

بررسی تاثیر مقادیر مختلف تابش لیزر در شرایط تنش شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.)

سید احمد سادات نوری^{*}، سید محمد مهدی مرتضویان، محسن ابراهیمی، مریم اشرفی جو، الناز حسین زاده
گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۱/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۱/۳۱

چکیده

پس از اثبات تاثیر مثبت تابش لیزر بر خصوصیات گیاهی، امروزه این عامل فیزیکی به عنوان یک محرک غیرزیستی مطلوب، در تحقیقات علمی به طور وسیع استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر، تاثیر تابش سه نوع لیزر (قرمز، مادون قرمز و Nd:YAG) در دو دوز مختلف تابش (یک بار تابش و دو بار تابش لیزر، هر بار به مدت ۱۸۰ ثانیه) بر خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد کلزا در غلظت‌های مختلف شوری (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مول نمک NaCl) مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۸۸ اجرا گردید. آزمون‌های جوانه‌زنی درصد جوانه‌زنی نهایی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه و اندازه گیری عملکرد نهایی در این آزمایش مورد بررسی قرار گرفتند. بذور پرتوتابی نشده به عنوان بذور شاهد تعریف شدند. نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار در جوانه‌زنی بذور و عملکرد گیاه پرتوتابی شده در مقایسه با شاهد بود. در هر دو دور تابش، لیزر Nd:YAG دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی نهایی و عملکرد نسبت به لیزر قرمز و مادون قرمز بود و بطور متوسط دو بار تابش دارای بیشترین تاثیر نسبت به یک بار تابش لیزر بود. نتایج این آزمایشات نشان دهنده تاثیر القایی مثبت تابش لیزر برای تحمل گیاه کلزا نسبت به تنش شوری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پرتوتابی، گیاهچه و عملکرد دانه.

مقدمه

اسمزی با بالا رفتن غلظت یون‌های Na^+ و Cl^- موجب ایجاد تغییر در فشار تورژسانس می‌شود. یون Na^+ با غلظت بالا منجر به تغییر دیپلاریزاسیون غشاء شده که این دیپلاریزاسیون می‌تواند به عنوان علامتی باعث فعال شدن کانال‌های کلسیمی گردد (Ashraf and Harris, 2004). نتایج مطالعه‌ای بر روی کلزا نشان داد که تیمار شوری، باعث افزایش غلظت Na^+ و کاهش تراکم یون‌های K^+ و Ca^{2+} در گیاهچه‌های کلزا می‌شود (Farhoudi and Sharifzadeh, 2006). در برخی خاک‌ها، شوری ناشی از تراکم بالای نمک‌ها است که به صورت ذاتی در بافت این خاک‌ها وجود دارند. اما در مورد خاک‌های کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، شوری خاک

بذور کوچک و کروی شکل کلزا معمولاً حاوی بیش از ۴۰٪ روغن هستند و بقایای حاصل از روغن‌کشی کنجاله ۳۶ تا ۴۴٪ پروتئین دارند. مهمترین گونه در جنس *Brassica* از نظر کیفیت و کمیت محصول، گونه *napus* یعنی همان کلزاست که یک آمفی‌دیپلوئید با والدینی دیپلوئیدی می‌باشد. درصد روغن موجود در این گیاه بالاست، به طوری که میانگین محتوای روغن آن ۴۲٪ و محتوای پروتئین آن حدود ۲۱٪ می‌باشد (Francois, 1994). یکی از مهمترین عوامل محدود کننده کشت این گیاه در سراسر دنیا تنش‌های محیطی است. از تنش‌های محیطی، آن دسته از عواملی که باعث تنش‌های اسمزی در سلول می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Zhang et al., 2001). تنش

باعث تغییرات جهش‌زای جبران ناپذیری در سطح DNA شود (Starzycki et al., 2005). در تحقیقی که با استفاده از لیزر مادون قرمز در زمانهای مختلف تابش (۰، ۱، ۳، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۸۰، ۶۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ ثانیه تابش) بر جوانه-زنی گندم انجام شد مشاهده گردید که پرتوتابی لیزر باعث افزایش درصد جوانه‌زنی شده است (Abu-Elsaoude et al., 2008). به طور کلی، بعد از گذشت سه روز از کاشت، بذوری که برای ۱۲۰۰ ثانیه مورد تابش قرار گرفته بودند، درصد جوانه‌زنی آنها به ۹۳/۳٪ رسید. همچنین برخی از ارقام گندم تحت تابش این لیزر به ۱۰۰٪ جوانه‌زنی فقط با گذشت سه روز از کاشت رسیدند (Dinoev, 2006). در میان مطالعات بسیاری که در مورد کاربرد لیزر در گیاهان انجام شده است، فقدان جزئیات در خصوص دلایل تغییرات حاصل از پرتوتابی در بذور به چشم می‌خورد. عدم وجود دلایل این تغییرات، آنالیز بسیار دشوار میزان انتقال انرژی در سلول‌ها و عدم شناخت عکس‌العمل‌های کلی ترکیب سیستم‌های زیستی تحت تابش است (Salyaev et al., 2007). با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات سابق در این تحقیق تاثیر تابش لیزر بر جوانه‌زنی و عملکرد گیاه کلزا در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۸ در آزمایشگاه فیزیولوژی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل $4 \times 3 \times 2$ (۴ سطح شوری، ۳ نوع لیزر و ۲ دوره مختلف تابش)، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش رقم هایولا ۳۰۸ (Hayola, 308)، از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد که مربوط به آخرین برداشت بود و مورد انبارداری قرار نگرفته بود. تنش شوری با اضافه کردن مقادیر مختلف نمک به آب معمولی (تیمار شاهد)، اعمال گردید. غلظت‌های مختلف نمک در آب آبیاری، شامل چهار سطح صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl بود که در شرایط آزمایشگاهی به محیط پتری‌دیش‌ها اضافه گردید. تیمار تابش لیزر در آزمایشگاه فیزیک پلاسما در دانشکده فیزیک مرکز علوم و تحقیقات، بر بذور اعمال گردید. خصوصیات لیزرهای مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. تنظیمات انتخابی لیزر شامل ۷ جزء است که عبارتند از میز اپتیکی، پایه، میله حامل، گیرنده عدسی، عدسی محدب

بیشتر به دلیل عوامل انسانی مانند استفاده از آب آبیاری با کیفیت پایین است (Sadat Noori et al., 2006). پیشرفت کشاورزی مدرن در گرو اشاعه قوانینی برای استفاده منطقی از منابع طبیعی انرژی است. لازمه این امر انجام یک تحقیق جامع برای دستیابی به روش ایمن سازی گیاه است که افزایش کمیت و کیفیت گیاهان مورد نظر را باعث شود (Podleoeny, 2000). روش‌های بیوفیزیکی با برانگیختگی بیولوژیکی در بذر و گیاه، باعث افزایش توانایی بقای گیاه همراه با افزایش تحمل نسبت به تاثیرات اقلیمی می‌شوند. (Vasilevski et al., 1994) در مطالعات خود از نور لیزر به عنوان یک محرک غیرزیستی استفاده کرده‌اند. طی تحقیقات انجام شده توسط این افراد، تاثیر لیزر بر رشد و نمو گیاه، در نتیجه تحریک انرژی زیستی موجود زنده می‌باشد. در نتیجه، نور لیزر به عنوان عامل برانگیختگی و تحت عنوان "پمپ زیستی" مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی لیزر به عنوان یک منبع انرژی سالم اکولوژیکی که ضامن عملکرد بالا و عدم آلودگی اکولوژیکی است، معرفی می‌شود (Vasilevski, 1991). در علوم کشاورزی، به خصوص در زمینه تولید محصولات، استفاده از روش‌های بیوفیزیکی دستاوردهای مهمی را به همراه داشته است که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره نمود: افزایش جوانه‌زنی بذور از ۲۰٪ تا ۳۵٪، افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور تا ۳۰٪، افزایش ماده موثر ریشه تا ۲۴٪، افزایش ماده سبز از ۱۰٪ تا ۴۵٪، افزایش عملکرد از ۱۰٪ تا ۵۰٪ (به طور میانگین در تمامی گیاهان مورد بررسی)، افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی (خشکی، سرما و غیره) و غیر محیطی (بیماری و آفات)، بهبود کیفیت فاکتورهای تولیدی (پروتئین، قند، ویتامین‌ها و سایر متابولیت‌های مفید دیگر)، تکرار تاثیرات مثبت در هر شرایط خاک و اقلیمی و با استفاده از ارقام مختلف و تولیدات سالم با کیفیت بالاتر، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش درآمد حاصله از کشت گیاهان زراعی (Vasilevski, 2003).

اثرات مثبت پرتو لیزر بر افزایش عملکرد گیاهان مختلفی مانند ۲۰-۱۵٪ برای غلات ۴۰٪، برای سبزیجات، ۲۰٪ برای تنباکو، ۲۰٪ برای خشکاش و ۳۰٪ برای گوجه فرنگی گزارش شده است (Vasilevski, 1991). در استفاده از لیزر، عواملی چون قدرت (توان) لیزر، طول موج و مدت زمان تابش (دوز پرتوتابی) برای کسب تاثیر مطلوب، حائز اهمیت است. انتخاب پارامترهای نامناسب می‌تواند

در پایان هر ۲۴ ساعت تعداد بذور جوانه زده شمارش شد و این کار به مدت ۷ روز ادامه یافت. سپس آزمون‌های درصد جوانه زنی نهایی^۱ (FGP)، متوسط زمان لازم برای جوانه زنی^۲ (MTG) و متوسط جوانه زنی روزانه^۳ (MDG)، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

درصد جوانه زنی نهایی (FGP) از تعداد بذور جوانه زده تقسیم بر تعداد بذور کشت شده و ضربدر ۱۰۰ محاسبه گردید. متوسط زمان لازم برای جوانه زنی (MTG) شاخصی از سرعت و شتاب جوانه زنی محسوب می‌شود و از رابطه [۱] محاسبه می‌شود:

$$MTG = \frac{\sum(nidi)}{\sum ni} \quad [1]$$

در رابطه فوق، di : روز پس از کاشت؛ ni : تعداد بذور جوانه زده در روز di و $\sum ni$ کل تعداد بذور جوانه زده در طی ۷ روز، می‌باشد.

متوسط جوانه زنی روزانه (MDG) شاخصی از سرعت جوانه زنی روزانه می‌باشد که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$MDG = \frac{\text{درصد جوانه زنی نهایی}}{\text{طول دوره آزمایش}} \quad [2]$$

در ادامه تحقیق، گیاهچه‌های حاصل از بذور تیمار شده با لیزر را برای کشت در گلدان‌های حاوی ماسه، رس و خاک برگ به نسبت (۱:۱:۱) آماده کرده و گلدان‌ها در فضای باز قرار گرفتند تا تاثیر شرایط محیطی نیز در عملکرد کانولا بررسی شود. در هر زمانی که نیاز به آبیاری بود از محلول-های نمک با غلظت‌های مختلف استفاده شد. برای محاسبه میزان عملکرد نهایی گیاه، اجزای اصلی عملکرد (تعداد غلاف در هر بوته، تعداد بذر در هر غلاف و وزن هزار دانه) مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت و در نهایت با ضرب میزان این اجزاء عملکرد نهایی به واحد مقدار گرم محصول در هر گلدان ($g.pot^{-1}$) محاسبه شد. جهت انجام تجزیه واریانس داده‌ها در طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی از نرم افزار آماری SAS و به منظور مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، استفاده گردید. نرم افزار Excel 2003 نیز جهت رسم نمودارها مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

در مرحله اول، نتایج مربوط به آزمون تعیین دوز مناسب تابش بیان می‌شود که بذور تنها مورد تابش لیزر قرمز با

(واگرا)، گیرنده دیود لیزر، دیود مورد نظر (Red, Infra, Red, Nd:YAG)، بر گه کاغذی را بر سطح میز اپتیکی به طور ثابت قرار داده به طوری که در راستای عمودی عدسی و دیود باشد. نور تابش شده از دیود بعد از عبور از عدسی به صورت نقطه‌ای بر کاغذ سفید نمایان می‌شود که رنگ این نقطه برای لیزرهای Red, Nd:YAG و Infra-Red به ترتیب قرمز، سبز و بی‌رنگ است. در لیزر Infra-Red برای دیدن نور این لیزر حتماً باید از عینک‌های اپتیکی استفاده شود. استفاده از عینک‌های اپتیکی برای جلوگیری از آسیب-های وارده از لیزر بر چشم بسیار ضروری است. در این پژوهش لیزر به صورت نقطه‌ای و تک‌تک روی بذور در محیط پتری‌دیش تابیده شد همچنین دوز لیزر به عنوان مدت زمان تابش لیزر در نظر گرفته شد.

جدول ۱. خصوصیات لیزرهای مورد استفاده

Table1: The characteristics of used lasers.

نوع لیزر Laser type	Nd:YAG Nd:YAG	قرمز Red	مادون قرمز Infra-red
طول موج (نانومتر) Wavelength (nm)	532	632	980
توان (میلی وات) Power (mW)	75	110	250

به‌منظور تعیین بهترین زمان تابش، ابتدا در یک پیش آزمایش، بذور تحت تابش لیزر قرمز برای مدت صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه قرار گرفتند. سپس بذور تیمار شده با لیزر، برای سنجش آزمون جوانه زنی داخل پتری‌دیش‌ها قرار داده شدند و برای هر بار آبیاری از غلظت‌های مختلف شوری (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl) استفاده گردید. تابش ۱۸۰ ثانیه دارای بهترین تاثیر بر خصوصیات جوانه زنی بود، به همین دلیل در سایر مراحل آزمایشی، بذور به مدت ۱۸۰ ثانیه تابش برای یک بار (دوز اول تابش) و دو بار تابش ۱۸۰ ثانیه به فاصله ۲۴ ساعت (دوز دوم تابش) برای تمامی لیزرها مورد تابش قرار گرفتند که انتخاب این فاصله ۲۴ ساعته بر اساس طرح پیش آزمایش انتخاب شده است. برای انجام آزمون جوانه زنی استاندارد، از هر تیمار ۳ تکرار ۲۵ بذری داخل اطاقک رشد قرار گرفت. نمونه‌ها روی کاغذ صافی مرطوب کشت شدند و سپس در داخل اطاقک رشد ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (AOSA, 1983).

توان ۱۱۰ میلی‌وات در زمان‌های مختلف (صفر، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه) قرار گرفتند. سپس آزمون‌های جوانه‌زنی روی بذور تیمار شده انجام گرفت و از این طریق بهترین زمان لازم برای تابش به دست آمد (جدول ۲). آزمون‌های درصد جوانه‌زنی نهایی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه روی بذور در دوز تابش لیزر، تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ داشتند (جدول ۲). برای انتخاب بهترین دوز تابش مقایسه میانگین-ها با روش دانکن، برای هر چهار دوز (زمان تابش) در هر سه صفت صورت گرفت (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) آزمون‌های جوانه‌زنی کلزا برای دوزهای مختلف تابش لیزر قرمز در غلظت‌های مختلف شوری
Table 2. Analysis of variance (MS) for germination tests of Canola (*Brassica napus* L.), irradiated with different dosages of Red laser under salinity conditions.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Squares)		
		درصد جوانه زنی نهایی FGP [†]	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی MTG	متوسط جوانه زنی روزانه MDC
شوری Salinity	3	15238.02**	253873.25**	310.98**
دوز تابش لیزر Exposure	3	1010.24**	15955.69**	20.61**
دوز×شوری Exposure×Salinity	9	357.45**	4748.19**	7.29**
خطا Error	32	18.92	143.42	11.58
ضریب تغییرات Cv (%)	-	6.63	4.45	6.63

** معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ^{ns} عدم معنی‌داری

*P < 0.05, ** P < 0.01, ^{ns} not significant.

[†] Final Germination Percentage (FGP), Means of Time for Germination (MTG), Mean Daily Germination (MDG)

جدول ۳. مقایسه میانگین تاثیر مقادیر مختلف تابش لیزر قرمز بر صفات جوانه زنی بذور کلزا
Table 3. Mean comparisons of effect of different dosage irradiation of Red laser on germination tests in Canola

دوز تابش Exposure of radiation	درصد جوانه زنی نهایی FGP [†]	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی MTG	متوسط جوانه زنی روزانه MDC
۱۸۰ ثانیه 180 sec	79.16 ± 5.53 A	315.67 ± 24.96 A	11.30 0.79 A
۱۲۰ ثانیه 120 sec	62.5 ± 10.63 B	247.5 ± 42.01 B	8.92 ± 1.51 B
۶۰ ثانیه 60 sec	60.83 ± 10.81 B	242.41 ± 43.44 B	8.69 ± 1.54 B
صفر ثانیه 0 sec	59.58 ± 10.72 B	239.25 ± 43.17 B	8.51 ± 1.53 B

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letter are not significantly different

[†] Final Germination Percentage (FGP), Means of Time for Germination (MTG), Mean Daily Germination (MDG).

لیزر نیز بر تمامی خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد نهایی گیاه تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). طبق گزارش پودنلی (Podleony, 2000)، بذور پرتوتابی شده توسط لیزر دارای جذب سریع‌تر آب هستند، بنابراین فعالیت‌های جوانه زدن آنها سریع‌تر صورت می‌گیرد. هنگامی که تاثیر لیزر بر بذور گندم تحت شرایط تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت نتایج حاصله نشان دهنده افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، شاخص بنیه و وزن تر گیاهچه‌ها بود که این امر به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌هایی چون سوپر اکسیداز دیسموتاز (SOD) و پراکسیداز دیسموتاز (POD) می‌باشد. این امر در نهایت باعث افزایش جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌های تحت تابش، نسبت به تنش خشکی می‌شود (Junlin et al., 2007). همچنین اشرفی‌جو و همکاران (Ashrafijou et al., 2010) نیز تاثیر مثبت لیزر بر مقاومت به شوری در کلزا را به دلیل افزایش محتوای اسید آمینه پرولین در عصاره برگ‌های این گیاه معرفی کرده‌اند.

برای تشخیص بهترین لیزر در هر دوره تابش، مقایسه میانگین برای تیمار لیزر در هر دوره تابش به صورت جداگانه صورت گرفت که نتایج حاصل از دور اول در جدول ۵ نشان داده شده است. در دور اول تابش (یک بار تابش ۱۸۰ ثانیه)، لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات دارای بهترین تاثیر بر خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد نهایی گیاه بود (جدول ۵). لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات باعث ۳۹/۷٪ افزایش درصد جوانه‌زنی نهایی نسبت به بذور شاهد شد. این مقدار برای لیزر قرمز با توان ۱۱۰ میلی‌وات ۲۶/۷۱٪ و برای لیزر مادون قرمز با توان ۲۵۰ میلی‌وات ۱۲/۲۱٪ می‌باشد. اثر لیزر مادون قرمز با توان ۲۵۰ میلی‌وات در این صفت، تفاوت معنی‌داری با شاهد ندارد (جدول ۵). عملکرد نهایی گیاه نیز تحت تابش لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات در دور اول تابش دارای بیشترین مقدار بود. بذوری که تحت تابش این لیزر قرار گرفته‌اند دارای عملکردی ۲/۵ برابر بیشتر از بذور شاهد (عدم لیزر) هستند. لیزر قرمز با توان ۱۱۰ میلی‌وات نیز باعث ۱/۴۶ برابر شدن مقدار عملکرد شده است که این مقدار برای لیزر مادون قرمز با توان ۲۵۰ میلی‌وات ۱/۳۱ برابر نمونه‌های شاهد است.

با توجه به نتایج گروه‌بندی دانکن، مشاهده می‌شود که تمامی زمان‌های تابش لیزر، دارای میانگینی بالاتر از حالت شاهد هستند که این مطلب نشان دهنده تاثیر مثبت پیش تیمار بذور توسط پرتو لیزر است. اثر تیمارهای فیزیکی بر بذور مربوط به میزان پاسخ اورگانیزم به محرک خارجی است. بنابراین بذور باید مقدار انرژی لازم برای فعال شدن مکانیسم واکنش‌ها را دریافت کند. اگر این انرژی به مقدار کافی به بذور نرسد، بذور از انرژی ذخیره شده در سلول‌هایش برای انجام واکنش‌ها استفاده می‌کند. بنابراین انتخاب دوز مناسب برای کلیه تیمارهای فیزیکی به عنوان یک پیش نیاز Podleony and ضروری، باید مورد توجه قرار گیرد (Podleony, 2004). در بین زمان‌های مختلف تابش، تابش ۱۱۰ میلی‌وات در زمان ۱۸۰ ثانیه برای هر سه صفت جوانه‌زنی دارای بیشترین مقدار میانگین می‌باشد و سایر زمان‌های تابش به ترتیب کاهشی (۱۲۰، ۶۰ ثانیه و شاهد)، دارای کمترین مقادیر برای این صفات می‌باشند.

هنگامی که بذور کلزا توسط هر سه نوع لیزر قرمز با توان ۱۱۰ میلی‌وات، مادون قرمز با توان ۲۵۰ میلی‌وات و Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات، تحت تابش دو دور مختلف به صورت ۱۸۰ ثانیه تابش یک بار و دو بار، قرار گرفتند، مشخص شد که شوری بر تمام خصوصیات جوانه‌زنی و عملکرد نهایی گیاه، به طور معنی‌داری تاثیر گذار بوده است (جدول ۴). شوری خاک توسط دو فرآیند بر جوانه‌زنی تاثیر منفی می‌گذارد، هم از طریق بالا بردن پتانسیل اسمزی بذور که باعث اختلال در جذب آب توسط بذور می‌شود و هم از طریق اثرات سمی یون‌های Na^+ و Cl^- که باعث کاهش در متابولیسم‌های بذری می‌گردد. تنش‌های اسمزی و شوری مسئول تاخیر در جوانه‌زنی و تخریب استقرار گیاهچه‌ها می‌باشند. به طور کلی افزایش سطح نمک باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه‌های کلزا می‌شود (Mohammadi, 2009). کاهش در عملکرد دانه گیاه نیز تحت شرایط شوری، به دلیل آسیب دیدن کلروپلاست در اثر تراکم بالای نمک در بافت گیاهی و کاهش فرآیندهای فتوسنتزی و نقصان جذب آب در بافت‌های گیاهی می‌باشد (Flowers and Hajibagheri, 2001).

جدول ۴. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به آزمون‌های جوانه زنی و عملکرد نهایی کلزا تحت تاثیر مقادیر مختلف لیزرهای قرمز، مادون قرمز و Nd:YAG در غلظت‌های مختلف شوری

Table 4. Analysis of variance for germination tests and yield of Canola (*Brassica napus* L.) irradiated with different types of laser at two exposures under salinity conditions.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean of Squares)			
		عملکرد Yield	متوسط جوانه زنی روزانه MDC	متوسط زمان لازم برای جوانه زنی MTG	درصد جوانه زنی نهایی FGP [†]
Shority	3	3.578**	938.15**	97335.64**	23453.81**
Salinity	3	4.482**	64.51**	3857.56**	1612.84**
Laser	1	4.695**	32.66**	1380.16*	816.66**
Exposure	9	0.380**	24.20**	1136.08**	605.01**
Laser×Salinity	3	2.665**	18.38**	1020.69**	459.57**
Exposure ×Salinity	3	0.462**	9.19*	897.75**	229.86*
Laser× Exposure	9	1.100**	17.56**	8094.15**	439.13**
Laser×Exposure×Salinity	64	0.091	2.50	214.85	62.53
Error	-	18.33	11.59	12.255	11.59
ضریب تغییرات Cv (%)	-				

**معنی داری در سطح ۰/۰۱، *معنی داری در سطح ۰/۰۵، ns عدم معنی داری.

*P < 0.05, ** P < 0.01, ns not significant.

[†]Final Germination Percentage (FGP), Means of Time for Germination (MTG), Mean Daily Germination (MDG)

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های خصوصیات جوانه زنی و عملکرد کلزا در تابش دور اول لیزرهای مختلف
Table 5. Mean comparisons of germination tests and yield in Canola exposed once to laser treatment.

عملکرد	متوسط جوانه زنی روزانه MDC	متوسط زمان لازم برای جوانه زنی MTG	درصد جوانه زنی نهایی FGP [†]	انواع لیزر Laser
Yield	mean	min	%	
1.639 ± 0.012 A	11.30 ± 0.79 A	134.41 ± 13.29 A	15.25 ± 1.29 A	Nd:YAG
0.954 ± 0.013 B	8.92 ± 1.51 B	122.08 ± 17.19 B	13.83 ± 1.75 B	قرمز Red
0.861 ± 0.011 B	8.69 ± 1.54 B	109.58 ± 20.01 C	12.25 ± 2.18 C	مادون قرمز Infra-red
0.653 ± 0.013 C	8.51 ± 1.53 B	97.16 ± 20.67 D	10.91 ± 2.31 C	عدم لیزر No-laser

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letter are not significantly different

[†] Final Germination Percentage (FGP), Means of Time for Germination (MTG), Mean Daily Germination (MDG).

مادون قرمز ۱۲/۹۱٪ می‌باشد. در هر دو دور تابش، لیزر قرمز پس از لیزر Nd:YAG دارای بهترین تاثیر بر فاکتورهای جوانه‌زنی می‌باشد. تاثیر مثبت لیزر قرمز بر افزایش جوانه‌زنی بذور مرطوب در سایر گزارشات نیز بیان شده است (Muszynski and Gladyszewska, 2008). نور قرمز فعال کننده گیرنده‌های نوری در فیتوکرومها است که با این عمل باعث بهبود جوانه‌زنی می‌شود (Shichijo et al., 2001). لیزر مادون قرمز نیز با وجود اینکه دارای میانگین پایین‌تری نسبت به سایر لیزرهاست، ولی در تمامی صفات جوانه‌زنی نسبت به بذور شاهد دارای برتری می‌باشد.

در تحقیق حاضر دور تابش لیزر نیز تاثیر معنی‌داری بر فاکتورهای جوانه‌زنی و عملکرد نهایی گیاه داشت (جدول ۳). دور دوم تابش (دوبار تابش لیزر) با تحمیل انرژی بیشتر بر گیاه، تاثیر بهتری بر فاکتورهای مورد بررسی گیاه گذاشته است، به گونه‌ای که در تمامی صفات به طور کلی میانگین دوبار تابش از یکبار بالاتر است (جدول ۷). درصد جوانه‌زنی در یکبار تابش لیزر (شکل ۱) با دوبار تابش لیزر (شکل ۲) در غلظت‌های مختلف شوری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند.

در دور دوم تابش (جدول ۶)، لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات باعث افزایش ۳۱/۲۹٪ جوانه‌زنی نهایی نسبت به نمونه‌های شاهد شده است. این مقدار برای لیزر قرمز با توان ۱۱۰ میلی‌وات ۲۰/۴۰٪ و برای لیزر مادون قرمز با توان ۲۵۰ میلی‌وات ۱۲/۹۱٪ می‌باشد. که در این دور، لیزر قرمز و مادون قرمز با هم تفاوت معنی‌داری ندارند. برای این دور تابشی، عملکرد گیاه در تیمار لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات، ۳/۱۷ برابر تیمار شاهد بود و مقدار عملکرد برای گیاهان تحت تابش لیزرهای مادون قرمز و قرمز به ترتیب ۲/۷۵ و ۱/۸۹ برابر عملکرد گیاهان در تیمار شاهد به دست آمده. در دور دوم تابش، تاثیر لیزر مادون قرمز با توان ۲۵۰ میلی‌وات بیشتر از لیزر قرمز با توان ۱۱۰ میلی‌وات بوده که این امر بر عکس تیمار دور اول است ولی در هر دو دور تابشی تفاوت معنی‌داری بین این دو لیزر مشاهده نمی‌شود.

اگر دو دور تابش برای لیزر Nd:YAG را مورد مقایسه قرار دهیم (جدول ۵ و ۶)، خواهیم دید که دور دوم باعث افزایش ۵/۴۶٪ درصد جوانه‌زنی نهایی نسبت به دور اول تابش این لیزر (به طور میانگین برای تمامی سطوح شوری) شده است. این مقدار برای لیزر قرمز ۶/۶۳٪ و برای لیزر

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های خصوصیات جوانه زنی بذور کلزا در تابش دور دوم لیزرهای مختلف

Table 6. Mean comparisons of germination tests in Canola exposed twice to laser treatment.

انواع لیزر	درصد جوانه زنی نهایی	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی روزانه	عملکرد
Laser	FGP [†]	MTG	MDC	Yield
	---- % ----	---- min ----	---- mean ----	---- g.pot ¹ ----
Nd:YAG	80.41 ± 5.09 A	138.41 ± 12.57 A	16.08 ± 1.01 A	2.071 ± 0.011 A
قرمز	73.75 ± 7.59 B	122.91 ± 16.97 B	14.75 ± 1.51 B	1.235 ± 0.009 B
Red				
مادون قرمز	69.16 ± 8.36 B	122.66 ± 18.20 B	13.83 ± 1.67 B	1.680 ± 0.011 B
Infra-red				
عدم لیزر	61.25 ± 10.92 C	109.58 ± 20.01 C	12.25 ± 2.18 C	0.653 ± 0.013 C
No-laser				

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letter are not significantly different

[†] Final Germination Percentage (FGP), Means of Time for Germination (MTG), Mean Daily Germination (MDG).

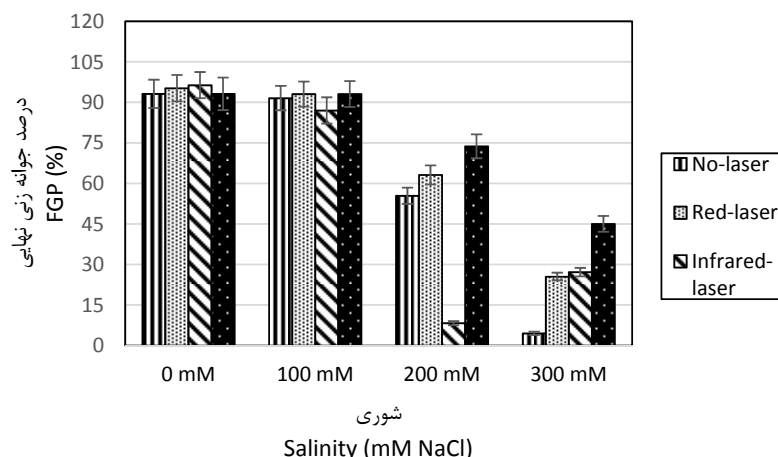
جدول ۷. مقایسه میانگین‌های خصوصیات جوانه زنی و عملکرد نهایی کلزا تحت تابش دوره‌های مختلف تابش لیزر.
Table 7. Mean comparisons of different exposure to radiation on germination tests and yield in Canola.

عملکرد	متوسط جوانه‌زنی روزانه	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی	درصد جوانه زنی نهایی	دوز لیزر
Yield	MDG	MTG	FGP [†]	Dosage of laser
---- g.pot ⁻¹ ----	---- mean ----	---- min ----	---- % ----	
1.662 ± 0.010 A	14.22 ± 1.02 A	123.39 ± 11.54 A	71.14 ± 7.01 A	دو بار تابش 2 period
1.151 ± 0.011 B	13.06 ± 1.58 B	115.81 ± 15.97 B	65.31 ± 6.29 B	یک بار تابش 1 period

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Means with the same letter are not significantly different

[†] Final Germination Percentage (FGP), Means of Time for Germination (MTG), Mean Daily Germination (MDG).



شکل ۱. تاثیر یکبار تابش لیزرهای مختلف بر درصد جوانه‌زنی نهایی در بذور کلزا تحت تیمارهای مختلف شوری. میله‌های عمودی نشان دهنده خطای معیار میانگین مربوط به هر یک از درصد‌های جوانه زنی است.

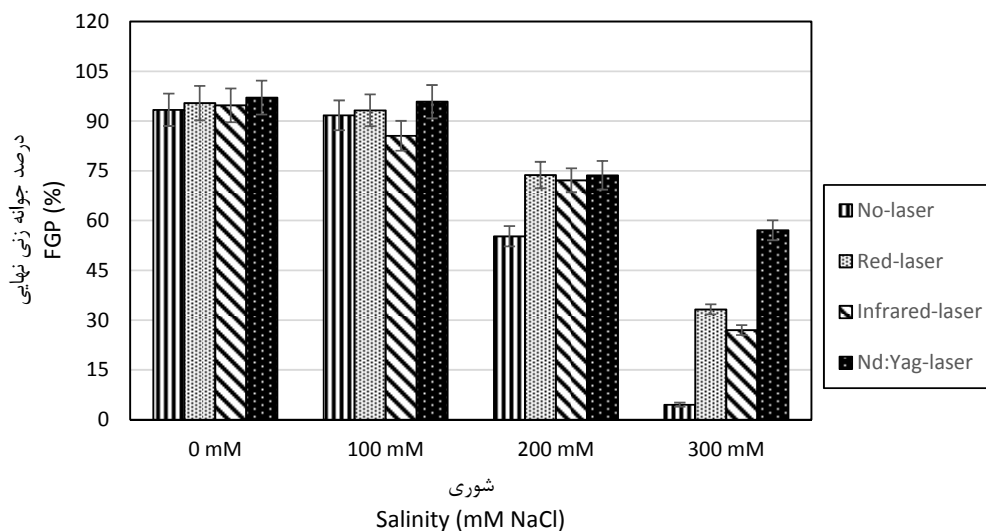
Fig1. Effects of different lasers at once exposure on germination tests of Canola seed treated by different amount of NaCl. Error bars indicate standard error deviation of each germination percentage.

تاثیر بر این صفت (۹۵٪) است، در حالی‌که برای شوری ۲۰۰ میلی‌مول، یکبار تابش این لیزر بیشترین مقدار جوانه زنی (۷۳٪) را داشت. همچنین مشاهده شد که در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار، لیزر Nd:YAG با دوبار تابش دارای بالاترین درصد جوانه زنی نهایی (۵۶٪) بود. در صورتی‌که تیمار شاهد بدون لیزر شوری ۳۰۰ میلی‌مولار نمک تنها دارای ۵٪ جوانه زنی بوده است. یعنی در این سطح شوری لیزر Nd:YAG، جوانه‌زنی نهایی کانولا را حدود ۱۲ برابر

برای مشاهده بهتر تاثیر لیزر بر جوانه‌زنی کلزا، حتی در بالاترین سطوح شوری اعمال شده، مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای اعمال شده انجام گرفت (جداول مربوط به اثرات متقابل سه‌گانه ارائه نشده است). در خصوص بذوری که در آب معمولی (بدون شوری) کشت شدند، لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات در دوبار تابش، دارای بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۷٪) می‌باشد. این لیزر در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مول نمک نیز در دور دوم دارای بهترین

شکل انرژی بیوپلاسما است. افزایش پتانسیل انرژی بیوپلاسما بر جوانه‌زنی بذور تاثیر بسزایی دارد. تبادل انرژی بین بذور و گیاه، بوسیله میزان توانایی سلول برای جذب فوتون‌ها تعیین می‌شود (Truchlinski et al., 2002). وازیلوسکی (Vasilevski, 2003) از اثرات کلی لیزر بر جوانه‌زنی بذور، افزایش ۲۰-۳۵٪ مقدار جوانه‌زنی و افزایش ۳۰٪ سرعت جوانه‌زنی بذور گیاهان زراعی را گزارش کرد. در تحقیقات بسیاری که در زمینه بررسی تاثیر لیزر صورت گرفته است، لیزر به عنوان پیش تیمار موثری که باعث افزایش سرعت جوانه زنی، سرعت رشد جوانه‌های سبز شده، افزایش رشد گیاه، افزایش درصد جوانه زنی، افزایش شاخص قدرت بذور، حتی تحت شرایط نامطلوب محیطی، شناخته شده است (Junlin et al., 2007).

افزایش داده است. که این امر خود به وضوح تاثیر مثبت و کارایی بالای لیزر برای ایجاد مقاومت به شوری در این گیاه زراعی را بیان می‌دارد. دلیل این رخداد را چن و همکاران (Chen et al., 2005) این گونه بیان نموده‌اند که بذوری که تحت تابش لیزر قرار می‌گیرند، انرژی بیشتری نسبت به بذور شاهد جذب می‌کنند که این مسئله سبب بهبود جوانه زنی گیاه می‌شود. این امر بدین علت است که پرتو لیزر، توانایی شکست تعادل انرژی جنبشی گیاه را برای جوانه‌زنی دارد و باعث افزایش مقدار این انرژی می‌شود. برخی دیگر از محققین نیز این تاثیر مثبت لیزر بر جوانه‌زنی بذور را به دلیل افزایش پتانسیل انرژی بیوپلاسما می‌دانند. همچنین بیان می‌دارند که در کنار انرژی ذخیره شده در پروتئین‌ها، ATP، قندها و سایر متابولیت‌های واسطه در متابولیسم، هر گیاه دارای یک منبع تجمع انرژی در تمام ساختارش به



شکل ۲. تاثیر دو بار تابش لیزرهای مختلف بر درصد جوانه‌زنی نهایی در بذور کلزا، تحت تیمارهای مختلف شوری. میله‌های عمودی نشان دهنده خطای معیار میانگین مربوط به هر یک از درصدهای جوانه زنی است.

Fig 2. Effects of different lasers at twice exposure on germination tests of Canola seed treated by different amount of NaCl. Error bars indicate standard error deviation of each germination percentage.

برای شوری ۲۰۰ میلی‌مول، این لیزر در دور دوم عملکردی ۴/۵ برابر گیاهان شاهد دارد از طرف دیگر در سطوح شوری صفر و ۱۰۰ میلی‌مول نمک، دور اول لیزر Nd:YAG بیشتری بر عملکرد داشته که این مقدار برای دو سطح

پس از بررسی اثرات متقابل سه‌گانه صفت عملکرد نهایی کلزا، مشاهده شد که در شوری ۳۰۰ میلی‌مول نمک، لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات در دور دوم تابش دارای عملکردی معادل ۵/۰۸ برابر گیاهان در تیمار شاهد است.

بهبود رشد و نمو گیاه می‌باشد. همچنین تابش اشعه لیزر باعث افزایش محتوای جیبرلیک اسید و در پی آن افزایش طول سلول‌ها می‌شود و با افزایش در تعداد واکوئول‌های گیاه باعث افزایش سنتز پتاسیم می‌شود که این مسئله در واکوئول‌های عصاره سلولی که کنترل کننده پتانسیل اسمزی سلول و تعادل الکتریکی هستند، دیده می‌شود.

بالا بردن دوز تابشی در همه موارد باعث تضمین افزایش تاثیر مثبت لیزر نیست بلکه ممکن است این مسئله به علت آسیب سوماتیکی، باعث کاهش در صفات مورد بررسی شود. برخی دیگر از محققین علت افزایش عملکرد را کاهش مقدار تعرق و افزایش ضریب راندمان استفاده از آب معرفی می‌کنند. همچنین بیان می‌دارند که پرتو لیزر با افزایش سطح برگ و کاهش نرخ تعرق از سطح برگ‌های گیاه، بخصوص برگ‌های پرچم بیشترین تاثیر را بر عملکرد گیاهان دارد. در تحقیق حاضر، به طور کلی بذور کلزا که توسط لیزرهای قرمز با توان ۱۱۰ میلی‌وات، مادون قرمز با توان ۲۵۰ میلی‌وات و Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات مورد تابش قرار گرفتند در تمامی سطوح شوری، دارای درصد جوانه‌زنی و عملکرد بهتری نسبت به بذور شاهد بودند. این برتری بستگی به نوع لیزر و مدت زمان تابش اشعه لیزر دارد. به طوری که لیزر Nd:YAG با توان ۷۵ میلی‌وات در هر دو دور تابش، دارای بهترین تاثیر و دور دوم تابش دارای تاثیر بیشتری نسبت به دور اول تابش بود. بر اساس نتایج تحقیق حاضر و سایر گزارشات مربوطه بر تاثیر لیزر بر جوانه‌زنی بذور گیاهان زراعی و عملکرد آنها، می‌توان پرتو تابشی لیزر را به عنوان عاملی موثر در ایجاد مقاومت به شوری در مرحله جوانه‌زنی گیاه کلزا معرفی کرد.

شوری اخیر به ترتیب شامل ۲/۵ و ۴/۷ برابر گیاهان شاهد (عدم لیزر) می‌باشد. لیزر با نور سبز مانند لیزر Nd:YAG، باعث فعال شدن فرآیندهای متابولیسمی در بذور می‌شود که این مسئله سبب افزایش سرعت رشد گیاه می‌گردد. همچنین این لیزر باعث افزایش سطح ریشه و افزایش در سطح برگ گیاه می‌گردد (Sommer et al., 2001). تحقیقات فوتوبیولوژی گیاه، بر مبنای مطالعه تاثیر نور بر گیاهان، به خصوص اثر متقابل نور با پروتئین‌های گیرنده نور می‌باشد. فیتوکروم‌ها و کریپتوکروم‌ها، دو پروتئین بسیار حساس گیرنده نور در گیاهان هستند، که نور سبز را جذب می‌کنند و شاید در رویدادهایی که توسط نور سبز رخ می‌دهد مشارکت می‌کنند (Sommer and Franke, 2006).

طبق تحقیق وازیلوسکی (Vasilevski, 1991) مشخص شده است که فعال‌سازی گیاه توسط لیزر، نتیجه افزایش پتانسیل انرژی سلولی است و باعث تحریک و افزایش فعالیت فیتوکروم‌ها، فیتوهورمون‌ها و سیستم تخمیری گیاه می‌شود که خود منجر به تحریکات بیوشیمیایی و فرآیندهای فیزیکی گیاه خواهد شد. تحریک گیاه توسط لیزر باعث تسریع فتوسنتز، تنفس و تقویت و رهبری واکنش‌های بیوسنتزی می‌شود. بنابراین سنتز رنگدانه‌های گیاهی، کربوهیدرات‌ها، ویتامین‌ها و سایر متابولیت‌ها بهبود می‌یابد. هر تغییری در میزان پروتئین گیاه بر اساس تغییرات در محتوای نیتروژن آن می‌باشد. تیمار لیزر باعث افزایش محتوای نیتروژن می‌شود که در پی آن میزان پروتئینی که سازنده بافت‌های گیاهی (تعداد شاخه‌ها و گل-ها و غیره) است افزایش می‌یابد. افزایش در تعداد سلول‌های میوه‌ها، افزایش محتوای اسیدهای نوکلئیک و فسفولیپیدهای غشاها و افزایش معنی دار محتوای فسفر در بذوری که تحت لیزر قرار گرفته‌اند نیز از عوامل موثر در

منابع

- Abu-Elsaoude, A.M., Tuleukhanov, S.T., Abdel-Kader, D.Z., 2008. Effect of Infra-Red laser on Wheat (*Triticum aestivum* L.) germination. International Journal of Agriculture Research, 3(6), 433-438.
- AOSA., 1983. Seed vigor testing handbook. The handbook on seed testing. Association of Official Seed Analysis. Las Cruces, NM, 32, 88.
- Ashraf, M., Harris, P.J.C., 2004. Potential biochemical indicators of salinity in plants. Plant science, 166, 3-16.
- Ashrafijou, M., Sadat Noori, S.A., Izadi Darbandi, A., Saghafi, S., 2010. Effect of salinity and radiation on proline accumulation in seeds of canola (*Brassica napus* L.). Plant Soil Environ, 56(7), 312-317.

- Chen, Y.P., Yue M., Wang, X.L., 2005. Influence of He-Ne laser irradiation on seeds thermodynamic parameters and seedlings growth of *Isatis indogotica*, Plant Science, 168, 601-606.
- Dinoev, S., 2006. Laser a Controlled Assistant in Agriculture. Bulgarian academy of Science, 56, 18-29.
- Farhoudi, R., Sharifzadeh, F., 2006. The effects of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.) seedlings grown under saline conditions. Indian Journal of Crop Science, 1(1-2), 74-78.
- Flowers, T.J., Hajibagheri, M. A., 2001. Salinity tolerance in *Hordeum vulgare*: ion concentrations in root cells of cultivars differing in salt tolerance. Plant and Soil, 23, 1-9.
- Francois, L.E., 1994. Growth, Seed yield, and oil content of Canola grown under saline conditions. Agronomy Journal, 86(2), 233-237.
- Junlin, W.U., Xuehong G., Sheqi, Z., 2007. Effect of laser pretreatment on germination and membrane lipid per-oxidation of Chinese Pine seeds under drought stress. Biology Science, 2(3), 314-317.
- Mohammadi, G.R., 2009. The Influence of NaCl Priming on Seed Germination and Seedling Growth of Canola (*Brassica napus* L.) Under Salinity Conditions. American-Eurasian Journal of agriculture and Environment Science, 5(5), 696-700.
- Muszynski, S., Gadyszewska, B., 2008. Representation of He-Ne laser irradiation effect on radish seeds with selected germination indices. International Agrophysics, 22,151-157.
- Podleony, J., Podleona, A., 2004. Morphological changes and yield of selected species of leguminous plants under the influence of seed treatment with laser light. International Agrophysics, 18,112-123.
- Podleony, J., 2000. The effect of pre-sowing laser light treatment on some biochemical and physiological processes in the seeds and plants of white Lupine (*Lupinus albus* L.) Pam, 121,171-191.
- Sadat Noori, S.A., Roustaei, A., Foghi, B., 2006. Variability of salt tolerance for eleven traits in bread Wheat growth in different saline conditions. Journal of Agronomy, 5(1),131-136.
- Salyaev, R.K., Dudareva, L., Lankevich, S., Makarenko, S., Surntsova, S., Rudikovska, E., 2007. Effect of low-intensity laser irradiation on the chemical composition and structure of lipids in Wheat tissue culture. Dokland. Biology Science, 412,87-88.
- Shichijo, C., Katada, K., Tanaka, O., Hashimoto T., 2001. Phytochrome A-mediated inhibition of seed germination in Tomato. Planta, 213,764-769.
- Sommer, A.P. and Franke, R.P., 2006. Plants grow better if seeds see green. Naturwissenschaften, 93,334-337.
- Sommer, A.P., Pinheiro, A.L., Mester, A.R., Franke, R.P., Whelan, H.T., 2001. Bio-stimulatory windows in low intensity laser activation: lasers, scanners and NASA's light emitting diode array system. Journal Clin Laser Med Surg, 19,29-33.
- Starzycki, M., Rybinski, W., Starzycka1, E., Pszczola, J., 2005. Laser light as a physical factor enhancing rapeseed resistance to Blackleg disease. Acta Agrophysica, 5(2), 441-446.
- Truchlinski, J., Wesoowski, M., Koper, R., Dziamba, S., 2002. Influence of pre-sowing red light radiation on the content of anti-nutritional factors, mineral elements and basic nutritional component contents in Triticale seeds .International Agrophysics, 16,227-230.
- Vasilevski, G., 1991. By laser to healthier and cheaper food. Report of Faculty of Agriculture, Skopje, 1-2.
- Vasilevski, G., 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. Bulgarian Journal of Plant Physiology. Special Issue, 179- 186.
- Vasilevski, G., Dimitrieski, M., Angelovski, R., 1994. Laser stimulation of Tobacco transplants. Congress CORESTA, Harare, Zimbabwe.
- Zhang, H.X., Hodson, J.N., Williams, J.W., Blumwald, E., 2001. Engineering salt-tolerant Brassica plants: Characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation. PNAS, 98(22), 12832-12836.

