

حفظ تمامیت غشا و تحریک سامانه آنتی اکسیدان گیاه گندم تحت تأثیر میدان مغناطیسی ایستا و متناوب در فاز رویشی

عاطفه پایز^۱، فائزه قناتی^{۱*}، مهرداد بهمنش^۱، پرویز عبدالمالکی^۱ و مینا قهرمانی نژاد^۱

^۱دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴/۰۲/۱۳۹۲)

چکیده:

مطالعات زیادی نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی می‌تواند روی موجودات زنده تأثیر بگذارد. با این وجود مکانیسم دقیق این تأثیرها هنوز نامشخص است. یک توصیف ممکن برای اثرات متعدد میدان مغناطیسی روی موجودات زنده، تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن است که با میانجی گری آهن انجام می‌گیرد. در این مطالعه اثر میدان‌های مغناطیسی ایستا (۳۰ میلی‌تسلا) و متناوب (۱۰ کیلوهرتز) بر رشد طولی، فعالیت سامانه آنتی اکسیدان، تمامیت غشا و میزان کلسیم و آهن کل در مرحله رویشی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مقایسه با گیاهان شاهد، میدان مغناطیسی باعث افزایش فعالیت سامانه آنتی اکسیدان، حفظ تمامیت غشا و تغییر معنی‌دار یون‌های کلسیم و آهن در گیاه گندم می‌شود که این تغییرات بستگی به عوامل زیادی دارد که نوع میدان مغناطیسی و اندام مورد مطالعه از جمله آنها می‌باشد.

کلمات کلیدی: تنش اکسیداتیو، کلسیم، گندم، میدان مغناطیسی ایستا، میدان مغناطیسی متناوب

مغناطیسی (Magnetic Field; MF) را بر رشد گیاهان نشان داده است. به عنوان مثال تأثیر کاهشی میدان‌های مغناطیسی ایستا بر رشد گیاه ریحان و القای مرگ سلولی در سلول‌های جدا کشتن توتون نشان داده شده است (Ghanati *et al.*, 2007; Abdolmaleki *et al.*, 2007). همچنین تأثیر منفی میدان مغناطیسی ضعیف با دامنه شدت ۱۰۰ نانوتسلا تا ۵/۰ میلی‌تسلا بر جوانه زنی دانه‌ها، رشد ریشه‌های اویله دانه‌rst گیاهان، تقسیم سلولی در مریستم های ریشه گیاهان مشاهده شده است (Kato *et al.*, 1989). در سطح آنزیمی نیز نشان داده شده است که پس از تیمار با میدان‌های مغناطیسی، فعالیت آنزیم‌هایی چون فیلآلین آمونیا لیاز (PAL)، سوپر اکسید دیسموتاز (SOD)، کاتالاز

مقدمه:

تیمارهای فیزیکی با القای انرژی به سلول، شرایطی را برای نقل و انتقالات مولکولی ایجاد می‌کنند. میدان‌های مغناطیسی یکی از این تیمارهای فیزیکی است که می‌تواند بر عملکرد بسیاری از سلول‌ها تأثیر بگذارد؛ با این وجود مکانیسم دقیق عمل آنها هنوز مشخص نشده است (Hajnorouzi *et al.*, 2011). تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی می‌تواند راهی جهت افزایش کیفیت و کمیت عملکرد باشد و در عین حال با جلوگیری از مصرف زیاد سmom و کود، میزان آنها را در مواد خام گیاهی کاهش داده و باعث افزایش سلامت غذا و محیط گردد (Aladjadjiyan, 2007). برخی بررسی‌ها تأثیر کاهنده میدان

* نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: ghangia@modares.ac.ir

مهمترین این یون‌ها، یون Ca^{2+} می‌باشد و تحقیقات اخیر نشان داده که ICR- Ca^{2+} یک مکانیسم بارز در درک میدان مغناطیسی در ترکیب با میدان الکترومغناطیسی می‌باشد (Pazur and Rassadina, 2009).

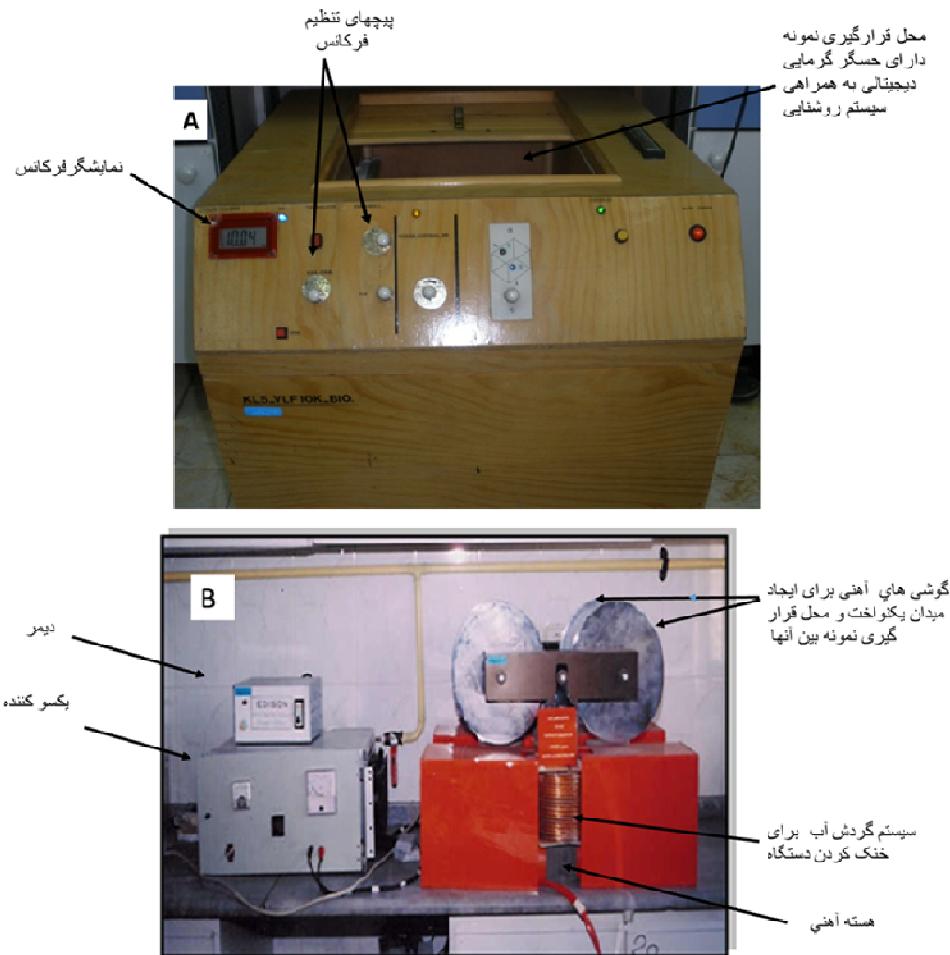
با توجه به این که تأثیر میدان‌های مغناطیسی در مدل‌های جانوری بیشتر مورد بررسی بوده (Robertson *et al.*, 1996) و در سامانه‌های گیاهی کمتر به آن توجه شده است، در این مطالعه تأثیر میدان‌های مغناطیسی ایستا الکترومغناطیسی (EMF; Electromagnetic field) و میدان‌های (Static magnetic field; SMF) فعالیت سامانه آنتی اکسیدان، تمامیت غشا و میزان کلسیم و آهن کل در مرحله رویشی گیاه گندم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها:

مواد گیاهی و تیمارها: بذرهای گندم (*Triticum aestivum* L.) رقیم کویر از موسسه اصلاح نهال و بذر کرج خریداری شد. دانه‌های ظاهرًا یک شکل و یک اندازه انتخاب شدند و ضعدغونی سطحی با شستشوهای متواالی با شوینده معمولی هیپوکلریت سدیم (دارای ۵٪ کلر فعال)، اتابل ۷۵٪ و ۳ بار آبکشی با آب مقطر بر روی آنها انجام گرفت. سپس دانه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در آب مقطر خیسانده شده و بین دو لایه کاغذ صافی مرتکب در شرایط تاریکی جوانه زدند. دانه‌رست‌های ۵ روزه یک دست و همسان انتخاب و پس از ۵ روز سازگاری و رشد در محیط نیم هوگلنده تحت تیمار با میدان الکترومغناطیسی (KHz 10) و میدان مغناطیسی ایستا (mT 30) به مدت ۴ روز، هر روز ۵ ساعت قرار گرفتند. فرکانس میدان الکترومغناطیسی در نزدیکی دکل برق‌های فشار قوی ۱۰ کیلوهرتز می‌باشد (Robertson *et al.*, 1996). شدت میدان مغناطیسی ایستا در تجهیزات مغناطیس تراپی ۳۰ mT می‌باشد که حداقل شدتی است که می‌تواند سبب تحریک غشای سلول‌ها زنده گردد (Sakhnini and Dairi, 2004).

(CAT) و پراکسیداز (PO) تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Pandolfini *et al.*, 1992).

در این میان، برخی تحقیقات نیز اثرات مثبت میدان مغناطیسی را بر جوانه زنی بذر و پارامترهای رشدی را نشان داده است. محققین گزارش کرده‌اند که سرعت جذب آب و جوانه‌زنی در بذور کاهوی در معرض میدان مغناطیسی ۱-۱۰ mT افزایش می‌یابد (Garcia and Arza, 2001). آنها بیان نمودند که برهم‌کنش میدان مغناطیسی با جریان‌های یونی موجود در غشاء سلول‌های رویان باعث ایجاد تغییراتی در غلظت یونی و فشار اسمزی در هر دو طرف غشا شده و موجبات تغییر روابط آب در بذر را فراهم می‌سازد. میدان مغناطیسی مناسب باعث کاهش pH دیواره سلولی، از بین رفتن خواب بذر، تأثیر بر متابولیسم سلول‌های مریستمی، افزایش جذب و تثبیت (assimilation) عناصر غذایی و بهبود فعالیت‌های فتوستتری می‌شود (Kavi, 1977). به نظر می‌رسد تأثیر میدان مغناطیسی خارجی بر بعضی فرآیندهای زیستی در گیاه، از طریق تأثیر آن بر سرعت و جهت جایگزینی ذرات قطبی آلی و معدنی در گیاه انجام گیرد (Kordas, 2002). اخیراً تحقیقی نشان داده است که میدانی مرکب از میدان مغناطیسی زمین و یک میدان الکترومغناطیسی ضعیف سبب رشد بهتر دانه‌رست‌های ذرت گردید. این تأثیر از طریق افزایش ظرفیت آنتی اکسیدان، کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، افزایش میزان فربین دانه، کاهش جذب آهن و در نتیجه کاهش تنش اکسیدانتیو در گیاه صورت پذیرفت (Hajnoruzi *et al.*, 2011). در تحقیق مزبور میزان کلسیم درون سلولی نیز کاهش یافت. یکی از تئوری‌های مختلفی که برای توجیه این اثرات مثبت ارائه شده، نظریه ICR (Ion Cyclotron Resonance) می‌باشد، که بر اساس آن شکل مناسبی از یک میدان ممکن است بتواند با تشدید نوسان خود به خودی برخی یون‌ها یا مولکول‌های زیستی (مثل کانال‌ها، پمپ‌ها و ترانسپورترها)، آنها را به تحریک بیشتر و ادار ساخته و از این طریق سبب تحریک رشد گردد (Liboff *et al.*, 1989). از جمله



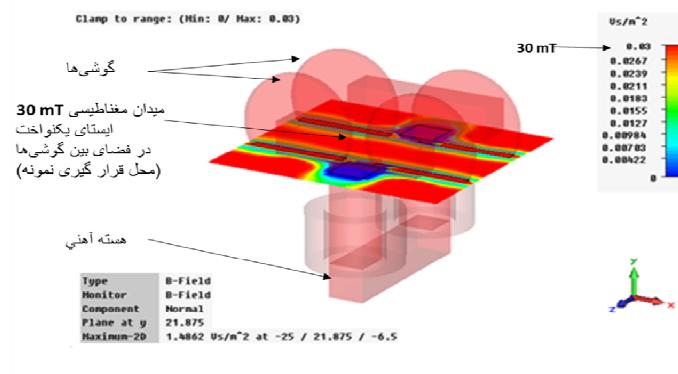
شکل ۱- دستگاههای تولید کننده میدان مغناطیسی، (A) EMF دارای سامانه کنترل فرکانس و نمایش فرکانس به صورت دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ هرتز، محل قرارگیری نمونه در داخل محفظه می‌باشد، (B) جریان برق شهری پس از گذر از یکسو کننده (سمت چپ) وارد سیم پیچ‌های اطراف یک هسته آهنی شده به کمک چهار گوشی دایره شکل آهنی، میدان مغناطیسی ایستای یکنواختی را در فضای بین گوشی‌ها (محل قرارگیری نمونه) ایجاد می‌کند.

قرارگیری نمونه‌ها با یک تسلامتر (PHYWE, 13610.93, CST, Gottingen, Germany) همچنین نرم‌افزار شبیه‌سازی Computer Simulation Technology (Computer Simulation Technology) بررسی شد (شکل ۲). رشد طولی ریشه و اندام هوایی (با کاغذ میلی-متری) و هدایت الکتریکی غشای سلول‌های ریشه با استفاده از گیاه تازه اندازه‌گیری شده و بقیه گیاهان برای انجام آنالیزهای بیوشیمیایی در نیتروژن مایع ثبت و در فریزر -۸۰ سانتی‌گراد نگهداری شدند.

EMF و SMF در مطالعات قبلی آمده و تصویر آنها در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

شدت میدان و طول دوره پرتودهی نیز بر اساس نتایج مطالعات قبلی و منابع موجود انتخاب گردید (Sahebjamei *et al.*, 2007; Abdollahi *et al.*, 2012) بدزهای شاهد در همان شرایط و به اندازه کافی دو راز دستگاههای مولد میدان مغناطیسی و فقط تحت میدان مغناطیسی زمین قرار گرفتند. یکنواختی SMF در محل

2D/3D Results > B-Field [Ms] > Normal



شکل ۲ - آزمون یکنواختی میدان مغناطیسی ایستا با استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی کامپیوتری CST (A-B) (یکنواختی SMF) ایجاد شده در فضای قرارگیری نمونه‌ها از زوایای مختلف (نوار قرمز ۳۰ میلی‌تسلا در فضای بین گوشی‌ها ایجاد شده است).

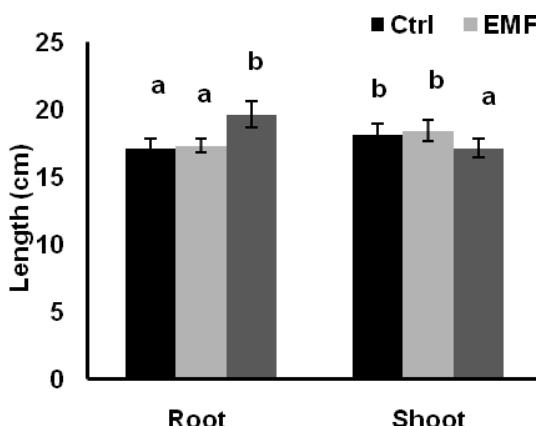
قرار گرفت. پس از سرد شدن لوله‌ها در بخ، جذب آنها در طول موج‌های ۵۳۲ nm و ۶۰۰ nm با اسپکتروفوتومتر Cintra6,GBC, Australia) خوانده شد. میزان MDA با استفاده از ضریب ثابت $155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1} = 155 \text{ } \mu\text{M}$ محاسبه گردید (Sahebjamei *et al.*, 2007).

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): نمونه‌ها (۰/۰۰۰ گرم) در ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با pH برابر ۶/۸ عصاره‌گیری و همگنای حاصل در ۱۲۰۰۰ g × ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفوژ شد. از مایع شناور رویی برای سنجش فعالیت کاتالاز استفاده گردید. ۳ میلی‌لیتر محلول واکنش حاوی بافر فسفات سدیم ۲۵ میلی‌مولار با pH برابر ۶/۸ و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب بود. ۱۰ میلی‌مولار H₂O₂ و عصاره آنزیمی با اندازه گیری تجزیه H₂O₂ و کاهش جذب فعالیت آنزیمی با اندازه گیری تجزیه H₂O₂ و پروتئین در طول موج ۲۴۰ nm و به ازای هر میلی‌گرم پروتئین در عصاره آنزیمی محاسبه شد (Sahebjamei *et al.*, 2007). میزان پروتئین با روشBradford با استفاده از آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان استاندارد اندازه گیری شد (Bradford, 1976).

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (PO):

اندازه گیری هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity; EC): صد میلی‌گرم از ریشه‌های تازه‌نمونه‌های کنترل و تیمار شده گندم در ابعاد یک سانتی‌متر برباری شده، در آب دیونیزه غوطه‌ور گردید. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه بر روی شیکر چرخان قرار داده شده EC نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه با سانتی‌متر (Sartorius PT-20/C1, Germany) اندازه گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و پس از سرد شدن دوباره آنها قرائت شد. نشت الکتریکی غشای سلول‌ها از EC اولیه به EC ثانویه به دست آمده و به صورت درصد گزارش شد (Payez *et al.*, 2012).

سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (LPO): صد میلی‌گرم از نمونه در ۳ میلی‌لیتر محلول ۱۰٪ (حجم/وزن) تری کلورو استیک اسید (TCA) عصاره گیری شد. سپس نمونه‌ها در ۱۲۰۰۰ g × ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. به ۱ میلی‌لیتر از بخش بر رو شناور حاصل، ۱ میلی‌لیتر تیوباربیتوريک اسید (TBA)٪ ۰/۵ افزوده شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۳- تأثیر تیمار EMF و SMF بر رشد طولی ریشه و اندام هوایی گیاهان گندم. مقدار، میانگین حداقل ۹ تکرار \pm انحراف معیار می‌باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح $P < 0.05$ است.

اندازه‌گیری محتوای آهن و کلسیم کل: اندازه‌گیری مقدار کل آهن و کلسیم نمونه‌ها پس از هضم اسیدی خاکستر آنها، به روش اسپکترومتری جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (AA-670G, SHIMADZO, Japan) انجام شد (Hajnoruzi *et al.*, 2011).

آنالیزهای آماری: کلیه آزمایش‌ها با سه بار تکرار مستقل و هر یک با حداقل سه نمونه تکرار شد. آنالیز داده‌ها با روش ANOVA در برنامه آماری SPSS نسخه 16.0 انجام گرفت. اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح $P < 0.05$ بر اساس آزمون LSD تعیین گردید.

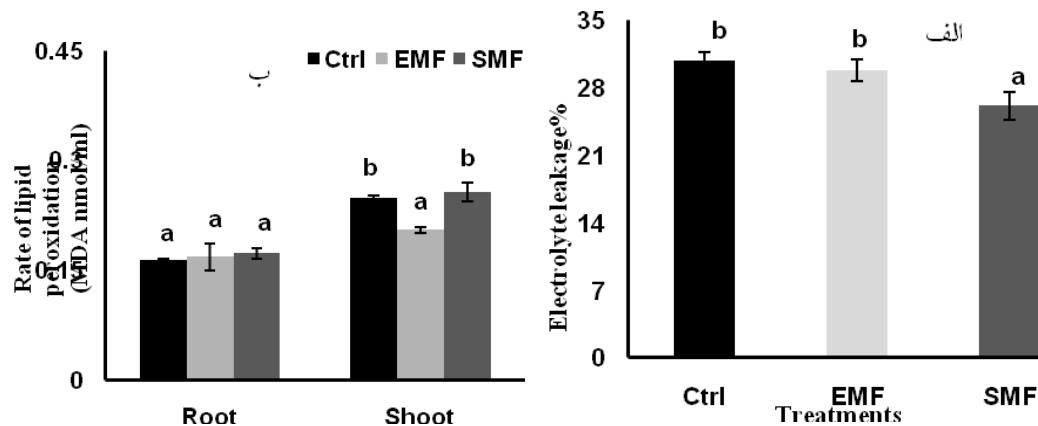
نتایج:

طول ریشه و اندام هوایی در گیاهان گندم تحت تیمار با EMF نسبت به گیاهان شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. در گیاهان تیمار شده با SMF، طول ریشه افزایش معنی‌دار و طول اندام هوایی کاهش معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد نشان داد (شکل ۳).

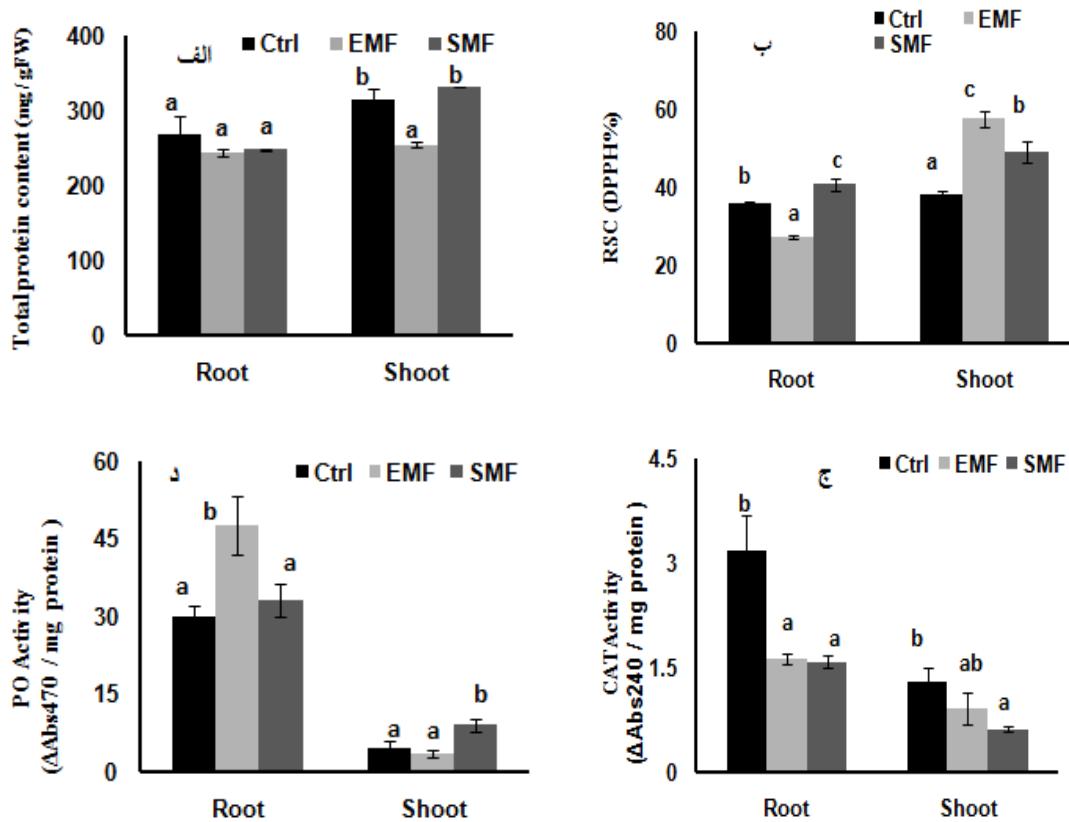
نشست الکتروولیت‌ها از غشای سلول‌های ریشه تحت تأثیر تیمار EMF قرار نگرفت ولی تیمار SMF این میزان را به طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۴ الف).

نمونه‌ها ($20\text{ g}/2\text{ میلی لیتر}$) با فر فسفات سدیم 60 میلی مولار با pH برابر ۶/۱ عصاره‌گیری و همگنای حاصل در $g \times 15000$ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفیوژ شد. از بخش بر رو شناور برای اندازه‌گیری فعالیت پراکسیداز استفاده گردید. ۳ میلی لیتر ترکیب واکنش حاوی بافر فسفات سدیم 60 میلی مولار با pH برابر ۱/۶، گایاکول 28 میلی مولار , $5\text{ H}_2\text{O}_2$ میلی مولار و عصاره آنزیمی به مقدار مناسب بود. فعالیت آنزیمی به صورت افزایش جذب در طول موج 470 nm در دقیقه به ازای هر میلی گرم پروتئین نمونه محاسبه گردید (Abdolmaleki *et al.*, 2007).

سنجهش ظرفیت جاروب کنندگی رادیکال‌های آزاد (RSC): ابتدا 2 g از نمونه در 3 میلی لیتر متانول مطلق عصاره‌گیری شده و در $g \times 5000$ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. بخش رو شناور به نسبت ۱/۱۰ با متانول رقیق شده، سپس رادیکال پایدار DPPH (۱۰-۲ دی فنیل-۲-پیکریل هیدرازیل) با غلظت 0.008% به آن اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفته و پس از آن جذب در طول موج 517 nm با اسپکتروفوتومتر خوانده شد. کلیه مراحل در ۴ درجه سانتی گراد انجام گرفت (N'Guessan *et al.*, 2007).



شکل ۴- (الف) تأثیر تیمار EMF و SMF بر نشت الکتریکی غشای سلول های ریشه گندم. (ب) تأثیر تیمار EMF و SMF بر پراکسیداسیون لپیدهای غشایی ریشه و اندام هوایی گیاهان گندم. مقادیر، میانگین حداقل سه تکرار \pm انحراف معیار می باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح $P < 0.05$ است.



شکل ۵- تأثیر تیمار EMF و SMF بر: (الف) میزان پروتئین کل، (ب) ظرفیت جاروبگری کل رادیکال های آزاد، (ج) میزان فعالیت آنزیم CAT و (د) میزان فعالیت آنزیم PO در ریشه و اندام هوایی گیاهان گندم. مقادیر، میانگین حداقل سه تکرار \pm انحراف معیار می باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح $P < 0.05$ است.

جدول ۱- تأثیر تیمارهای EMF و SMF بر میزان کلسیم و آهن کل گیاه گندم

کلسیم		آهن		غله‌لت ($\mu\text{g} / \text{g FW}$)
اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام
۴۹/۲۳±۰/۵۷ ^b	۱۹/۲۶±۰/۸۶ ^c	۱/۲۱±۰/۰۰ ^a	۳/۲۹±۰/۲۷ ^b	شاهد
۳۲/۴۴±۲/۴۶ ^a	۱۵/۶۰±۱/۳۷ ^b	۱/۳۶±۰/۰۳ ^b	۲/۲۳±۰/۱۴ ^a	تیمار یافته با EMF
۶۳/۶۲±۲/۳۱ ^c	۱۰/۴۴±۰/۶۷ ^a	۱/۰۵±۰/۰۴ ^c	۲/۴۸±۰/۱۶ ^a	تیمار یافته با SMF

مقدار، میانگین حداقل سه تکرار ± انحراف معیار می‌باشد. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار بین میانگین‌ها در سطح $P < 0.05$ است.

بحث:

میدان‌های الکترومغناطیسی (MF) و الکترومغناطیسی (EMF) از جمله تنش‌های غیر زیستی هستند که حاصل عصر تکنولوژی بوده و امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده‌اند. در حال حاضر درک مغناطیس در سلول‌های گیاهی با سه مکانیسم جفت رادیکال (radical-pair mechanism)، فری‌مگتیسم (ferrimagnetism) و یون سیکلوترون رزونانس (cyclotron resonance mechanism ion) توضیح داده شود (Galland and Pazur, 2005). در این تحقیق پاسخ‌های متعدد گیاه گندم به میدان‌های مغناطیسی می‌تواند با مکانیسم "ion cyclotron resonance" توضیح داده شود. این مدل می‌تواند چگونگی تأثیر میدان مغناطیسی را بر ساختار غشای پلاسمایی، تغییر نفوذپذیری آن و انتقال یون‌ها توضیح داده و تأثیرها بعدی آن را بر فعالیت مسیرهای متابولیکی روشن نماید. اثرات مهاری یا تحریکی میدان مغناطیسی بر رشد بافت‌ها به عوامل گوناگونی نظری گونه و اندام گیاهی، فرکانس و نوع میدان، شکل موج میدان، مدت زمان تیمار و سایر عوامل تنش‌زا بستگی دارد (Kato *et al.*, 1989; Liboff *et al.*, 1989). در تحقیق حاضر رشد طولی ریشه در تیمار با SMF افزایش و در اندام هوایی کاهش معنی داری یافت. افزایش سرعت رشد گیاه و توسعه ریشه در تیمار با میدان مغناطیسی در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (Hajnoruzi *et al.*, 2011).

پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی نیز به جز در اندام هوایی که تحت تیمار EMF کاهش یافت، در بقیه موارد تحت تأثیر MF قرار نگرفت (شکل ۴ ب).

شکل ۵ تأثیر تیمار میدان مغناطیسی را بر برخی پارامترهای بیوشیمیایی در گیاه گندم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان پروتئین کل به جز در اندام هوایی که تحت تأثیر تیمار EMF کاهش یافته، در بقیه موارد نسبت به گیاهان شاهد تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار نگرفت (شکل ۵ الف). ظرفیت جاروبگری کل رادیکال-های آزاد (RSC) در اثر تیمار SMF در ریشه و اندام هوایی افزایش معنی دار یافت (شکل ۵ ب). میزان فعالیت آنزیم CAT در ریشه و اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد تحت تیمار میدان مغناطیسی کاهش معنی دار یافت، ولی در اثر تیمار EMF در ریشه کاهش معنی دار و در اندام هوایی افزایش معنی دار یافت (شکل ۵ ب). میزان فعالیت آنزیم PO در ریشه و اندام هوایی نسبت به گیاهان شاهد تحت تیمار میدان مغناطیسی کاهش معنی دار یافت، به جز در اندام هوایی که نسبت به تیمار EMF تحت تأثیر قرار نگرفت (شکل ۵ ج). میزان فعالیت آنزیم PO در ریشه تحت تیمار EMF و در اندام هوایی تحت تیمار SMF افزایش معنی دار یافت و در بقیه موارد تحت تأثیر قرار نگرفت (شکل ۵ د). میزان کلسیم کل نسبت به گیاهان شاهد به جز در اندام هوایی گیاهانی که تحت تیمار SMF افزایش معنی دار یافته در بقیه موارد کاهش معنی دار یافت (جدول ۱). میزان آهن کل در ریشه تحت تیمار میدان مغناطیسی کاهش معنی دار و در اندام هوایی افزایش معنی دار یافت (جدول ۱).

در بقیه موارد نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی دار یافت و لی فعالیت آنزیم CAT در تیمار با میدان ها نسبت به گروه شاهد کاهش یافت. لذا با توجه به تجمع پراکسید هیدروژن لازم است تا آنتی اکسیدان های آنزیمی و غیر آنزیمی دیگری آنها را جاروب کند. آنزیم PO یکی از آنهاست که فعالیت آن در اثر تیمار EMF در ریشه و در اثر تیمار SMF در اندام هوایی افزایش یافت تا با همکاری سایر آنتی اکسیدان ها مانع پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی شده و باعث حفظ تمامیت غشا گردد. افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانت یا RSC هر چند ممکن است باعث حفاظت گیاهان تحت شرایط ویژه ای شود، ولی ممکن است با آبشار علامت رسانی درگیر در سازگاری گیاهان برهم کنش داشته باشد (Dat *et al.*, 2001).

همان طور که در این تحقیق نیز مشاهده می شود سطح MDA که بیانگر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است، در اثر تیمار با میدان مغناطیسی نسبت به گروه شاهد افزایش نیافته بلکه در اندام هوایی در اثر تیمار با EMF کاهش نیز یافته است. این پدیده در برخی تحقیقات گذشته نیز مشاهده شده است (Hajnorouzi *et al.*, 2011).

پیشنهاد شده است که میدان مغناطیسی می تواند ساختار غشاهای سلولی را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش نفوذپذیری آنها شود و از این طریق موجبات تغییر فعالیت مسیرهای متابولیکی را فراهم سازد (Labels, 1993). بر خلاف این نظر، در مطالعه حاضر نشت الکتروولیتها از غشای ریشه گیاهان تیمار شده با SMF کاهش یافت. کاهش نشت الکتروولیتها از خلال غشای سلولهای ریشه گندم به همراه عدم افزایش پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی نسبت به نمونه های شاهد در تیمار با SMF به دلیل افزایش تمامیت غشا و بهبود ویژگی های آن می باشد که منجر به رشد بهتر این اندام می گردد. مشابه این نتیجه در تحقیق قبلی در دانه رست های گندم در اثر تیمار EMF و SMF مشاهده شد (Payez *et al.*, 2012).

که می تواند به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی در Kordas (Garcia and Arza, 2001) از طرفی (2002) نشان داد که میدان مغناطیسی باعث کاهش طول ساقه گندم شد. این امر ممکن است به دلیل افزایش دمای درونی گیاه بیش از حد بحرانی و به دنبال آن مختل شدن فرآیند رشد باشد (Vaezzadeh *et al.*, 2006).

گزارش های متعدد حاکی از این است که تیمار کوتاه مدت میدان می تواند سبب تنفس اکسیداتیو شده ساختار غشا، رشد سلولی و حتی مرگ سلولی را تحت تأثیر قرار دهد (Zhang *et al.*, 2003). بیش از ۵۰ آنزیم (شامل آنزیم های آهن دار نظیر SOD, CAT, PO) شناخته شده اند که در طی کاتالیز تولید رادیکال آزاد می نمایند و لذا می توانند تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرند (Atak *et al.*, 2007). پراکسید هیدروژن (H_2O_2), یکی از گونه های سمی و فعال Fenton and Haber-Weiss اکسیژن است و از طریق واکنش بسیار که با آهن کاتالیز می شود منجر به تولید رادیکال های بسیار خطروناک هیدروکسیل می گردد. رادیکال های هیدروکسیل واکنش های زنجیره ای را شروع کرده و منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی می گردد (Bowler *et al.*, 1992). سمیت زدایی و جاروب کردن H_2O_2 می تواند توسط آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی و آنزیمی مانند CAT و PO صورت گیرد. اگر چه تمام آنزیم های جاروبگر H_2O_2 به صورت هماهنگ در مسیری عمل می کنند که منجر به بقای سلول در شرایط طبیعی گردد، ولی به احتمال زیاد در بین آنزیم های جاروبگر ROS CAT آنزیم کلیدی است که به طور موثری H_2O_2 را حذف کرده و لذا فعالیت آنزیم PO را تنظیم می کند (Sahebjamei *et al.*, 2007). تحقیقات مختلف نشان داده که میزان آسیب اکسیداتیو در گیاهانی که در معرض تنفس های غیر زیستی قرار می گیرند، توسط ظرفیت سامانه آنتی اکسیدان یا ظرفیت جاروب کنندگی رادیکال های آزاد (RSC) آنها کنترل می شود (Sreenivasulu *et al.*, 2000). در تحقیق حاضر گیاهان RSC کاهش گندم به جز در ریشه که تحت تیمار با EMF کاهش یافت،

همچون کاهش میزان آن در ریشه و افزایش آن در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار با SMF نسبت به گیاهان شاهد این احتمال را تقویت می کند که آهن جذب شده بلافاصله به اندام هوایی منتقل شده باشد. کاهش میزان آهن کل در ریشه گندم نسبت به گیاهان شاهد در اثر تیمار با میدان (Hajnorouzi *et al.*, 2011) مغناطیسی مطابق با سایر مطالعات می باشد (Hajnorouzi *et al.*, 2011; Nechiporenko *et al.*, 2001).

تیمار گیاه گندم در مرحله رویشی با میدان مغناطیسی ایستا و متناوب در کل سبب افزایش ظرفیت جاروبگری رادیکال های آزاد و فعالیت آنزیم پراکسیداز، کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز، حفظ تمامیت غشا، کاهش کلسیم و آهن کل در ریشه و افزایش آهن کل در اندام هوایی در گیاه گندم شد. اما در این میان تفاوت هایی بین تغییرات مشاهده شده در اثر تیمار با SMF و EMF و همچنین در ریشه و اندام هوایی گندم وجود داشت و در این رابطه، تأثیر SMF بیشتر و چشمگیرتر بود. بر مبنای نتایج تحقیق حاضر شاید تیمار با میدان های مغناطیسی را بتوان در مقایسه با روش های رایج، به عنوان روشی با هزینه کمتر و خطر آلدگی های زیست محیطی کمتر برای بهبود رشد گندم در مرحله رشد رویشی پیشنهاد نمود.

تشکر و قدر دانی:

نویسندها از حمایت قطب تنش های گیاهی، دانشگاه اصفهان تشکر می نمایند.

phytoplasma. The Scientific World Journal 2012: 1-6.
Abdolmaleki, P., Ghanati, F., Sahebjamei, H. and Sabet Sarvestani, A. (2007) Peroxidase activity, lignifications and promotion of cell death in to-

در تحقیقات Nechiporenko و همکاران (۲۰۰۱) نشان داده شده است که بالا نس ترکیبات معدنی در دانه رست-های تربچه و پیاز تحت تیمار میدان های ضعیف مغناطیسی به هم می خورد. در تحقیق حاضر میزان کلسیم کل در اندام هوایی گیاهان تحت تیمار با SMF نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی دار و در بقیه موارد کاهش معنی دار یافت. غلظت زیاد کلسیم می تواند سیگنال مرگ را به سلول القا کند و لذا کاهش کلسیم می تواند در جهت بهبود رشد و بقا سلول عمل کند. القای کاهش غلظت کلسیم در بافت های ریشه تحت تیمار هر دو میدان و پس از آن در اندام هوایی تحت تیمار SMF مطابق با نتایج Hajnorouzi و همکاران (۲۰۱۱) بود. آنها چنین بیان داشتند که کاهش سطح کلسیم احتمالاً به خاطر تأثیر میدان های الکترو مغناطیسی بر نفوذپذیری غشا یا حاصل تأثیر مستقیم آن بر کانال های کلسیمی و پمپ ها و در نتیجه خروج کلسیم از سیتوسل به محیط خارج سلولی توسط آنتی پورترهای $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$ - ATPase می باشد. به نظر می رسد که فرضیه ICR توجیه مناسبی برای تغییر غلظت کلسیم درون سلولی داشته باشد. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، اعمال میدان باعث افزایش نوسان یون ها در دو طرف غشا و همچنین یون های متصل به پروتئین ها از جمله کانال های غشاء ای شده و از طریق تنظیم فعالیت آنها تعادل یونی سلول را تغییر می دهد. میزان آهن کل در مطالعه حاضر در ریشه تحت تیمار میدان مغناطیسی کاهش معنی دار و در اندام هوایی افزایش معنی دار یافت. هم مؤستازی آهن در گیاهان از طریق مکانیسم های مختلفی کنترل می شود. گرچه استفاده از آهن نشان دار و ردگیری نقطه به نقطه آن در طول گیاه میسر نبود اما شواهدی

منابع:

- Abdollahi, F., Niknam, V., Ghanati, F., Masroor, F. and Nasr Noorbakhsh, S. (2012) Biological effect of weak electromagnetic field on healthy and infected lime (*Citrus aurantifolia*) trees with

- netic field on the content of main cations in onion organs and in radish plants of basic magnetically-oriented types. In: Plant under environmental stress. Pp. 205-206. Publishing House of Peoples Friendship University of Russia, Moscow.
- N'Guessan, J. D., Bidie, A. P., Lenta, B. N., Weniger, B., Andre, P. and Guede-Guina, F. (2007) In vitro assays for bioactivity-guided isolation of antsalmonella and antioxidant compounds in *Thonningia sanguinea* flowers. African Journal of Biotechnology 6:1685-1689.
- Pandolfini, T., Gabbielli, R. and Comparini, C. (1992) Nikel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum* L. Plant Cell and Environment 15:719-725.
- Payez, A., Ghanati, F., Behmanesh, M., Abdolmaleki, P., Hajnorouzi, A. and Rajabbeigi E. (2012) Increase of seed germination, growth and membrane integrity of wheat seedlings by exposure to static and electromagnetic fields. Electromagnetic Biology and Medicine (In Press).
- Pazur, A. and Rassadina, V. (2009) Transient effect of weak electromagnetic fields on calcium ion concentration in *Arabidopsis thaliana*. BMC Plant Biology 9:47.
- Robertson, I. G. C., Wilson, W., Dawson, B. V., Zwi, L. J., Green, A. W., Boys, J. T. (1996) Evaluation of potential health effects of 10 kHz magnetic fields: A short-term mouse toxicology study. Bioelectromagnetics 17:111-122.
- Sahebjamei, H., Abdolmaleki, P. and Ghanati, F. (2007) Effects of static magnetic field on the antioxidant enzymes activities of suspension-cultured tobacco cells. Bioelectromagnetics 28:42-47.
- Sakhnini, L. and Dairi, M. (2004) Effects of Static Magnetic Fields on Early Embryonic Development of the Sea Urchin *Echinometra mathaei*. IEEE Transactions on Magnetics 40: 2979-2981.
- Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U. and Weschke W. (2000) Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedling of foxtail millet (*Setaria italic*). Physiologia Plantarum 109: 435-442.
- Vaezzadeh, M., Noruzifar, E., Ghanati, F., Salehko-tahi, M. and Mehdian, R. (2006) Excitation of plant growth in dominant temperature by steady magnetic field. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 302: 105-108.
- Zhang, Q. M., Tokiwa, M., Doi, T., Nakahara, T., Chang, P. W., Nakamura, N., Hori, M., Miyakoshi, J. and Onei, S. (2003) Strong static magnetic field and the induction of mutations through elevated production of reactive oxygen species in *Escherichia coli* soxR. International Journal of Radiation Biology 79:281-286.
- bacco cells exposed to static magnetic field. Environmentalist 27:435-440.
- Aladjadjiyan, A. (2007) The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. Journal of Central European Agriculture 8:369-380.
- Atak, C., Celik, O., Olgun, A., Alikamanoglu, S. and Rzakoulieva, A. (2007) Effect of magnetic field on peroxidase activities of soybean tissue culture. Biotechnology and Biotechnological Equipment 21:166-171.
- Bowler, C., Montagu, M. V. and Inze, D. (1992) Superoxide dismutase and stress tolerance. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 43:83-116.
- Bradford, M. (1976) A rapid and sensitivemethod for the quantitation of microgramquantities of protein utilizingthe principle of protein-dyebinding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.
- Dat, J. F., Van Montagu, M., Inze, D. and Van Breusegem, F. (2001) Catalase-deficient tobacco plants: tools for in planta studies on the role of hydrogen peroxide. Redox Report 6:37-42.
- Galland, P. and Pazur, A. (2005) Magnetoreception in plants. Journal of Plant Research 118:371-389.
- Garcia, R. F., and Arza, P. L. (2001) Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I:theoretical considerations. Bioelectromagnetics 22:589-595.
- Ghanati, F., Abdolmaleki, P., Vaezzadeh, M., Rajabbeigi E. and Yazdani, M. (2007) Application of magnetic field and iron in order to change medicinal products of *Ocimum bacilicum*. Environmentalist 27:429-434.
- Hajnorouzi, A., Vaezzadeh, M., Ghanati, F., Jamnezhad, H. and Nahidian, B. (2011) Growth promotion and a decrease of oxidative stress in maize seedlings by a combination of geomagnetic and weak electromagnetic fields. Journal of Plant Physiology 168:1123-1128.
- Kato, R., Kamada, H. and Asashma, M. (1989) Effect of high and very low magnetic field on the growth of hairy roots of *Daucus carotta* and *Atropa belladonna*. Cell Physiology 30: 605-608.
- Kavi, P. S. (1977) The effect of magnetic treatment of soybean seed on its moisture absorbing capacity. Science Culture 43:405-406.
- Kordas, L. (2002) The effect of magnetic field on growth, development and the yield of spring wheat. Polish Journal of Environmental Studies 11:527-530.
- Labels, M. M. (1993) A possible explanation for the effect of magnetic fields on biological systems. Nature 211:969-975.
- Liboff, A. R., McLeod, B. R. and Smith, S. D. (1989) Rotating magnetic fields and iron cyclotron resonance. Journal of Bioelectronics 8:119-125.
- Nechiporenko, G. A., Dobrovolski, M. V., Novitsky, I.Y. (2001) The effect of weak permanent mag-