

Effect of Waterlogging Stress on Yield and Yield Components and Photosynthetic Characteristics of Two Mung Bean Cultivars in Ahvaz Conditions

Seyed Bashir Fazeli¹, Afrasyab Rahnama^{2*} , Payman Hassibi³

- 1- M.Sc. Graduate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Citation: Fazeli, S. B., Rahnama, A., & Hassibi, P. (2022). Effect of waterlogging stress on yield and yield components and photosynthetic characteristics of two Mung bean cultivars in Ahvaz conditions. *Plant Productions*, 45(1), 95-108.

Abstract

Introduction

Mung bean (*Vigna radiata* L.) is one of the most important legumes in the world. This nitrogen-stabilizing plant has rapid growth and a short growth period, leading to improved soil fertility. Mung bean is widely cultivated in tropical and subtropical regions of Asia due to its high adaptation range. Plants are obligate aerobic organisms and thus depend on O₂ to grow and compete successfully with neighbouring plants in natural environments. Waterlogging stress is one of the most important factors limiting the planting of mung bean under Ahvaz conditions.

Materials and Methods

In order to study the effects of waterlogging stress on some agronomic and physiological characteristics of two Mung bean cultivars, a pot experiment was conducted as split factorial in a completely randomized block design with three replications in the field. The main plots were different growth stages consisted of vegetative growth stage, the beginning of flowering, grain filling stage, and three growth stages. The combination of stress levels (control and waterlogging stress) and two Mung bean cultivars (Hindi and Omrani) were as subplots.

* **Corresponding Author:** Afrasyab Rahnama
E-mail: a.rahnama@scu.ac.ir

Results and Discussion


Waterlogging was caused to decrease significantly dry matter and grain yield in both cultivars at each growth stages, In Hindi cultivar, the highest grain yield reduction was observed at flowering stage and the least difference was observed in waterlogging stress at all three growth stages. In Omrani cultivar, the highest grain yield reduction was observed in waterlogging stress at all three growth stages, and the least grain yield decrease at flowering stage. Overall, the reductions in dry weight and grain yield were higher in Omrani than Hindi cultivar at three growth stages. Therefore, in stress-prone areas such as Ahvaz where summer plants such as Mung bean are exposed to waterlogging stress at different growth stages, Hindi cultivar is suggested for cultivation. Waterlogging stress did not show a significant effect on grain weight and grain number per pod, but significantly reduced the number of pods per plant. The number of pods per plant was significantly more important in determining yield and had a positive and significant correlation ($r = 0.846^{**}$) with grain yield. The reason of difference between two cultivars was the better physiological compatibility of Hindi cultivar under stress conditions, including higher levels of photosynthesis and photosynthetic pigments contents. When plants were treated only with waterlogging stress in one growth stage, the Omrani cultivar could compensate some damages due to its indeterminate growth and phenological flexibility, as the period of pod formation was longer in this cultivar. SPAD value had the highest correlation with grain yield ($r=0.707^{**}$) compared to other photosynthesis-related traits and could be used as a marker trait for selection of tolerant cultivars because of its ease, speed, cheapness and the possibility to measure this trait in the field.

Conclusion

The results indicated that mung bean yield decrease in response to waterlogging stress, depending on growth stages, and experimental duration. The reductions in grain yield was impacted by the growth stage subjected to waterlogging stress. Moreover, the Hindi cultivar seems to be more tolerant to waterlogging in Khuzestan region.

Keywords: Abiotic stress, Grain yield, Photosynthetic, Ratestomatal conductance

اثر تنش غرقابی بر عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های فتوسنتزی دو رقم ماش در شرایط اهواز

سید بشیر فاضلی^۱، افراسیاب راهنما^{۲*} , پیمان حسینی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش غرقابی بر برخی ویژگی‌های فتوسنتزی و زراعی ماش، پژوهشی گلدانی مزرعه‌ای به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در تابستان سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. مراحل مختلف رشدی شامل رشد رویشی، ابتدای گلدهی، پر شدن دانه و هر سه مرحله رشدی در کرت اصلی و شرایط بدون تنش و تنش غرقابی و نیز دو رقم هندی و عمرانی ماش در کرت فرعی قرار گرفتند. تنش سبب کاهش وزن خشک و عملکرد دانه شد. این کاهش برای رقم هندی در مرحله رشد رویشی به ترتیب ۴۵ و ۳۷ درصد، ابتدای گلدهی به ترتیب ۶۶ و ۶۸ درصد، پر شدن دانه به ترتیب ۴۴ و ۴۸ درصد و هر سه مرحله رشدی به ترتیب ۳۹ و ۴۱ درصد و برای رقم عمرانی در مرحله رشد رویشی به ترتیب ۶۰ و ۶۰ درصد، ابتدای گلدهی به ترتیب ۵۱ و ۴۴ درصد، پر شدن دانه به ترتیب ۴۶ و ۴۵ درصد و هر سه مرحله رشدی به ترتیب ۶۹ و ۵۸ درصد بود. به طور کلی تنش غرقابی منجر به کاهش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، محتوای کلروفیل و عدد اسپد در هر دو رقم شد. در تیمارهای تنش در هر مرحله رشدی به صورت منفرد، رقم عمرانی به دلیل نامحدود رشد بودن و انعطاف پذیری فنولوژیکی و طولانی‌تر بودن مدت زمان تشکیل غلاف‌ها توانست تا حدودی آسیب ناشی از تنش را جبران کند. بنابراین در خوزستان که گیاهان تابستانه مانند ماش با شرایط غرقابی در مراحل مختلف رشدی روبرو می‌شوند، رقم هندی برای کشت مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: تنش غیرزیستی، سرعت فتوسنتز، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

گیاه ماش (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) یکی از مهم‌ترین حبوبات دنیا محسوب می‌شود. دانه‌های آن حاوی ۶۱ تا ۶۳ درصد کربوهیدرات، ۲۴ تا ۲۶ درصد پروتئین خام، ۱/۱ تا ۱/۶ چربی و ۳/۴ تا ۴ درصد خاکستر می‌باشد (Varma et al., 2018). این گیاه تثبیت‌کننده نیتروژن، دارای رشد سریع و طول دوره رشد کوتاهی است و منجر به افزایش درآمد کشاورزان و بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود. گیاه ماش به دلیل دامنه سازگاری بالا به‌طور گسترده در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری قاره آسیا کشت می‌شود (Poehlman, 1991). علی‌رغم دامنه سازگاری وسیع، این گیاه به دلیل وجود تنش‌های زیستی و غیرزیستی مختلف دارای پتانسیل عملکرد پایینی است (Chotechuen, 1996). یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم کاهنده عملکرد دانه ماش در مناطق تحت کشت این گیاه، تنش غرقابی می‌باشد که باعث کاهش رشد و عملکرد محصول می‌شود (Singh and Singh, 2011). تنش غرقابی به‌طور رایج در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری به دلیل بارندگی‌های فصلی طولانی مدت اتفاق می‌افتد و عملکرد گیاهان زراعی را به شدت کاهش می‌دهد. عواملی مانند بافت سنگین خاک، عدم زهکشی مناسب، عدم تسطیح مناسب اراضی کشاورزی، بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، وجود لایه‌های سخت نفوذ ناپذیر و آبیاری سطحی موجب ایجاد تنش غرقابی در زمین‌های کشاورزی می‌شود. طول دوره، سطح ماندابی خاک و مراحل مختلف رشدی گیاه در طی شرایط غرقاب از جمله عوامل مهم مؤثر بر کارایی گیاه در شرایط تنش غرقابی هستند. فرآیندهای تحمل به تنش غرقابی علاوه بر سازوکارهای مولکولی و فیزیولوژیکی و شبکه‌های پیچیده مربوط به آن به برخی صفات مورفولوژیکی و آناتومیکی نیز وابسته است (Pierdomenico et al., 2011). گیاه ماش دارای تحمل پایینی به تنش غرقابی به ویژه در مراحل اولیه رشد است (Singh and Singh, 2011). مشخص شده عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ماش در شرایط تنش غرقابی و در مرحله‌ی رشد رویشی به شدت کاهش می‌یابد و سایر واکنش‌های فیزیولوژیکی و رشدی گیاه تحت تأثیر این تنش قرار می‌گیرند. بدیهی است گیاهان زراعی برای انجام

فرآیندهای فتوسنتز و تنفس به تبادل گازهای اتمسفری نیاز دارند. بنابراین شرایط غرقابی، غلظت اکسیژن اطراف ریشه گیاهان تحت تنش غرقابی را کاهش می‌دهد و فعالیت گره و در نتیجه تثبیت نیتروژن را محدود می‌کند (Kumar et al., 2013). هم‌چنین این تنش، رشد و عملکرد گیاه را از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله بازداری فتوسنتز کاهش می‌دهد (Ahmad et al., 2000). شرایط ماندابی منجر به تخلیه اکسیژن موجود در ریزوسفر شده و خاک دچار کاهش اکسیژن (Hypoxia) و یا فقدان اکسیژن (Anoxia) می‌شود. فقدان دسترسی به اکسیژن منجر به کاهش فتوسنتز و تنفس هوازی شده و در نتیجه منجر به کاهش کربوهیدرات، انرژی، محدودیت رشد و تغییر نمو گیاه می‌شود (Bailey- Voesenek, 2008). اگرچه، اغلب گیاهان از طریق تغییر متابولیسم و یا تغییر در مورفولوژی و آناتومی تنش کمبود اکسیژن را تا حدودی تحمل می‌کنند. کاهش معنی‌دار عملکرد سایر گیاهان در اثر تنش ماندابی در شرایط آب و هوایی اهواز در مطالعات پیشین نیز مشاهده شده است (Soltanzadeh et al., 2012; Khalafi et al., 2013).

به نظر می‌رسد گیاه ماش مناسب کاشت در مناطق مرطوب و دارای بارندگی‌های سنگین سالیانه نباشد، با این حال، به دلیل وجود اطلاعات ناچیز در مورد واکنش‌های رشدی و فیزیولوژیکی ماش به خاک‌های غرقاب به‌ویژه در مناطق گرمسیری کشور، هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر تنش غرقابی بر برخی ویژگی‌های زراعی و واکنش‌های فیزیولوژیکی دو رقم ماش در مراحل مختلف رشدی و در شرایط آب و هوایی اهواز بوده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش گلدانی مزرعه‌ای در تابستان سال ۱۳۹۵ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتور اول مراحل مختلف رشدی گیاه ماش شامل (مرحله رشد رویشی (مرحله ۴ برگ)، ابتدای گلدهی (مشاهده اولین گل روی ساقه اصلی در ۵۰ درصد بوته‌ها)، مرحله پر شدن دانه (اولین نیام بر روی ساقه اصلی در بوته‌های مزرعه دارای دانه‌ای به قطر ۳ میلی‌متر) و هر سه مرحله

در آن با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و سپس میزان عملکرد بیولوژیک عملکرد دانه و اجزای آن شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در هر غلاف، تعداد دانه در هر بوته و وزن صد دانه اندازه‌گیری شد. پس از اعمال تنش در هر مرحله رشدی، جهت اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق از دستگاه تحلیل‌گر مادون قرمز (LCA-4-UK) استفاده شد. هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Delta-T AP4 Devices, UK)، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها بر روی دو بوته در هر واحد آزمایشی بین ساعات ۹:۳۰ تا ۱۱ صبح بر روی قسمت میانی پهنک برگچه وسط آخرین برگ توسعه یافته صورت گرفت. برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502) یک هفته پس از اعمال تنش استفاده شد. قرائت‌ها بر روی سه نقطه از برگ انجام و میانگین‌ها ثبت شد. به‌منظور سنجش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز از روش لیختن تالر (Lichtenthaler, 1987) استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نشان داد که برهم‌کنش تنش، ارقام و مراحل مختلف رشدی از نظر این دو صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش غرقابی منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک و به دنبال آن عملکرد دانه در همه مراحل رشدی در هر دو رقم شد (شکل‌های ۱ و ۲). در رقم هندی بیشترین کاهش عملکرد دانه در مرحله گلدهی و کمترین اختلاف در اعمال تنش در هر سه مرحله مشاهده شد. در رقم عمرانی نیز بیشترین کاهش عملکرد دانه (۶۹ درصد) هنگام مواجهه گیاه با تنش در هر سه مرحله و کمترین کاهش عملکرد دانه در مرحله گلدهی مشاهده شد (شکل ۱). به عبارتی، در زمان وقوع تنش غرقابی در مرحله رشد رویشی رقم هندی، و در زمان وقوع تنش غرقابی در مرحله گلدهی رقم عمرانی دارای عملکرد بیشتری بود، و در زمان وقوع تنش غرقابی در مرحله پر شدن دانه تفاوت

رشدی بود. اعمال تنش در هر سه مرحله در کرت‌های اصلی، و ترکیب دو سطح تنش شامل بدون تنش (شاهد) و تنش غرقابی و دو رقم هندی و عمرانی ماش در کرت‌های فرعی قرار گرفت. بذور سالم، هم اندازه پس از ضدعفونی در جعبه‌های پلاستیکی به ابعاد ۳۰ سانتی‌متر ارتفاع، ۴۵ سانتی‌متر عرض، ۶۵ سانتی‌متر طول، و در دو خط کاشت به فاصله ۱۵ سانتی‌متری از هم به صورت خطی و در عمق ۴ سانتی‌متر کشت شدند. هر جعبه به‌عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. فاصله جعبه‌ها از هم حدود ۵ تا ۷ سانتی‌متر بود. این آزمایش شامل ۴۸ واحد آزمایشی و تعداد نهایی بوته‌ها در هر واحد آزمایشی ۱۶ بوته در نظر گرفته شد. وزن خاک هر گلدان حدود ۶۰ کیلوگرم و مساحت سطح گلدان‌ها ۲۹۲۵ سانتی‌متر مربع بود. پس از نتایج آزمون خاک، میزان کود فسفر، پتاسیم و نیتروژن (فقط به‌صورت پایه) موردنیاز برای هر گلدان به‌ترتیب به میزان ۵ گرم سوپرفسفات تریپل، ۴ گرم سولفات پتاسیم و ۳ گرم اوره به‌صورت نواری در وسط گلدان‌ها و در عمق ۷ سانتی‌متری قرار داده شدند. در شرایط تنش غرقابی، سطح آب به گونه‌ای تنظیم شد که حدود ۲ الی ۳ سانتی‌متر از ارتفاع ساقه در شرایط غرقاب قرار گیرد. تنش غرقابی به مدت ۲۴ ساعت اعمال گردید. جعبه‌های پلاستیکی پس از کاشت در فضای باز مرزعه نگهداری شدند و برای اعمال تنش غرقابی، ابتدا با استفاده از پلاستیک‌های ضخیم قسمت بیرونی جعبه‌های پلاستیکی به‌طور کامل عایق شد و سپس با افزودن آب، شرایط لازم برای فراهم آوردن تنش غرقابی ایجاد شد و در پایان تیمار تنش، پلاستیک‌ها به‌طور کامل جدا شدند. تعیین مدت زمان اعمال تنش به وسیله دو پیش‌آزمایش صورت گرفت، به گونه‌ای که تنش غرقابی منجر به مرگ گیاهان نشود. در هر دو پیش‌آزمایش دو رقم ماش هندی و عمرانی به مدت ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۷۲ ساعت در مرحله چهار برگی تحت تنش غرقابی قرار گرفتند و فقط گیاهانی قادر به بقا بودند که ۲۴ ساعت تحت تنش غرقابی قرار گرفته بودند. در پایان فصل رشد و پس از رسیدن فیزیولوژیک دانه‌ها، ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی برداشت شد و به مدت ۴۸ ساعت

Table 1. Analysis of variance for yield and yield components of two mung bean cultivars after exposure to waterlogging stress at different growth stages

Source of variance	df	Mean square						
		Biological yield	Grain yield	Harvest index	Number of grains per plant	100 grain weight	Number of grains per pod	Number of pods per plant
Block	2	5.64*	2.91**	0.18 ^{ns}	38.95*	0.73 ^{ns}	0.36 ^{ns}	6.22**
Growth stage (A)	3	0.52 ^{ns}	0.27*	0.039 ^{ns}	0.67 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.23 ^{ns}
Error a	6	0.79	0.12	0.044	6.26	0.64	0.89	0.25
Stress (B)	1	49.47**	18.48**	0.04 ^{ns}	375.25**	0.068 ^{ns}	1.52**	41.42**
Cultivar (C)	1	0.35 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.03 ^{ns}	90.21**	15.24**	0.18 ^{ns}	8.19**
B × A	3	0.41 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.028 ^{ns}	6.91 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.55 ^{ns}
C × A	3	0.07 ^{ns}	0.094 ^{ns}	0.032 ^{ns}	6.35 ^{ns}	0.33 ^{ns}	1.03*	0.13 ^{ns}
C × B	1	0.003 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.027 ^{ns}	13.35**	0.131 ^{ns}	1.32*	0.25 ^{ns}
C × B × A	3	1.27*	0.34*	0.056 ^{ns}	7.12*	1.18 ^{ns}	0.67 ^{ns}	0.67*
Error b	24	0.32	0.073	0.024	2.52	0.44	0.38	0.32
CV(%)		17.15	27.28	14.61	25.94	22.17	15.53	23.14

ns: Non-significant, ** and *: significant at 0.01 and 0.05 probability levels.

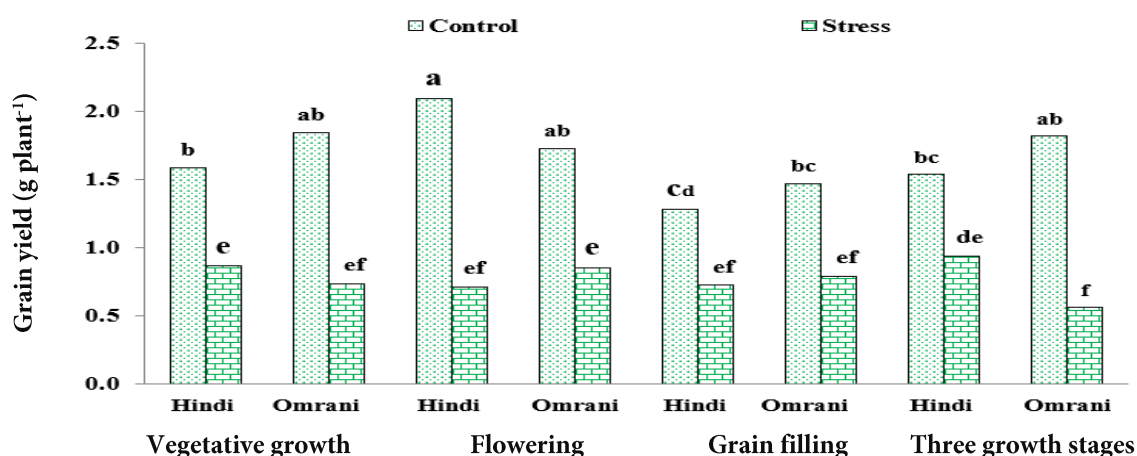


Figure 1. Effect of waterlogging stress at different growth stages on grain yield of two mung bean cultivars

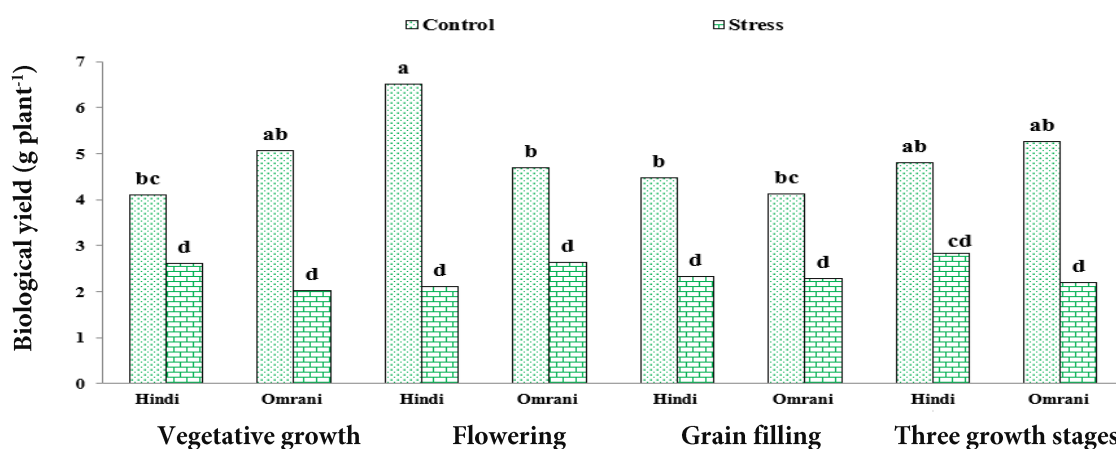


Figure 2. Effect of waterlogging stress at different growth stages on biological yield of two mung bean cultivars

چندانی بین دو رقم مشاهده نشد. در شرایطی که گیاهان در هر سه مرحله دچار تنش غرقابی شدند رقم هندی به صورت معنی داری دارای عملکرد بیشتری نسبت به رقم عمرانی بود (شکل ۱). نکته حائز اهمیت این بود که، در مناطق مستعد ایجاد تنش غرقابی و در مورد گیاهان تابستانه‌ای مانند ماش، گیاه ممکن است در تمام مراحل رشدی (در هنگام آبیاری) دچار تنش غرقابی شود، پس بایستی در انتخاب رقم دارای ثبات بیشتر عملکرد در این شرایط دقت کرد. به طور کلی مشخص شده که تنش غرقابی در صورت عدم مرگ گیاه می‌تواند منجر به کاهش معنی دار عملکرد دانه گیاه ماش شود (Rafiqul Islam et al., 2008; Kumar et al., 2013).

هیچ یک از فاکتورهای مرحله رشدی، تنش و رقم موجب اختلاف معنی دار در شاخص برداشت نشد (جدول ۱)، ولی شاخص برداشت بر اثر تنش غرقابی اندکی کاهش یافت (جدول ۲). در پژوهش‌های دیگری روی گیاه ماش تحت تنش غرقابی نیز بین گیاهان شاهد و گیاهان تحت تنش تفاوت معنی داری در شاخص برداشت و وزن دانه‌ها مشاهده نشد و فقط بین ارقام تفاوت معنی دار وجود داشت، ولی در سایر اجزای عملکرد تفاوت بین گیاهان تحت تنش غرقابی و گیاهان شاهد معنی دار بود (Selina et al., 2002; Rafiqul Islam et al., 2008). میان اجزای عملکرد تنش غرقابی اثر معنی داری بر تعداد دانه در غلاف و وزن دانه‌ها نداشت (جدول ۱)، ولی باعث کاهش معنی دار تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته شد (جدول ۲). وزن صد دانه دو رقم در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). تنش غرقابی اثر معنی داری بر وزن صد دانه نداشت. اگرچه وزن دانه از

خصوصیات ذاتی رقم است ولی با این حال می‌تواند تحت تأثیر شرایط محیطی نیز قرار گیرد. رقم هندی دارای دانه‌های سنگین‌تر و تعداد کمتر ولی رقم عمرانی دارای دانه‌های سبک‌تر و تعداد بیشتر بود (جدول ۲). تنش غرقابی منجر به کاهش تعداد دانه در بوته در هر دو رقم شد ولی این کاهش در رقم عمرانی به مراتب شدیدتر بود (شکل ۳). در بین اجزای تشکیل دهنده تعداد دانه در بوته، تنش غرقابی باعث کاهش معنی دار تعداد دانه در غلاف نشد (جدول ۱)، ولی به صورت معنی داری باعث کاهش ۴۷ درصدی تعداد غلاف در بوته شد (جدول ۲). در واقع کاهش تعداد دانه در بوته مرتبط با کاهش شدید تعداد بوته در غلاف بود.

در تعیین عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته از اهمیت به مراتب بیشتری برخوردار بود و همبستگی مثبت و معنی داری ($r=0.846^{**}$) با عملکرد دانه داشت. اهمیت بیشتر تعداد غلاف در بوته نسبت به تعداد دانه در غلاف، در پژوهش‌های دیگری بر روی گیاه ماش تحت تنش غرقابی نیز مشاهده شده است (Kumar et al., 2013).

ویژگی‌های فتوسنتزی

هدایت روزنه‌ای به طور معنی داری تحت تأثیر تنش غرقابی و مراحل رشدی قرار گرفت (جدول ۳) و اعمال تنش غرقابی سبب کاهش معنی دار هدایت روزنه‌ای شد (جدول ۴) و این کاهش در مرحله گلدهی به مراتب بسیار شدیدتر از سایر مراحل رشدی بود (شکل ۴). اعمال تنش غرقابی در هر یک از مراحل رشدی باعث کاهش معنی دار سرعت فتوسنتز در هر دو رقم شد، ولی هنگامی که بوته‌های ماش در هر سه مرحله تحت تنش غرقابی قرار گرفتند این کاهش فقط در رقم عمرانی معنی دار بود (شکل ۵).

Table 2. Mean comparison of yield and yield components for two mung bean cultivars after exposure to waterlogging stress at different growth stages

		Means						
		Biological yield (g plant ⁻¹)	Grain yield (g plant ⁻¹)	Harvest index (%)	Number of grains per plant	100 grain weight (g)	Number of grains per pod	Number of pods per plant
Growth stage	Vegetative growth	3.45a	1.26a	36.2a	27.49a	5.31a	7.24a	3.76a
	Flowering	3.98a	1.35a	33.7a	26.50a	5.22a	6.85a	3.93a
	Grain filling	3.30a	1.07b	32.1a	25.03a	4.77a	6.55a	3.85a
	Three stages	3.77a	1.21a	32.1a	26.87a	5.01a	7.20a	3.62a
Stress	Control	4.879a	1.674a	34.2a	35.95a	5.15a	7.22a	4.96a
	Waterlogging stress	2.373b	0.774b	32.8a	16.99b	5.00a	6.70a	2.62b
Cultivars	Hindi	3.72a	1.220a	32.6a	21.33b	5.87a	6.86a	3.27b
	Omrani	3.53a	1.228a	34.4a	31.61a	4.29b	7.05a	4.31a

Means followed by the same letter for each trait are not significantly different ($P = 0.05$), according to LSD Test.

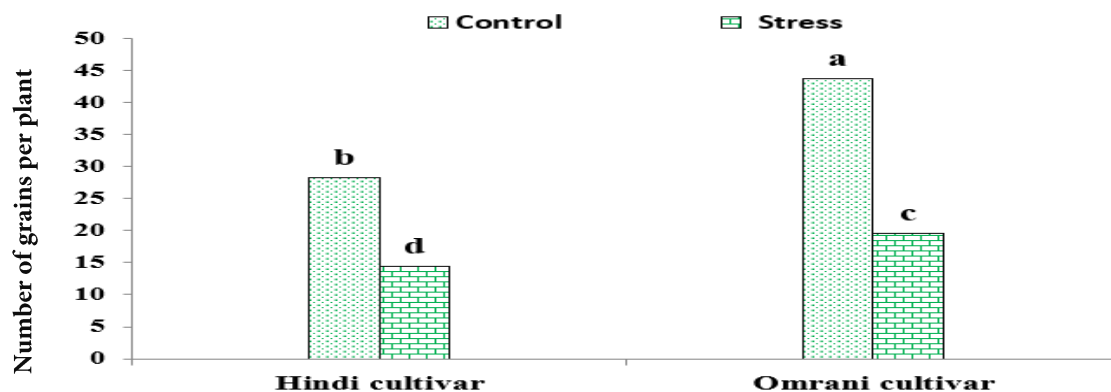


Figure 3. Effect of waterlogging stress on number of grains per plant of two mung bean cultivars

Table 3. Analysis of variance for photosynthetic characteristics of two mung bean cultivars after exposure to waterlogging stress at different growth stages

Source of variance	df	Mean Square					SPAD value
		Stomatal conductance	Photosynthetic rate	Transpiration rate	Total chlorophyll concentration	Carotenoid concentration	
Block	2	0.000218 ^{ns}	0.87 ^{ms}	1.42 ^{ns}	0.0048 ^{ns}	0.058 ^{ns}	0.36 ^{ns}
Growth stage (A)	3	0.039 ^{**}	54.44 ^{**}	36.52 ^{**}	0.098 ^{**}	0.327 ^{**}	1.24 [*]
Error a	6	0.0021	2.77	1.53	0.0018	0.0156	0.166
Stress (B)	1	2.261 ^{**}	139.5 ^{**}	9.36 ^{**}	0.013 ^{**}	0.00016 ^{ns}	11.4 ^{**}
Cultivar (C)	1	0.00065 ^{ns}	3.80 ^{ns}	3.28 [*]	0.0045 ^{ns}	0.030 ^{ns}	0.17 ^{ns}
B × A	3	2.0597 ^{**}	1.41 ^{ns}	1.31 ^{ns}	0.01 [*]	0.0408 [*]	0.14 ^{ns}
C × A	3	0.00886 ^{ns}	0.71 ^{ns}	1.77 ^{ms}	0.0018 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.04 ^{ns}
C × B	1	0.00022 ^{ns}	2.09 ^{ns}	1.20 ^{ns}	0.0024 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.038 ^{ns}
C × B × A	3	0.0022 ^{ns}	0.39 ^{ns}	3.48 [*]	0.0036 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.148 ^{ns}
Error b	24	0.00325	1.25	1.206	0.0039	0.0158	0.118
CV(%)		10.28	13.1	19.7	13.33	23.1	5.6

ns: Non-significant, ** and *: significant at 0.01 and 0.05 probability levels.

Table 4. Mean comparison of photosynthetic characteristics of two mung bean cultivars after exposure to waterlogging stress at different growth rates

		Means					
		Stomatal conductance (mol m ⁻² s ⁻¹)	Photosynthetic rate (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Transpiration rate (mol m ⁻² s ⁻¹)	Total chlorophyll concentration (mg g ⁻¹)	Carotenoid concentration (mg g ⁻¹)	SPAD value
Growth stage	Vegetative growth	0.386a	92.35a	61.59a	0.357a	0.608a	40.7a
	Flowering	0.268c	31.23b	12.67c	0.216b	0.200c	41.12a
	Grain filling	0.295b	93.74a	29.34b	0.195b	0.303b	37.23ab
	Three stages	0.334ab	105.07a	35.19b	0.153c	0.225bc	32.96b
Stress	Control	0.399a	109.53a	39.26a	0.244a	0.323a	44.01a
	Waterlogging stress	0.243b	51.66b	30.14b	0.217b	0.345a	32.00b
Cultivars	Hindi	0.325a	85.17a	38.03a	0.238a	0.369a	38.76a
	Omrani	0.316a	76.02a	31.37a	0.222a	0.300a	37.24a

Means followed by the same letter for each trait are not significantly different ($P = 0.05$), according to LSD Test.

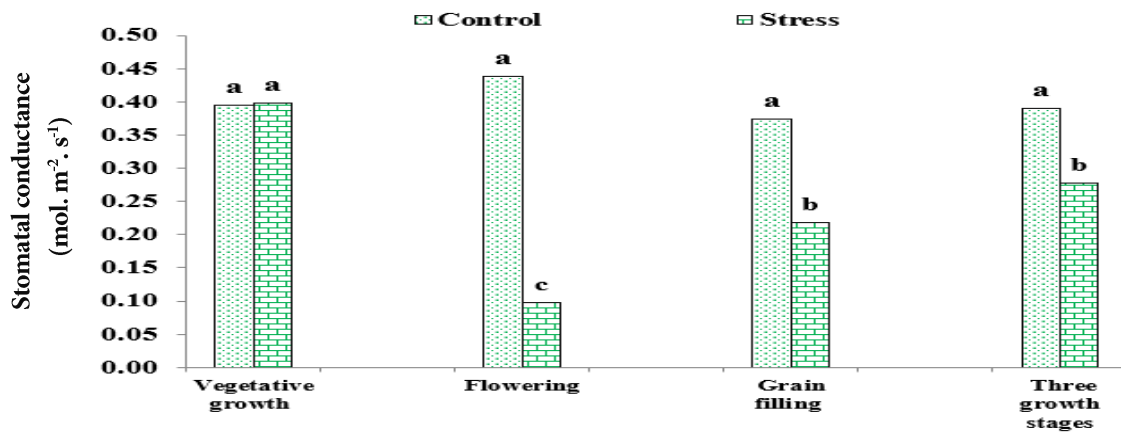


Figure 4. Effect of waterlogging stress at different growth stages on stomatal conductance of two mung bean cultivars

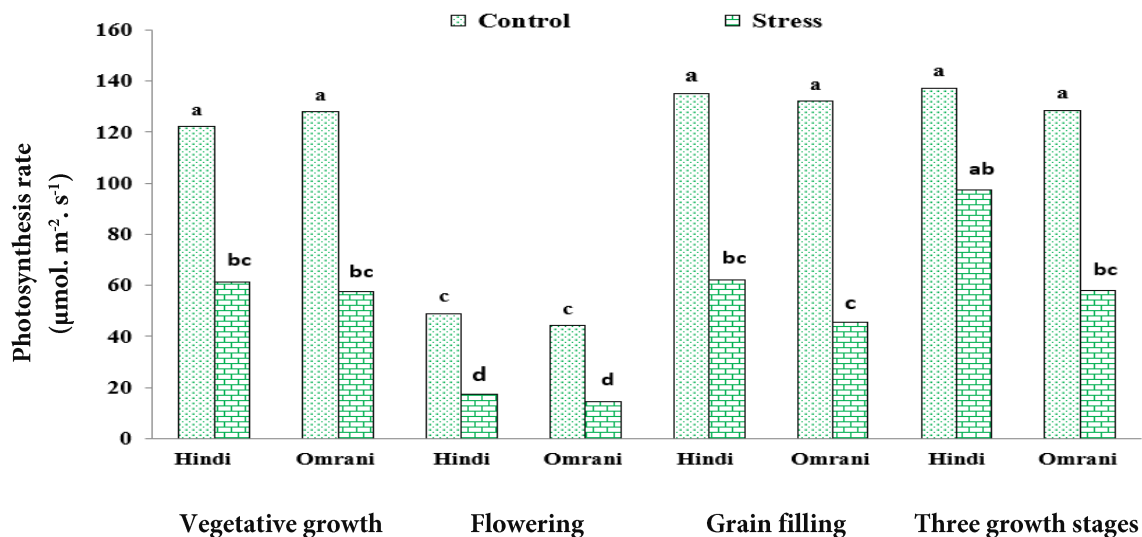


Figure 5. Effect of waterlogging stress at different growth stages on photosynthetic rate of two mung bean cultivars

یک از مراحل رشدی و در هر دو رقم باعث کاهش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای و به تبع آن کاهش سرعت فتوسنتز شد. کاهش فتوسنتز نیز منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک و در نهایت عملکرد دانه گردید. به هر روی، وقوع تنش غرقابی در هر سه مرحله رشدی در رقم عمرانی منجر به کاهش شدید و معنی‌دار سرعت فتوسنتز شد، ولی در رقم هندی کاهش سرعت فتوسنتز ناچیز بود که این امر نشان‌دهنده سازگاری تدریجی در این رقم است (شکل ۵).

هدایت روزنه‌ای دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با سرعت فتوسنتز ($r=0.613^{**}$) بود (جدول ۵)، بدین صورت که بیشترین کاهش سرعت فتوسنتز نیز در مرحله گلدهی مشاهده شد. بدیهی است که یکی از دلایل اصلی کاهش سریع فتوسنتز در شرایط تنش غرقابی، کاهش هدایت روزنه‌ای می‌باشد.

هدایت روزنه‌ای دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه ($r=0.465^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.470^{**}$) بود (جدول ۵). اعمال تنش غرقابی در هر

مطالعات پیشین بر روی ماش (Rafiqul Islam et al., 2008; Ahmad et al., 2000; Kumar et al., 2013) و سایر گیاهان غیرمتحمل (Sena Gomez and Kozlowski, 1980) نیز گزارش شده است. تنش غرقابی باعث کاهش معنی دار غلظت کلروفیل کل نسبت به گیاهان شاهد شد (جدول ۴). تنش غرقابی در هر یک از مراحل مجزای رشدی به تنهایی، باعث کاهش معنی دار غلظت کلروفیل کل نشد، ولی اعمال تنش غرقابی در هر سه مرحله رشدی باعث کاهش معنی دار غلظت کلروفیل کل در مقایسه با شاهد در هر دو رقم شد (شکل ۶). کاهش سرعت فتوسنتز علاوه بر عوامل روزه‌ای، ممکن است ناشی از آسیب‌های متابولیکی از جمله کارایی آنزیم‌های تثبیت کربن، واکنش‌های فوتوشیمیایی فتوسیستم دو، از دست دادن کلروفیل‌ها و مشکلات مربوط به دریافت مناسب نور باشد (Yordanova and popova, 2007). سرعت فتوسنتز گیاه به سطح فعالیت آنزیم رابیسکو وابسته است و توسط دو عامل غلظت دی‌اکسیدکربن برگ و میزان نور دریافتی کنترل می‌شود (Sage et al., 1988). به‌طور کلی با کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن برگ‌ها میزان فعالیت آنزیم رابیسکو کاهش می‌یابد و در پی آن سرعت فتوسنتز کمتر می‌شود (Caemmerer and Edmondson, 1986; Sage et al., 1988).

تنش غرقابی باعث کاهش معنی‌دار سرعت تعرق نسبت به گیاهان شاهد شد و منطبق با نتایج هدایت روزه‌ای، این کاهش در مرحله گلدهی به مراتب بیشتر از سایر مراحل رشدی بود (جدول ۴). انسداد روزه‌ها در شرایط تنش غرقابی به افزایش محتوی اسید آسبزیک برگ نسبت داده شده است (Zhang and Davies, 1987; Jackson and Drew, 1984). بسته شدن روزه‌ها از طریق کاهش سرعت تعرق از دست دادن آب برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد (Bradford and Hsiao, 1982). پارامترهای تبادلات گازی برگ برای مطالعه ظرفیت فتوسنتزی گیاهان در طی مواجهه با تنش غرقابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به جز در موارد اندک و در مورد گیاهان متحمل به تنش غرقابی که دارای سازوکارهای سازگاری پیشرفته‌ای برای حفظ بهتر ظرفیت فتوسنتزی خود در برابر تنش غرقابی هستند (Topa and Cheeseman, 1992; Sena Gomez and Kozlowski, 1980). تنش غرقابی منجر به کاهش معنی‌دار و چشمگیر ظرفیت تبادلات گازی برگ در اکثر گیاهان (حساس) می‌شود، از جمله این گیاهان می‌توان به گندم (Trought and Jackson and Kowalewska, 1980)، لوبیا (Drew; 1980) و گوجه‌فرنگی (Bradford, 1983) اشاره کرد. کاهش سرعت فتوسنتز بر اثر تنش غرقابی در

Table 5. Correlation coefficients between yield, yield components and photosynthetic characteristics of two mung bean cultivars

Row	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1											
2	0.928**	1										
3	0.312**	0.286*	1									
4	0.149**	0.839**	-0.264 ^{ns}	1								
5	0.119 ^{ns}	0.470**	0.007 ^{ns}	0.477**	1							
6	0.797**	0.846**	-0.147 ^{ns}	0.942**	0.373**	1						
7	0.156 ^{ns}	0.296*	-0.318*	0.456**	0.456**	0.145 ^{ns}	1					
8	0.406**	0.347*	0.070 ^{ns}	0.340*	0.031 ^{ns}	0.319*	0.149 ^{ns}	1				
9	0.667**	0.707**	0.177 ^{ns}	0.601**	0.313*	0.619**	0.199 ^{ns}	0.252 ^{ns}	1			
10	0.134 ^{ns}	0.197 ^{ns}	0.199 ^{ns}	0.134 ^{ns}	0.215 ^{ns}	0.097 ^{ns}	0.117 ^{ns}	0.602**	0.179 ^{ns}	1		
11	0.470**	0.465**	0.165 ^{ns}	0.395**	0.108 ^{ns}	0.383**	0.150 ^{ns}	0.613**	0.473**	0.602**	1	
12	0.094 ^{ns}	0.155 ^{ns}	-0.011 ^{ns}	0.185 ^{ns}	0.191 ^{ns}	0.180 ^{ns}	0.030 ^{ns}	0.055 ^{ns}	0.387**	0.380**	0.279 ^{ns}	1

(1) Biological yield

(2) Grain yield

(3) 100 grain weight

(4) Number of grains per plant

(5) Harvest index

(6) Number of pods per plant

(7) Number of grains per pod

(8) Photosynthesis rate

(9) SPAD value

(10) Transpiration rate

(11) Stomatal conductance

(12) Total chlorophyll

n.s.: Non-significant, ** and *: significant at 0.01 and 0.05 probability levels.

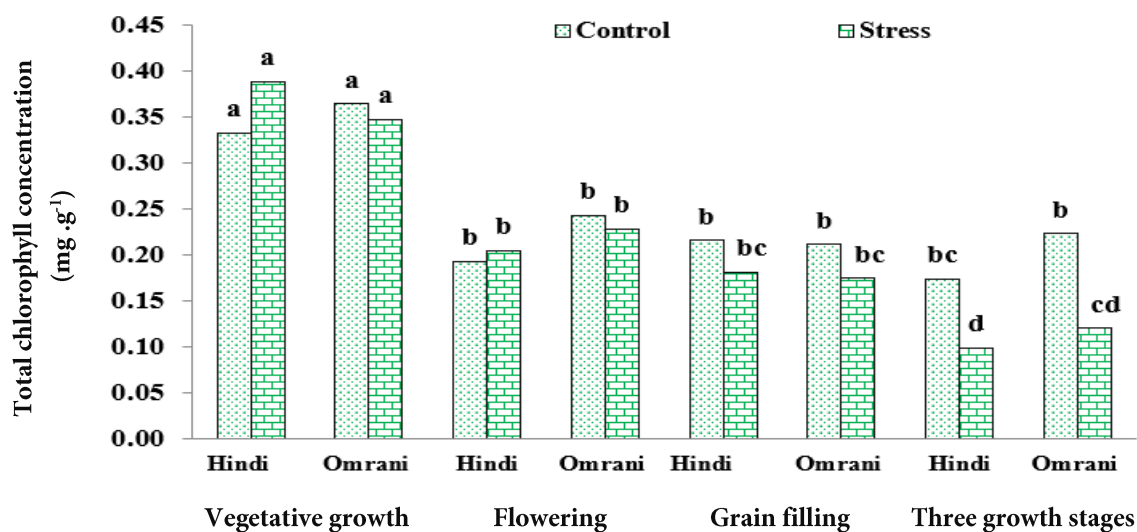


Figure 6. Effect of waterlogging stress at different growth stages on total chlorophyll concentration of two mung bean cultivars

رشدی مجزا به طور تقریباً یکسان سبب کاهش معنی دار وزن خشک و عملکرد دانه هر دو رقم شد، ولی اعمال تنش سه مرحله‌ای سبب کاهش بیشتر وزن خشک و عملکرد دانه در رقم عمرانی در مقایسه با رقم هندی شد که دلیل آن می‌تواند سازگاری فیزیولوژیکی بهتر رقم هندی در این شرایط از جمله حفظ بیشتر میزان فتوسنتز و محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی بوده باشد. اگرچه در شرایط تنش یک مرحله‌ای رشدی گلدهی، رقم عمرانی به دلیل رشد نامحدود بودن و انعطاف‌پذیری فنولوژیکی بیشتر توانست تا حدودی آسیب‌ها را جبران کند، زیرا مدت زمان تشکیل غلاف‌ها در این رقم طولانی‌تر بود. در مجموع در مناطق مستعد تنش غرقابی مانند خوزستان که گیاهان تابستانه نظیر ماش با شرایط تنش غرقابی در مراحل مختلف رشدی در هنگام آبیاری روبرو می‌شوند، با توجه به نتایج این پژوهش رقم هندی برای کشت مناسب‌تر به نظر می‌رسد. در مجموع تنش غرقابی منجر به کاهش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، محتوای کلروفیل و عدد اسپد در هر دو رقم شد.

به منظور بررسی دقیق‌تر و دستیابی به ارقام متحمل به تنش غرقابی پیشنهاد می‌شود ارقام بیشتری مورد آزمایش قرار گیرند هم‌چنین توصیه می‌شود که سطوح طولانی‌تر تنش نیز اعمال شوند تا در صورت

بین مراحل رشدی و تنش غرقاب از نظر عدد اسپد به ترتیب در سطح پنج و یک درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). تنش غرقابی منجر به کاهش معنی‌دار عدد اسپد شد و این کاهش هنگامی که گیاهان در هر سه مرحله دچار تنش غرقابی شدند به صورت معنی‌داری بیشتر بود (جدول ۴). عدد اسپد به عنوان شاخصی از میزان سبزی‌نگی برگ دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه ($r=0.707^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.667^{**}$) نسبت به سایر صفات مرتبط با فتوسنتز بود (جدول ۵) و این امر بر اهمیت شاخص کلروفیل بر میزان تولید ماده خشک و عملکرد دانه دلالت دارد. این شاخص به دلیل سهولت و سرعت اندازه‌گیری در مزرعه و کم هزینه بودن می‌تواند به عنوان یک صفت شاخص برای انتخاب ارقام متحمل نسبت به تنش غرقابی مورد توجه قرار گیرد. زوال رنگدانه‌های فتوسنتزی و به دنبال آن کاهش عدد اسپد و ارتباط آن با عملکرد، تحت تنش غرقابی در سایر گیاهان زراعی نیز به اثبات رسیده است (Tian et al., 2019; Pan et al., 2019).

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان گفت تنش غرقابی حتی در صورت عدم مرگ گیاه ماش، می‌تواند به شدت منجر به کاهش عملکرد شود. تنش غرقابی در هر یک از مراحل

شنی تنش غرقابی به ندرت رخ می‌دهد، بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های مرتبط با تنش غرقابی در هر منطقه صرفاً از خاک همان منطقه جهت اجرای آزمایش استفاده شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات پرسنل دانشکده کشاورزی و حمایت‌های مالی دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای اجرای این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

کشنده بودن در برخی از ارقام تفاوت‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی که سبب افزایش درصد زنده‌مانی ارقام متحمل شده‌اند، مورد شناسایی قرار گیرند.

در این پژوهش از بافت خاک شنی جهت اجرای آزمایش استفاده شد و دلیل آن دقیق‌تر بودن زمان اعمال تنش غرقابی در خاک‌های با بافت سبک می‌باشد، زیرا در صورت استفاده از بافت خاک سنگین مدت واقعی اعمال تنش غرقابی طولانی‌تر خواهد بود. به هر روی ذکر این نکته ضروری است که در شرایط مزرعه در خاک‌های

References

- Ahmed, S., Nawata, E., & Sakuratani, T. (2000). Changes of endogenous ABA and ACC, and their correlations to photosynthesis and water relations in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczak cv. KPS1) during waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*, 57(3), 278-284.
- Bailey-Serres, J., & Voesenek, L. A. (2008). Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 313-339.
- Bradford, K.J. (1983). Effects of soil flooding on leaf gas exchange of tomato plants. *Plant Physiology*, 73(2), 475-479.
- Bradford, K. J., & Hsiao, T. C. (1982). Stomatal behavior and water relations of waterlogged tomato plants. *Plant Physiology*, 70(5), 1508-1513.
- Caemmerer, S. V., & Edmondson, D. L. (1986) The relationship between steady state gas exchange in vivo RuP2 carboxylase activity and some carbon cycle intermediates in *Raphanus sativus*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13(5), 669-688.
- Chotechuen, S. (1996). Breeding of mungbean for resistance to various environmental stresses. In P. Srinives, C. Kitbamroong & S. Miyazaki (Eds), *Mungbean germplasm: Collection, evaluation and utilization for breeding program eds srinives*. Proceedings of the Workshop on Mung bean Germplasm, pp. 52-59.
- Jackson, M. B., & Drew, M. C. (1984). Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In T. Kozlowski (Ed.), *Flooding and plant growth* (pp. 47-128). New York: Academic Press.
- Jackson, M. B., & Kowalewska, A. K. B. (1983). Positive and negative messages from roots induce foliar desiccation and stomatal closure in flooded pea plants. *Journal of Experimental Botany*, 34(142), 493-506.
- Khalafi, M., Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A., Lakzadeh, E., & Fathi, G. (2013). Effects of various periods of water logging surface stress in the different growth stages on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under Khuzestan environment. *Plant Productions*, 36(2), 87-97. [In Farsi]
- Kumar, P., Pal, M., Joshi, R., & Sairam, R. K. (2013). Yield, growth and physiological responses of mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes to waterlogging at vegetative stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 19(2), 209-220.

- Lichtenthaler H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic bio-membranes. S.P. Colowick & N.O. Kaplan (Eds.). *Method in enzymol* (Vol. 48. pp. 350-382). NewYork: Academic press.
- Pan, R., Jiang, W., Wang, Q., Xu, L., Shabala, S., & Hang, W. Y. (2019). Differential response of growth and photosynthesis in diverse cotton genotypes under hypoxia stress. *Photosynthetica*, 57 (3), 772-779.
- Pierdomenico, P., William, A., Laurentius, A., & Voeselek, C.J. (2011). Plants and flooding stress. *New Phytologist*, 190, 269-273.
- Poehlman, J. M. (1991). *The mungbean*. New Delhi: Oxford & IBH. P. 375.
- Rafiqul Islam, M., Abdul Hamid, M., Abdul Karim, M., Moynul Haque, Q., Abdul Khaliq, J., & Uddin, A. (2008). Gas exchanges and yield responses of mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes differing in flooding tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(5), 697-707.
- Sage, R. F. (1990). A model describing the regulation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase, electron-transport, and triose phosphate use in response to light intensity and CO₂ in C₃ plants. *Plant Physiology*, 94, 1728-1734.
- Sage, R. F., Sharkey, T. D., & Seemann, J. R. (1988) The in vivo response of the ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activation state and the pool sizes of photosynthetic metabolites to elevated CO₂ in *Phaseolus vulgaris* L. *Planta*, 174, 407-416.
- Selina, A., Nawata, E., & Sakuratani, T. (2002). Effects of Waterlogging at vegetative and reproductive growth stages on photosynthesis, leaf water potential and yield in mung bean. *Plant Production Science*, 5(2), 117-123.
- Sena Gomes, A. R., & Kozlowski, T. T. (1980). Growth responses and adaptations of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings to flooding. *Plant Physiology*, 66, 267-271.
- Singh, D. P., & Singh, B. B. (2011). Breeding for tolerance to abiotic stresses in mungbean. *Journal of Food Legumes*, 24(2), 83-90.
- Soltanzadeh, M., Lak, S.H., Lakzadeh, E., & Gohary, M. (2012). Evaluation of waterlogging tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in stem elongation stage using waterlogging stress tolerance and sensitive indices. *Plant Productions*, 35(1), 117-128. [In Farsi]
- Tian, L., Bi, W., Xuan, L., Sun, L., & Li. J. (2019). Effects of waterlogging stress on the physiological response and grain-filling characteristics of spring maize (*Zea mays* L.) under field conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(5), 63.
- Topa, M. A., & Cheeseman, J. M. (1992). Effects of root hypoxia and a low P supply on relative growth, carbon dioxide exchange rates and carbon partitioning in *Pinus serotina* seedlings. *Physiologia Plantarum*, 86, 136-144.
- Trought, M. C. T., & Drew, M. C. (1980). The development of waterlogging in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) I shoot and root growth in relation to changes in the concentrations of dissolved gases and solutes in the soil solution. *Plant and Soil*, 54(1), 77-79.
- Varma, A., Mishra, S. P., Tripathi, A., & Shukla, U. K. (2018). Biochemical composition and storage protein profiling of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) cultivars. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 708-713.

Yordanova, R. Y., & Popova, L. P. (2007). Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29(6), 535-541.