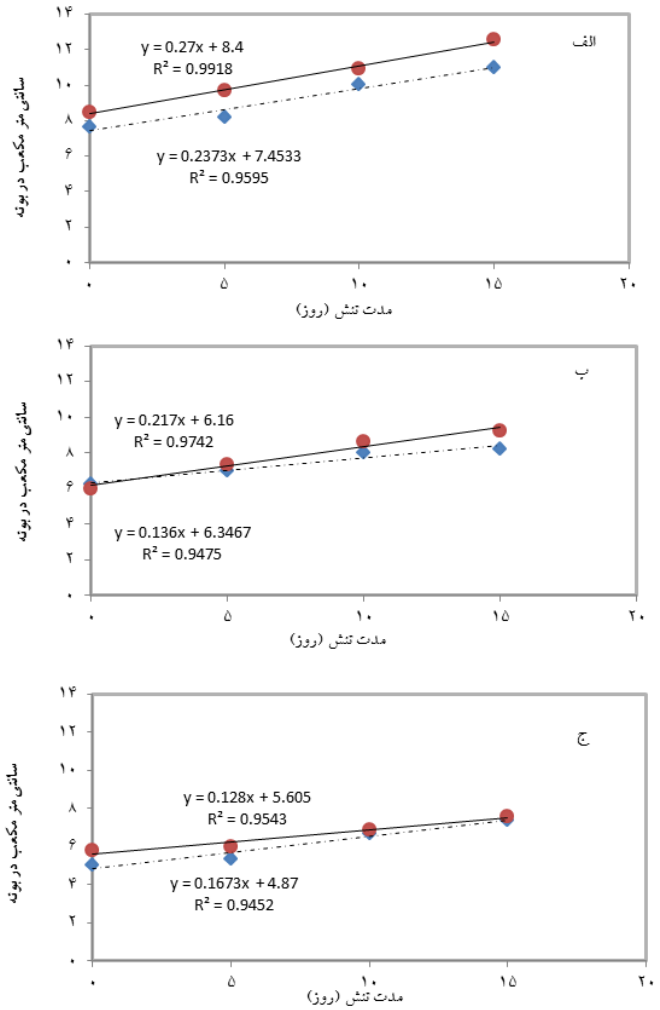
شکل ٤- وزن خشک ساقه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب (خطوط بریده) و تیمار شاهد طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز بدون تنش غرقاب (خطوط ممتد) - (الف: عدم تلقیح به‌اضافه کود ب: تلقیح بدون کود ج: عدم تلقیح بدون کود)

جدول ۵- پارامترهای برآورد شده (a, b) با خطای معیار و ضریب تبیین (R^2) در معادلات برازش داده شده برای وزن خشک ساقه

سطوح تغذیه‌ای	SE ±a	SE ±b	R^2
عدم تلقیح به اضافه کود	۰/۰۸±۰/۰۰۲	۱۵/۱±۰/۱۱	۰/۹۵
شاهد	۰/۱۳±۰/۰۳	۱۵/۹۶±۰/۲۹	۰/۸۹
تلقیح بدون کود	۰/۰۵±۰/۰۰۵	۱۰/۱۸±۰/۰۵	۰/۹۸
شاهد	۰/۰۹±۰/۰۳	۱۱/۲۶±۰/۲۹	۰/۸۰
عدم تلقیح عدم کود	۰/۰۲±۰/۰۰۶	۸/۹۸±۰/۰۳	۰/۹۷
شاهد	۰/۰۸±۰/۰۲	۱۰/۷۶±۰/۲۱	۰/۸۶

در تیمارهای شاهد عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به‌ترتیب حجم ریشه برابر ۸/۰۰ ، ٦/۰۰ و ۵/۷۷ بود و در انتهای ۱۵ روز برابر ۱۲/۳۰، ۹/۲۰ و ۷/٦۰ سانتی‌متر مکعب در بوته بود. مهمترین دلیل افزایش حجم در تیمارهای شاهد رشد ریشه، تارهای کشنده و افزایش تعداد و حجم گره‌های روی ریشه بود. در این آزمایش همبستگی مثبت و

معنی‌داری بین حجم ریشه و وزن خشک ریشه مشاهده گردید (جدول٦). تورانی و همکاران (۱۳۹۲)، هنشاو و همکاران (۲۰۰۷) و پوسیچا و همکاران (۲۰۰۸) همگی در گیاه سویا بیان داشتند در طی تنش غرقاب حجم ریشه افزایش پیدا می‌کند.



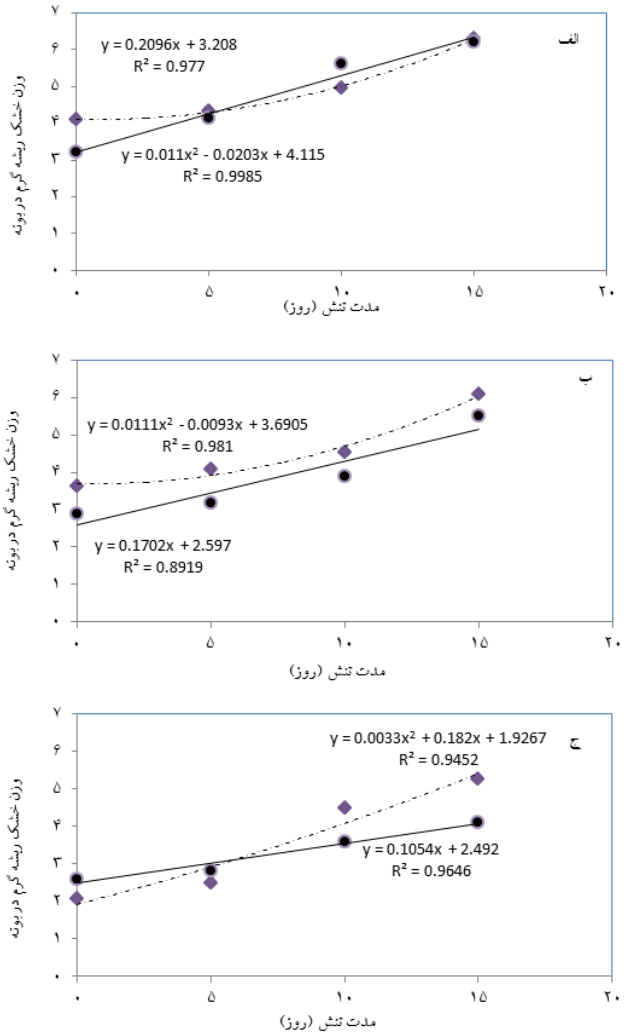
شکل ۵- حجم ریشه در گیاه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب (خطوط بریده) و تیمار شاهد طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز بدون تنش غرقاب (خطوط ممتد) - (الف: عدم تلقیح به‌اضافه کود ب: تلقیح بدون کود ج: عدم تلقیح بدون کود)

جدول ٦- پارامترهای براورد شده (a, b) با خطای معیار و ضریب تبیین (R^2) در معادلات برازش داده شده برای حجم ریشه

سطوح تغذیه‌ای	SE ±a	SE ±b	R^2
عدم تلقیح به اضافه کود	۰/۲۳±۰/۰۱	۷/٤٥±۰/۱۲	۰/۹۵
شاهد	۰/۲۷±۰/۰۱	۸/٤±۰/۱٦	۰/۹۹
تلقیح بدون کود	۰/۱۳±۰/۰۲	٦/۳٤±۰/۱۰	۰/۹٤
شاهد	۰/۲۱±۰/۰۳	٦/۱٦±۰/۲	۰/۹۷
عدم تلقیح عدم کود	۰/۱٦±۰/۰۱	٤/۸۷±۰/۰٦	۰/۹٤
شاهد	۰/۱۲±۰/۰۱	۵/٦±۰/۱۸	۰/۹۵

وزن خشک ریشه

وزن خشک ریشه (به‌اضافه ریشه‌های نابجا در روی ساقه غرقاب) شده همانند با حجم ریشه روندی افزایشی طی تنش غرقابی داشت. این افزایش در تیمارهای تحت تنش غرقاب از معادله‌ای درجه دو ($y=ax^2+bx+c$)، اما در تیمارهای شاهد از معادله‌ای خطی ($y=ax+b$)تبعیت می‌کرد. مقدار اولیه وزن خشک ریشه (ضریب c در معادله درجه ۲) در آغاز تنش غرقاب در تیمار عدم تلقیح به اضافه کود، تلقیح بدون کود و عدم تلقیح بدون کود به ترتیب ٤/١٠، ٣/٦٣ و ٢/٠٦ گرم در بوته و در انتهای تنش میزان وزن خشک ریشه به‌ترتیب برابر ٦/٣٠، ٦/١٠ و ٥/٢٠ گرم در بوته بود. مقایسه ضرایب معادلات درجه ۲ برازش داده شده بر داده‌های وزن خشک ریشه نشان می‌دهد که بین سطوح مختلف تغذیه‌ای در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۷).



شکل٦- وزن خشک ریشه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب (خطوط بریده) و تیمار شاهد طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز بدون تنش غرقاب (خطوط ممتد) - (الف: عدم تلقیح به‌اضافه کود ب: تلقیح بدون کود ج: عدم تلقیح بدون کود)

کاهش وزن خشک ریشه بدون ریشه‌های نابجا روی ساقه تحت تنش غرقابی توسط رسولی (١٣٩٠) در گیاه کلزا، پالتا و همکاران (٢٠١٠) در گیاه نخود بین و همکاران (٢٠٠٩) در گیاه گل داوودی گزارش شده است، اما محققان دیگری نیز بیان

کردند، طی تنش غرقاب گیاه شروع به ایجاد ریشه‌های نابجا می‌کند، بر روی قسمتی از ساقه که زیر آب هست، که این ریشه ها باعث افزایش حجم ریشه و وزن خشک ریشه می‌شود (تورانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ویزر و وسنک، ۲۰۰٤). ریشه‌های نابجا بر روی ساقه و در نزدیکی سطح آب بوجود می‌آیند، که بتوانند از اکسیژن موجود در اتمسفر استفاده کنند. ریشه‌های نابجا به این دلیل که در خاک به‌وجود نمی‌آیند، نمی‌توانند باعث جذب عناصر غذایی از خاک شوند مگر اینکه زمین‌گرایی مثبت پیدا کنند و وارد خاک شوند. بطورکلی ریشه‌های نابجا به ندرت زمین‌گرایی مثبت پیدا کرده و وارد زمین می‌شوند (خادم‌پیر، ۱۳۹۲).

جدول ۷- پارامترهای براورد شده (a, b, c) با خطای معیار و ضریب تبیین (R2) در معادلات برازش داده شده برای وزن خشک ریشه

سطوح تغذیه‌ای	SE ±a	SE ±b	SE ±c	R^2
عدم تلقیح به اضافه کود	۰/۰۱±۰/۰۰۱	-۰/۰۲±۰/۰۲	٤/۱۱±۰/۰٦	۰/۹۹
شاهد	۰/۲±۰/۰۲	۳/۲±۰/۲۱	-	۰/۹۷
تلقیح بدون کود	۰/۰۱±۰/۰۰۵	-۰/۰۰۹±۰/۰٤	۳/٦۹±۰/۱٤	۰/۹۸
شاهد	۰/۱۷±۰/۰٤	۲/۵۹±۰/۳۹	-	۰/۸۹
عدم تلقیح عدم کود	۰/۰۰۳±۰/۰۱	۰/۱۸±۰/۰٦	۱/۹۲±۰/٦۱	۰/۹٤
شاهد	۰/۱±۰/۰۱	۲/٤۹±۰/۱۳	-	۰/۹٦

نسبت وزن خشک برگ به ریشه

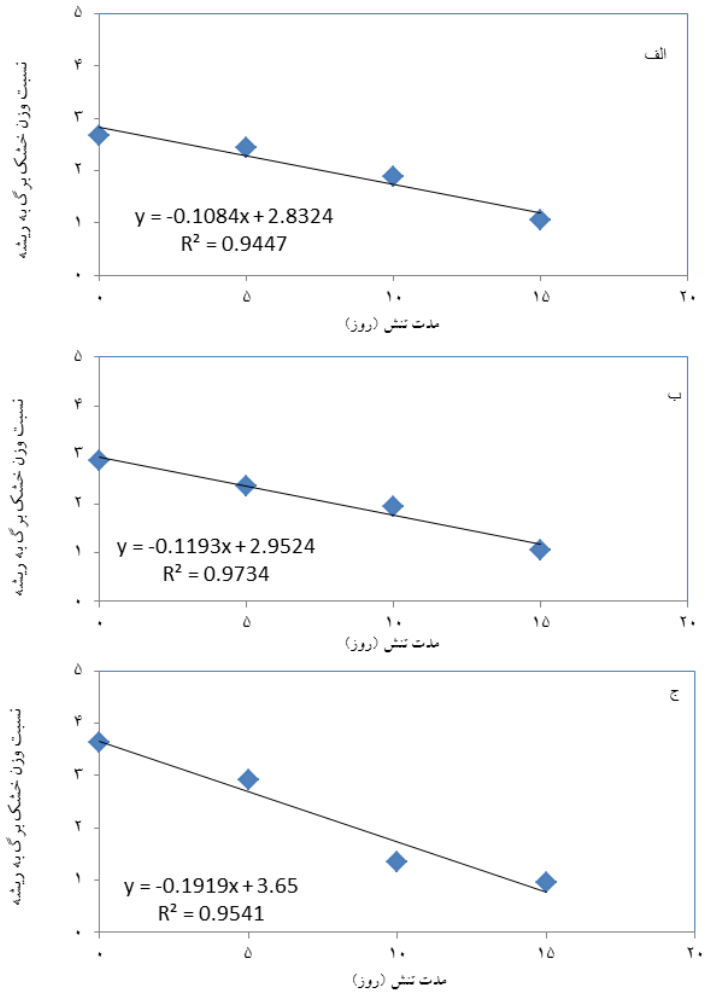
تغییرات نسبت وزن خشک برگ به ریشه در طی تنش غرقاب از معادله خطی (y=ax+b) تبعییت می‌کرد. در این معادله x، y، a و b بترتیب عبارتند از طول دوره غرقاب، نسبت وزن خشک برگ به ریشه، شیب افزایش نسبت وزن خشک برگ به ریشه و عرض از مبداء. تغییرات نسبت وزن خشک برگ به ریشه در سطوح تغذیه‌ای مختلف نشان دهنده این امر ست که با افزایش مدت تنش گیاه بیشتر سرمایه خود را روی ریشه می‌گذارد تا بتواند مواد غذایی و اکسیژن بیشتری را برای مقابله با تنش جذب کند.

همچنین کاهش نسبت وزن خشک برگ به ریشه در طی تنش غرقاب نشان دهنده آن است که بخش هوایی در طی تنش غرقاب بشدت تحت تاثیر قرار گرفته و با افزایش مدت تنش غرقاب وزن خشک برگ کاهش پیدا می‌کند، که دو دلیل مهم در این رابطه عبارتنداز، ریزش برگ‌ها و از دست رفتن بخشی از قسمت هوایی گیاه و کاهش مواد فتوسنتزی و متعاقب آن کاهش رشد طی تنش غرقاب.

تعداد گره تثبیت کننده نیتروژن

در این تحقیق بدلیل تشکیل نشدن گره تثبیت کننده نیتروژن در تیمارهای عدم تلقیح به‌اضافه کود و عدم تلقیح بدون بررسی تعداد گره در ریشه و اندازه‌گیری‌های مربوط به آن فقط در تیمار تلقیح بدون کود انجام شد. تعداد گره در ریشه سویا طی تنش غرقاب از معادله‌ای خطی (y=ax+b) با شیبی منفی پیروی می‌کرد. تعداد گره در آغاز تنش غرقاب (ضریب b در معادله خطی) ۷٦ عدد و در انتهای تنش (۱۵ روز غرقاب) به ۳۱ عدد گره در بوته کاهش یافت (شکل ۸).

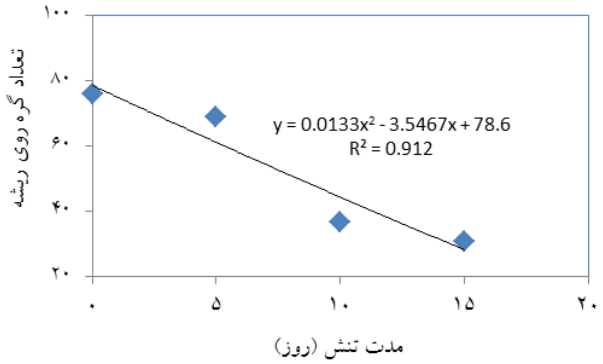
در تیمار تلقیح بدون کود به دلیل وجود شرایط مناسب (تلقیح با باکتری و عدم وجود نیتروژن در خاک) برای گره‌زایی روی ریشه، گیاه تعداد زیادی گره تشکیل داد. تعداد گره در گیاه سویا طی تنش غرقابی دارای روندی کاهشی بود، مهمترین علت این کاهش در تعداد گره‌ها، ریزش گره‌ها و عدم تشکیل گره طی تنش غرقابی بود (تورانی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۷- نسبت وزن خشک برگ به ریشه طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تحت تنش غرقاب (الف: عدم تلقیح به‌اضافه کود ب: تلقیح بدون کود ج: عدم تلقیح بدون کود)

جدول ۸- پارامترهای براورد شده (a, b) با خطای معیار و ضریب تبیین (R^2) در معادلات برازش داده شده برای نسبت وزن خشک برگ به ریشه

منبع تغییرات	SE ±a	SE ±b	^{۲}R
عدم تلقیح به‌اضافه کود	-۰/۱۰±۰/۰۰۱	۲/۸۳±۰/۰۲	۰/۹۹
تلقیح بدون کود	-۰/۱۱±۰/۰۰۱	۲/۹۵±۰/۰۱	۰/۹۷
عدم تلقیح بدون کود	-۰/۱۹±۰/۰۰۲	۳/۵٦±۰/۰۳	۰/۹۵



شکل ۸- تعداد گره تثبیت کننده نیتروژن در گیاه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب

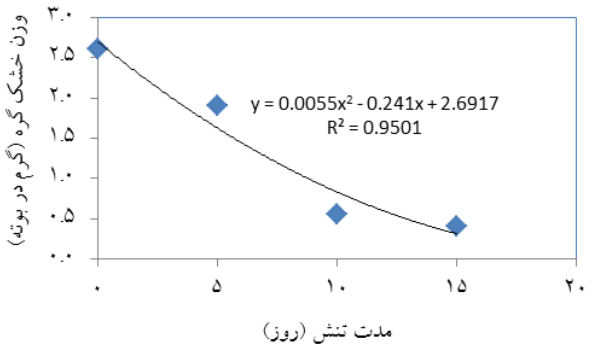
وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن

وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در طی تنش غرقاب نیز دارای روندی کاهشی بود، با این تفاوت که از معادله-ای نمایی ($y=ae^{bx}$) تبعیت می‌کرد. در این معادله x، y، a و b بترتیب عبارتند از طول دوره تنش غرقابی، وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن، مقدار وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در آغاز دوره غرقابی و شیب اولیه کاهشی برای وزن خشک گره‌های تثبیت کننده نیتروژن.

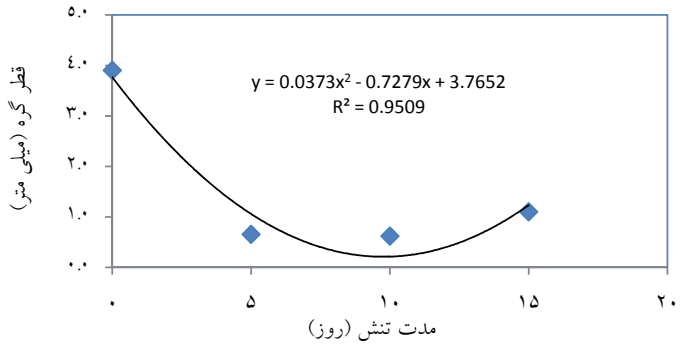
بیشترین وزن خشک گره‌ها مربوط به صفر روز غرقاب (۲/۶۰ گرم در بوته) و کمترین وزن خشک مربوط به ۱۵ روز غرقاب (۱/۱۰ گرم در بوته) بود (شکل ۹). وزن خشک گره‌ها به‌دلیل ریزش در طول تنش غرقاب روندی کاهشی داشت. در تیمار تلقیح بدون کود میزان به نظر می‌رسد کاهش وزن خشک گره‌ها بدلیل ریزش گره‌ها و نیز کاهش رشد گره‌ها در طول تنش بود.

قطر گره‌های تثبیت کننده نیتروژن

قطر گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در طی تنش غرقاب از معادله‌ای درجه دو پیروی می‌کرد (شکل ۱۰). تغییرات قطر گره در طی تنش غرقاب نشان دهنده آنست که تنش غرقاب در ابتدای باعث اُفت شدید قطر گره شده و در ادامه با افزایش طول دوره غرقاب تاثیر چندانی روی قطر گره‌ها نداشته است (شکل ۱۰). علت این عدم تغییر قطر گره‌ها در انتهای طول تنش غرقاب می‌تواند عدم رشد گره‌ها با زیاد شدن طول تنش غرقابی باشد.



شکل۹- وزن خشک گره تثبیت کننده نیتروژن در گیاه سویا طی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ روز تنش غرقاب



شکل١٠- قطر گره تثبیت کننده نیتروژن در گیاه سویا طی ٠، ٥، ١٠، ١٥ روز تنش غرقاب

جدول ٩ پارامترهای براورد شده (a, b, c) با خطای معیار و ضریب تبیین (R2) در معادلات برازش داده شده برای خصوصیات گره‌های تثبیت کننده نیتروژن

صفت	SE ±a	SE ±b	SE ±c	R^2
تعداد گره	٠/٠١±٠/٠٠٢	-٣/٥٤±٠/٠٤	٧٨/٦١±١٠	٠/٩١
وزن خشک گره	٠/٠٠٥±٠/٠٠٠٢	-٠/٢٤±٠/٠٢	٢/٦٩±٠/١	٠/٩٥
قطر گره	٠/٠٣±٠/٠٠١	-٠/٧٢±٠/٠٥	٣/٧٦±٠/٠٢	٠/٩٥

جدول١٠ همبستگی بین صفات مورفولوژیکی

	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧
١-سطح برگ	١						
٢-وزن خشک برگ	٠/٧٨**	١					
٣-ارتفاع ساقه	٠/٦٥**	٠/٢٢ n.s	١				
٤- وزن خشک ساقه	٠/٦٨**	٠/٤٢ *	٠/٨٨**	١			
٥-حجم ریشه	٠/٩٨**	٠/٧٦**	٠/٥٨ **	٠/٧٩**	١		
٦-وزن خشک گره‌ها	٠/٣٥ ns	-٠/١٥ ns	٠/٢٥ ns	٠/١٩ ns	٠/٤٩*	١	
٧-وزن خشک ریشه	٠/٦٩**	٠/٨٢**	٠/٥٤ *	٠/٧٦ **	٠/٨٥**	٠/٥٩ **	١

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت، افزایش طول دوره غرقابی در سطوح مختلف تغذیه‌ای، سبب کاهش سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، حجم ریشه و وزن خشک ریشه گردید. در بین سطوح تغذیه‌ای تیمار عدم تلقیح به‌اضافه کود کمترین تاثیر را از تنش غرقاب گرفت و صفت‌های ذکر شده در بالا برای این سطح تغذیه‌ای اُفت کمتری داشتند. تنش غرقاب بیشترین تاثیر را روی سطح تغذیه‌ای عدم تلقیح بدون کود داشت.

هر چه گیاه با بخش هوایی و ریشه قوی‌تر با تنش غرقابی مواجه شود، میزان اُفت بیومس بخش هوایی کمتر خواهد بود، تیمار عدم تلقیح به‌اضافه کود از لحاظ بخش هوایی و ریشه از دو تیمار دیگر قوی‌تر بود و به همین دلیل کمترین آسیب را از تنش غرقابی دید، بعد از آن تیمار تلقیح بدون کود کمترین آسیب را از تنش غرقابی دریافت کرد، و در آخر تیمار عدم تلقیح بدون کود بدلیل داشتن بخش هوایی و ریشه ضعیف‌تر بیشترین آسیب را از تنش غرقابی دریافت کرد.

منابع

تورانی، م.، س. گالشی.، ا. زینلی و ف. قادری‌فر. ۱۳۹۲. بررسی بنیه و ظهور گیاهچه بذور سویا حاصل از اعمال شرایط تنش غرقاب و رژیم های مختلف تغذیه نیتروژنی روی گیاه مادری. دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. ۲۱ شهریور. همدان. ۱۲ صفحه.

تورانی، م.، س. گالشی.، ا. زینلی و ف. قادری‌فر. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر تنش غرقاب و رژیم‌های مختلف تغذیه نیتروژنی بر میزان فعالیت آنتی- اکسیدانی گیاه سویا (*Glycine max*. L). دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم. ۲۱ شهریور. همدان. ۱۰ صفحه.

خادم پیر، م. ۱۳۹۲. بررسی اثر دوره غرقابی در مرحله رشد زایشی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی آناتومیکی و عملکرد سویا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۲۵ص.

خواجه پور، م. ۱۳۸٦. تولید نباتات صنعتی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد اصفهان. ۱۸٦ صفحه.

رسولی، ف. ۱۳۹۰. بررسی اثر تنش غرقابی بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا (*Brassica napuse*). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۲۰ صفحه.

سلطانی، ا. ۱۳۸٦. کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۸۲ صفحه.

طهماسبی، م.، س. گالشی و ح. صادقی‌پور. ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گندم در واکنش به اثرات غرقابی و دما. خلاصه مقالات اولین همایش تخصصی راهبردهای دستیابی به کشاورزی پایدار. اهواز. ۱۳ صفحه.

کافی، م.، ا. برزوئی.، ع. کمندی و ج. نباتی. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۳۵ صفحه.

گالشی، س.، ب. ترابی.، ق. رسام.، ع. راحمی کاریزکی و ا. برزگر. ۱۳۸۸. تنش و مدیریت آن در گیاهان. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی گرگان. ۳۰۷ صفحه.

گنجعلی، ع.، ه. پالتا و ن، ترنر. ۱۳۸٦. تاثیر تنش غرقابی بر رشد ریشه و اندام‌های هوایی ژنوتیپ نخود(*Cicer arietinum* L.). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵: ۳۵۳-۳٤۳.

Ashraf, M and H. Rehman. 1999. Interactive effects of nitrate and long-term waterlogging on growth, water relations, and gaseous exchange properties of maize (*Zea mays* L.). Plant Sci. 144: 35-43

Ashraf, M., and P.J.C. Harris. 2004. Potential indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166: 3-16.

Broue, P., D.R, Marshaall and J. Munday. 1976. The response of lupins to water logging. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 16: 549-554.

Belford, R.K., R.Q. Cannell, R.J. Thomson, and C.W. Dennis. 1980. Effects of water-logging at different stages of development on the growth and yield of pea (Pisum sativum L.). J. Sci. Food Agric. 31: 857-869.

Dennis, E.S., R. Doferus, M. Ellis, M. Rahman, W.Y. Hoeren, F.U Grover, A. Ismond, K.P. Good, and W.J. Peacock. 2000. Mollecular strategies for improving water logging tolerance in plants. J. Exp. Bot. 51: 89-97.

Dickin, E and D. Wright. 2008. The effects of winter waterlogging and summer drought on the growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Europ. J. Agron. 28: 234-244.

Evans, J. 1982. Symbiosis, nitrogen and dry matter distribution in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Exp. Agric. 18: 339-351.

Grichk, V.P. and B.R. Glick. 2001. Ethylene and flooding stress in plants. Plant Physiol. Biochem. 39 1–9

Griffin, J.L and A.M. Saxton. 1988. Response of solid - seeded soybean to flood irrigation. II. Flood duration. Agron. J. 80: 885-888.

Gupta, S. K and I.C. Gupta. 1997. Crop production in waterlging saline soils. Scientific Publication. Jodhpur, India, 85-96.

Hall, A.E. 1992. Breeding for heat tolerance. Plant Breed. Rev. 10: 129-168.

Henshaw. T.L., R.A. Gilbert, J.M.S. Scholberg, and T.R. Sinclair. 2007. Soya Bean (*Glycine max* L. Merr.) Genotype Response to Early-season Flooding: II. Aboveground Growth and Biomass. J. Agron. Crop Sci. 193: 189-197.

James E.K and R.M.M. Crawford. 1998. Effect of oxygen availability on nitrogen fixation by two Lotus species under flooded conditions. J. Exp. Bot. Ref. 49: 599-609.

Palta, J.A., A. Ganjeali, N.C. Turner and K.H.M Siddique. 2010. Effects of transient subsurface waterlogging on root growth, biomass and yield of chickpea. Agric. Water Manage. 97: 1469-1476.

Pociecha, E., J. Koscielniak, W. Filek. 2008. Effects of root flooding and stage of development on the growth and photosynthesis of field bean (*Vicia faba* L. minor). Acta Physiol. Plant 30:529–535

Ro.cha, M. and F. Licausi. 2010. Glycolysis and tricarboxylic are linked by alanine aminotransferase during hypoxia induced by waterlogging of *lotus japanicus* L. Plant Physiol. 152:1501-1513.

Sánchez, C., G. Tortosa, A. Granados, A. Delgado, E. Bedmar and J. Delgado. 2011. Involvement of Bradyrhizobium japonicum denitrification in symbiotic nitrogen fixation by soybean plants subjected to flooding. Soil Biol. Biochem. 43: 212–217.

Visser, E. J.W and L.A.C.J. Voesenek. 2004. Acclimation to soil flooding sensing and signal-transduction. Plant Soil. 244: 197 – 214.

Yin, D., S. Chen, F. Chen. Z. Guan and W. Fang. 2009. Morphological and hysiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging. Environ. Exp. Bot. 67: 87-93.

Youn. J., V. Kyujun, W. Kim, H. Yun, Y. Kwon, Y. Ryu and S. Lee. 2008. Waterlogging Effects on Nitrogen Accumulation and N2 Fixation of Supernodulating Soybean Mutants. J. Crop Sci. Biotechnol. 11 (2): 111-118

Zhou, W. and X. Lin. 1995. Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and seed yield of winter rape (*Brassica napus* L.). Field Crops Res. 44: 103-110.

Effect of flooding in the reproductive stage and fertilization methods on growth and biological nitrogen fixation in soybeans

M. Khadempir[1], S. Galeshi[1], A. Soltani[1], F. Ghaderifar[1]

Recievd: 2014-12-8 Accepted: 2015-3-12

Abstract

To study the effect of waterlogging stress on dry matter accumulation, leaf area, number and diameter of nitrogen fixation nodules in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivar DPX. an experiment was done at the University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gorgan. The experiment was conducted in a completely randomized design in factorial with two factors. Factors included nutritional levels at three levels: inoculated with bacteria *Japonicum bradyrhizobium* , non-inoculated plus 150 kg/ha urea fertilizer and non-inoculated without nitrogen fertilizer. The second factor was flooding stress periods (0, 5, 10 and 15 days). Flooding of soybean plants was in the reproductive growth stage (R2). The results showed duration of flooding leaf surface and leaf dry weight were reduced by an average of 55% compared to control and root dry weight and root volume were increased by an average of 10 percent. Inoculation with bacteria form nodules without fertilizer. With increasing duration of flooding stress nodule per plant, nodule diameter and nodule dry weight decreased. Nitrogen fertilizer application and non-inoculated resulted into minimal impact from the flooding stress. Flooding stress had the greatest impact in non-inoculated without fertilizer treatment. The results indicate that it is desirable if soybean is fed by nitrogen fertilizer at an optimal levels will be less damage from flooding period. Also, the results showed significant flooding periods reduces nitrogen-fixing nodules on soybean.

Key words: Stress flooding, nitrogen nutrition, inoculated with bacteria, leaf area, soybean

1- Department of Agronomy and Crop Breeding, Gorgan University of Agricultural and Natural Resources Sciences, Gorgan, Iran