نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، ص. ۹-۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 26, No. 1, Spring 2012, P. 1-9
ISSN: 2008 - 4730

تاثیر میدان مغناطیسی ایستا بر برخی خصوصیات رشدی قارچ صدفی (*Pleorotus florida*)

رضا بهروزی[1*]- محمد فارسی[2]- نسا جعفری[3]- میثم شیخ پور آهندانی[4]

تاریخ دریافت:۸۹/۴/۷
تاریخ پذیرش:۹۰/۱۱/۱۸

چکیده

بی شک حضور میدان‌های مغناطیسی در زندگی انسان امروزی پدیده‌ای انکار ناپذیر است. میدان‌های مغناطیسی از منابع پیچیده و مهم انرژی هستند که قادرند فرایندهای زیستی را تحت تاثیر قرار دهند. ارگانیسم‌های زنده به واسطه‌ی داشتن یون‌ها و رادیکال‌های آزاد از این میدان‌ها بسیار تاثیر می‌پذیرند. به منظور بررسی اثرات میدان مغناطیسی ایستا بر سرعت رشد و قطر پرگنه قارچ صدفی(*Pleorotus florida*) آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد و تاثیر دو فاکتور شدت میدان مغناطیسی در ۴ سطح (۰،۱ ، ۴ و ۶ میلی تسلا) و نیز مدت زمان قرار گیری در میدان در سه سطح (۱، ۲ و ۴ روز) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که اعمال شدت میدان ۴ میلی تسلا برای ۲ روز و ۱ میلی تسلا برای ۲ روز به ترتیب بیشترین افزایش قطر پرگنه در قارچ صدفی را نشان داد. اعمال تیمار ۶ میلی تسلا برای مدت طولانی تر- ۲ و ۳ روز- باعث بازدارندگی رشد پرگنه قارچ نسبت به شاهد شد. به نظر می‌رسد اعمال شدت مناسب میدان‌های مغناطیسی در مدت زمان مناسب با تاثیر بر میزان شار یون از طریق تاثیر بر غشای سلولی و ایجاد یک شار یون مثبت (معمولاً یون کلسیم) متابولیسم عادی سلول را تحت تاثیر قرار داده و باعث افزایش تقسیم سلولی و در نهایت افزایش رشد می‌شود.

واژه های کلیدی: میدان مغناطیسی هلم هولتز، سرعت رشد، قطر پرگنه، *Pleoretus florida*

مقدمه

موجودات زنده قادرند شدت، قطبیت و جهت حوزه‌های مغناطیسی زمین را حس کنند. شواهدی وجود دارد که ریتم‌های ژئومغناطیسی در سازماندهی ریتم‌های فیزیولوژیک به عنوان یک راهنمای زمانی عمل می‌کنند. مغناطیس زمین بر روی جهت مهاجرت فصلی پرندگان نیز اثر دارد (۲۵). ارتباطات الکترومغناطیس مولکولی می‌تواند مسئول عملکرد تلفیقی، سریع و هوشمند سیستم زنده در نظر گرفته شوند. بسیاری از دانشمندان معتقدند اعمال ویژه بیومولکول‌ها و نیز آنتی‌ژن-ها بیشتر بر اثر تعاملات الکترومغناطیسی صورت می‌گیرد (۴). حوزه-های مغناطیسی بر زنجیره فرآیندهای انتقال سیگنال تنظیمی اثر می‌گذارند که یکی از اولین تاثیرات، اثر بر ورود کلسیم به داخل سلول است (۴). بیشتر گزارشات حاکی از آن است که میدان‌های مغناطیسی سرعت رشد را کاهش می‌دهند و روی تقسیم سلولی، حساسیت نسبت به عوامل تنش‌زا، تغییر در سطح سلولی ودرون سلولی، بالا بردن میزان جذب Ca^{2+}، فعالیت آنزیم‌ها و جریان‌های متابولیکی تاثیر دارند (۶ و ۷). یک حوزه ضعیف ارتعاشی در طیف ۶۰ Hz – ۵۰ می‌تواند مضر باشد در حالی‌که حوزه‌ای با قدرت مشابه، اما با فرکانس پایین‌تر (۲ Hz، ۷، ۱۰و ۱۵) می‌تواند به ترتیب ترمیم بافت‌هایی نظیر عصب، استخوان، لیگامان و عروق را تحریک کند (۴). در ارتباط با تاثیر میدان مغناطیسی بر گیاهان، اطلاعات متفاوت و بعضاً متناقضی در دست است. اثر میدان های مغناطیسی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت از قبیل: پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز، سوپر اکسید دسموتاز و کاتالاز در سلول‌های گیاهی مطالعه شده است و نشان داده شده است که میدان‌های مغناطیسی در سلول‌های گیاهی نیز نظیر سلول-های جانوری می‌توانند بر سیستم آنتی‌اکسیدانت اثر بگذارند (۲۳). موراجی و همکاران (۱۹) تاثیر میدان مغناطیسی متناوب بر سرعت رشد اولیه ریشه‌چه‌های گیاه ذرت را بررسی کردند. آنها بیان کردند که بیشترین سرعت رشد مربوط به میدان مغناطیسی با فرکانس۱۰Hz می‌باشد. در آزمایشی سرعت جوانه‌زنی بذور سیب‌زمینی تحت میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی AC مورد

۱،۲و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email:Behroozireza@yahoo.com
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

مطالعه قرار گرفت (۱۸). در این آزمایش سرعت جوانه زنی بذور سیب‌زمینی تحت تاثیر میدان، ۱/۱ تا ۲/۸ برابر شاهد بود. تاخیر در پیری و تغییر در سطوح آنتی اکسیدانت‌ها در گیاهچه‌های خیار اتیوله شده در حضور میدان مغناطیسی با شدت ۱mT و فرکانس ۵۰Hz بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که میدان مغناطیسی با افزایش سطوح آنزیم های GR[1]، SOD[2] و CAT[3] باعث افزایش عمر سلول و تاخیر در فرایند پیری می‌گردد (۲۱). بینان و همکاران (۲۷) تاثیر میدان مغناطیسی را به عنوان پیش تیمار بر رشد گیاهچه‌های خیار اتیوله بررسی کردند. آنها بیان داشتند که پیش تیمار میدان مغناطیسی اثر افزاینده‌ای بر سرعت جوانه‌زنی بذرها، رشد و نمو گیاهچه، اکسیداسیون لیپید و نیز میزان اسید اسکوربیک داشته است. همچنین میدان مغناطیسی حساسیت گیاه را نسبت به UV-B افزایش داد. به طور کلی از میدان‌های مغناطیسی به طور گسترده به عنوان پیش تیمار بذرها برای افزایش قدرت بذر، رشد گیاهچه و عملکرد استفاده می‌شود.

درباره تاثیر میدان‌های مغناطیسی بر رشد و مورفولوژی میکروارگانیسم‌ها به ویژه قارچ‌ها مطالعات اندکی انجام شده است. تاثیر میدان‌های مغناطیسی بر میکروارگانیسم‌ها بسته به سویه و ویژگی‌های میدان مورد استفاده متفاوت است (۸). شدت های کم میدان مغناطیسی روی ارگانیسم‌های زنده مختلف اثر داشته است که بسیاری از اطلاعات بدست آمده از این آزمایشات در ارتباط با تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی روی ماکرومولکول‌ها یا سلول‌ها است (۲۰). مطالعات اولیه‌ای در ارتباط با تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی سینوسی بر روی مخمر *Saccharomyces cerevisiae* و *Candida albicas* صورت گرفته است که نشان دهنده افزایش رشد این میکروارگانیزم‌ها در شدت های $B<1\ mT$[4] و تاثیرهای ممانعت کننده رشد در شدت‌های B>۲mT است (۱۳ و ۱۷). مطالعات نشان داده است که میدان‌های مغناطیسی می‌توانند بر تکثیر و میزان متابولیت‌های تولیدی و بسیاری از فعالیت‌های آنزیمی میکروارگانیسم‌ها نیز اثر بگذارند. در مطالعه‌ای شدت میدان مغناطیسی ۰/۰۲۵mT و ۰/۱ و فرکانس ۵۰Hz روی قارچ *Pisolithus tinctorius* مورد مطالعه قرار گرفت که افزایش میزان رشد و همچنین افزایش محتوای ارگوسترول در این قارچ را موجب شد (۲۲). اعمال یک میدان مغناطیسی با شدت ۱۰mT روی قارچ‌های *Chaetomium globosom* و *Trichoderma viridae* باعث تحریک فعالیت آنزیم کاتالاز شد. مطالعه درباره تاثیر میدان مغناطیسی بر ارگانیسم‌ها نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی ضعیف تعادل بیوشیمیایی را در قارچ‌ها به هم می‌زند. از جمله‌این اثرات می‌توان به افزایش در سطح پراکسیداز هیدروژن و در نتیجه افزایش در تولید آنزیم کاتالاز اشاره کرد (۱۶).

از دیگر اثرات میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی بر قارچ‌ها می‌توان به تاثیر بر تولید کنیدی‌ها و جوانه زنی اسپور در آن‌ها اشاره کرد که این تاثیرات نیز در سویه‌های مختلف می تواند متفاوت باشد. در مطالعه‌ای میزان کنیدی‌های *Alternaria altemata* و *Curvularia inaqeualis* تحت تاثیر میدان به طور معنی داری افزایش پیدا کرده است (۱۳۳–۶۸ درصد). این در حالی است که تعداد کنیدی‌های *Fusarium oxysporum* کاهش داشته است (۹۳–۷۹ درصد). این نتایج نشان داد که میدان مغناطیسی به کار برده شده (۱–۰/۵ mT) که حدود ۲۰–۲ برابر میدان مغناطیسی زمین است تاثیر معنی داری روی تشکیل کنیدی‌ها در پاتوژن های گیاهی مورد مطالعه داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میدان مغناطیسی زمین ممکن است روی تشکیل کنیدی‌ها در قارچ های پاتوژن گیاهی اثر گذار باشد (۲۰).

در ارتباط با تاثیر میدان مغناطیسی بر رشد قارچ‌های خوراکی نیز اندک مطالعاتی انجام گرفته است که هر چند کم اما از جهاتی قابل توجه است. انگورو و همکاران (۵) تاثیر میدان مغناطیسی با شدت ۱/۷ mT - ۰/۱ را روی سرعت رشد، شکل، حجم، اندازه، رنگ و رشد زایشی چندین گونه قارچ مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاکی از تاثیر معنی‌دار میدان مغناطیسی بر این قارچ‌ها بود. جوانمردی و همکاران (۱۵) در مطالعه‌ای تاثیر میدان مغناطیسی (۰ ،۳، ۶، ۹، ۱۲ mT) را بر روی برخی ویژگی‌های قارچ صدفی (*Pleurotus florida*) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شدت ۱۲ mT بر وزن تر، طول پایه و قطر کلاهک قارچ تاثیر معنی داری داشته است و باعث افزایش این شاخص‌ها شده است. همچنین در این مطالعه نشان داده شد که دمای نهایی، pH و CO_2 بستر قارچ نیز افزایش یافته و به ترتیب ۳۰ درجه سانتیگراد، ۸ و ۰/۲۵درصد ثبت شد. افزایش pH ممکن است به علت رشد و نمو بیشتر میسیلیوم در شدت ۱۲ mT باشد.

تولید قارچ به علت عدم رقابت با گیاهان دیگر و عدم وابستگی به اراضی بارور صرفه اقتصادی قابل توجهی خواهد داشت. از این رو به دست آوردن روشی برای افزایش عملکرد در واحد سطح از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. در این آزمایش سعی شد با اعمال تیمارهای متفاوتی از شدت میدان مغناطیسی و زمان در معرض میدان قرار گرفتن نمونه‌ها، رشد کلنی‌ها افزایش یابد. فرض بر این است که می‌توان با افزایش سرعت رشد پرگنه عملکرد را افزایش داد.

1- Glutathione reductase
2- Superoxide dismutase
3- Catalase
4- Millitesla

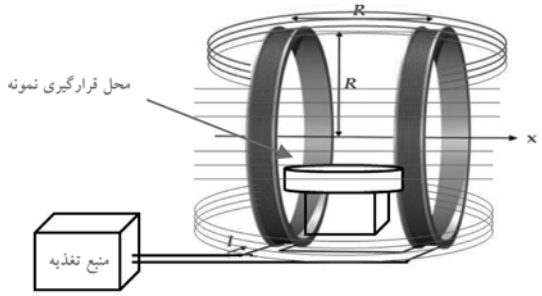
مواد و روش ها

به منظور بررسی اثرات میدان مغناطیسی DC بر سرعت رشد و قطر پرگنه قارچ صدفی (*Pleorotus florida*) آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تاثیر دو فاکتور شدت میدان مغناطیسی- فرکانس ۵۰Hz - در ۴ سطح (A_1=۰ mT، A_2=۱، A_3=۴ و A_4=۶) و نیز مدت زمان قرار گیری در میدان در۳ سطح (T_1=۱، T_2=۲ و T_3=۴ روز) روی قطر پرگنه و سرعت رشد قارچ مورد بررسی قرار گرفت. جهت آماده سازی نمونه برای قرارگیری در میدان از میسلیوم قارچ صدفی فلوریدا که در پتری دیش حاوی محیط کشت PDA رشد داده شده بود، استفاده شد. قطعاتی به شعاع ۹ میلی متر از میسلیوم گسترش یافته روی محیط کشت PDA پس از برش به پلیت‌های حاوی محیط PDA دیگری منتقل شد (۸). سعی شد این قطعات کاملاً در وسط پلیت قرار گیرد. بعد از انتقال قطعات به محیط کشت، برای اعمال تیمارهای مورد نظر، نمونه‌ها به درون دستگاه تولید کننده میدان مغناطیسی منتقل شدند. برای تامین شدت میدان‌های مورد نیاز از پیچه‌ی هلم هولتز استفاده شد (۸). مهمترین ویژگی این میدان یکنواخت بودن آن است. این دستگاه دارای دو پیچه دایره‌ای شکل با شعاع برابر است که به فاصله‌ای برابر با شعاعشان از همدیگر قرار دارند و از هر دو شدت جریان مساوی عبور می‌کند (شکل ۱). شدت میدان مغناطیسی به صورت تئوری در داخل فضای بین دو پیچه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

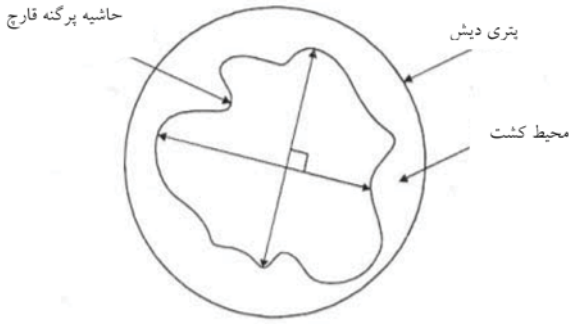
$$B = 0.715\ \mu_0 \frac{nI}{R}$$

$$\mu_0 = 1.256 \times 10^{-6}\ \ Volt.sec/A.M$$

در این رابطه R شعاع میدان (برحسب cm)، n تعداد دور برای هر یک از حلقه‌ها و I شدت جریان (برحسب آمپر) می‌باشد (۱۴ و ۲۰). با توجه به ثابت بودن تعداد دور و شعاع پیچه ها، با تغییر جریان ورودی دستگاه شدت‌های مورد نظر (۰ mT، ۱، ۴ و ۶) حاصل شد. برای اطمینان از صحت شدت میدان‌های تولیدی در دستگاه طراحی شده، از یک تسلامتر (Germany, KAISE, Digital multitester sk-6111) استفاده شد و دستگاه در اتاقک رشد با دمای ۲۵°C قرار داده شد (۱۵). با قرار گرفتن پتری‌های حاوی قطعات ۹ میلی‌متری میسلیوم قارچ (رشد داده شده در محیط PDA به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۰° C) در دستگاه، تیمارهای مورد نظر در تعداد تکرارهای موجود اعمال شد. بعد از سپری شدن مدت زمان لازم در شدت میدان خاص، پتری دیش‌ها از دستگاه خارج شده و ادامه رشدشان در بیرون از میدان در اتاقک رشد تاریک ۲۵° C انجام شد. قطر پرگنه‌ها به صورت روزانه – به مدت ۸ روز تمام- در دو جهت و به صورت عمود بر هم با خط کش اندازه گیری شد (شکل ۱) و میانگین آنها به عنوان قطر پرگنه در مقایسات آماری مورد استفاده قرار گرفت (۲۰). از آن جا که رشد در قارچها از یک الگوی منطقی پیروی می‌کند (۲۰). با برازش بهترین خط ممکن – درجه سوم- از بین میانگین‌ها، سرعت رشد به میلی‌متر در روز با استفاده از شیب این خط محاسبه شد که این کار با استفاده از نرم افزار JMP 7 با ضریب اطمینان ۹۵٪ صورت گرفت. سطوح معنی‌داری برای سرعت‌های رشد با استفاده از آزمون Student t-test مورد بررسی قرار گرفت (۲۰). در نهایت قطر پرگنه-ها در روز هشتم به عنوان شاخص رشد نهایی برای آن تیمار در نظر گرفته شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از JMP 7 انجام شد.



شکل ۱- تصویر شماتیک میدان مغناطیسی هلم هولتز



شکل ۲- اندازه گیری پرگنه قارچ

نتایج

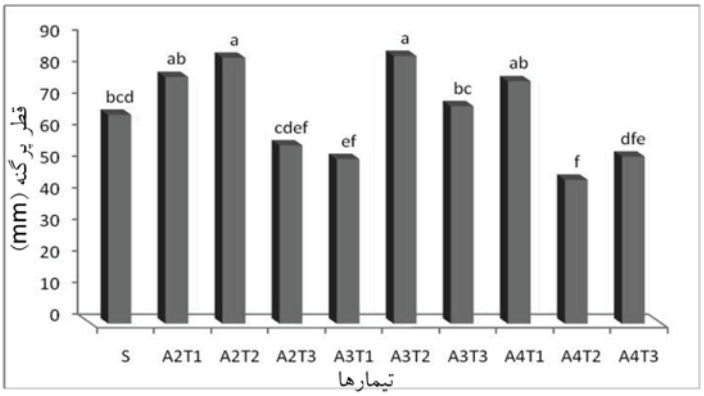
با توجه به تیمارهای اعمال شده در این آزمایش بسته به میزان در معرض بودن نمونه‌ها، تاثیرات متفاوتی روی قطر نهایی پرگنه و سرعت رشد ملاحظه شد. با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متقابل معنی داری بین شدت میدان و مدت زمان اعمال میدان ملاحظه شد ($P\leq$۰/۰۰۱).

با توجه به معنی دار بودن اثر متقابل، مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال ۵٪ برای اثرات متقابل انجام گرفت. نتایج در نمودار مقایسات میانگین آمده است (نمودار ۱).

با توجه به نمودار مقایسه میانگین‌ها ملاحظه می‌شود که استفاده از میدان مغناطیسی در مدت زمان مناسب سبب افزایش قطر پرگنه قارچ خوراکی شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر و مدت میدان مغناطیسی روی رشد پرگنه قارچ صدفی

منبع تغییرات	df	SS	Ms	F	Prob>F
شدت میدان مغناطیسی	۳	۱۰۰۲/۹۰۸۰	۳۳۴/۳۰۲۷	۴/۹۲۶۰	۰/۰۰۸۳*
مدت زمان حضور در میدان	۲	۵۶۷/۵۱۰۴	۲۸۳/۷۵۵۲	۴/۱۸۱۲	۰/۰۲۷۷*
اثر متقابل	۶	۳۹۱۲/۸۷۸۵	۶۵۲۰/۴۶۴	۹/۶۰۹۵	<۰/۰۰۰۱**
خطا	۲۴	۱۶۲۸/۷۵۰۰	۶۷/۸۶۵		
کل	۳۵	۷۱۱۲/۰۴۶۹			



نمودار۱- مقایسه میانگین‌ها. تیمارها ((A_1=۰ mT، A_2=۱، A_3=٤ و A_4=٦) و (T_1=۱، T_2=۲ و T_3=٤ روز)). میانگین‌هایی که حرف یا حروف مشترک دارند در سطح(α=۰/۵) اختلاف معنی‌داری ندارند.

در این آزمایش بیشترین قطر پرگنه مربوط به تیمارهای A_2T_1، A_2T_2، A_3T_2 و A_4T_1 بود که این تیمارها با هم اختلاف معنی داری نداشتند. بیشترین رشدها در مقایسه با شاهد مربوط به تیمارهای A_2T_2، A_3T_2 و A_4T_1 بود (نمودار ۱).

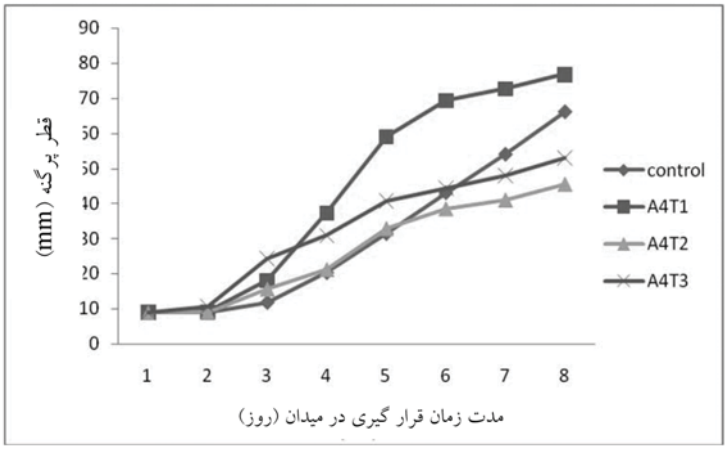
با توجه به نمودار ۲ در تیمار شاهد حداکثر رشد پرگنه حاصل نشده است و فاز وقفه[1] نیز طولانی‌تر از تیمارهای دیگر است. می‌توان گفت حضور در میدان مغناطیسی سبب شده است که فاز وقفه رشد سریعتر پایان یافته و فاز لگاریتمی[2] زودتر آغاز شده است. همانطور که ذکر گردید تاثیر میدان‌های مغناطیسی بر میکروارگانیسم‌ها بسته به سویه قارچ و ویژگی‌های میدان مورد استفاده متفاوت است در آزمایشات مختلفی این مطلب بیان شده است که تاثیر میدان بر رشد بستگی به شدت مورد استفاده و همچنین مدت زمان مورد استفاده دارد (۸). با توجه به نمودارهای سرعت رشد (نمودار ۲) ملاحظه می‌شود که نهایت قطر پرگنه تیمار شاهد در انتهای ۸ روز کمتر از ۷۰ میلی متر است. این در حالی است که قطر پرگنه در تیمارهای ۱ mT در دو روز (A_2T_2) و ۴mT در ۲ روز (A_3T_2) در انتهای روز هشتم به حدود ۸۵ میلی متر رسیده است که این نشان دهنده افزایش رشد در این تیمارها است.

همچنین ملاحظه می‌شود که تیمار۶ mT در ۱ روز (A_4T_1) بیشترین افزایش رشد را در روزهای ابتدایی تا روز ششم نشان می‌دهد و افزایش رشد چشمگیری نسبت به بقیه تیمارها داشته است. بیشترین رشد (۶۹/۵ mm) در روز ششم مربوط به این تیمار بوده است (این در حالی است که شاهد در انتهای روز هشتم به رشد ۶۶ میلی متری رسیده است). از روز ششم به بعد پرگنه‌های تحت تاثیر این میدان تقریباً وارد فاز ثبات[3] رشدی شده اند، این در حالی است که پرگنه‌های تحت تیمار ۴ mT در ۲ روز (A_3T_2) و ۱mT در ۲ روز (A_2T_2) هنوز به فاز ثبات وارد نشده‌اند و همچنان با سرعت به رشد خود ادامه می‌دهند (نمودار ۲).

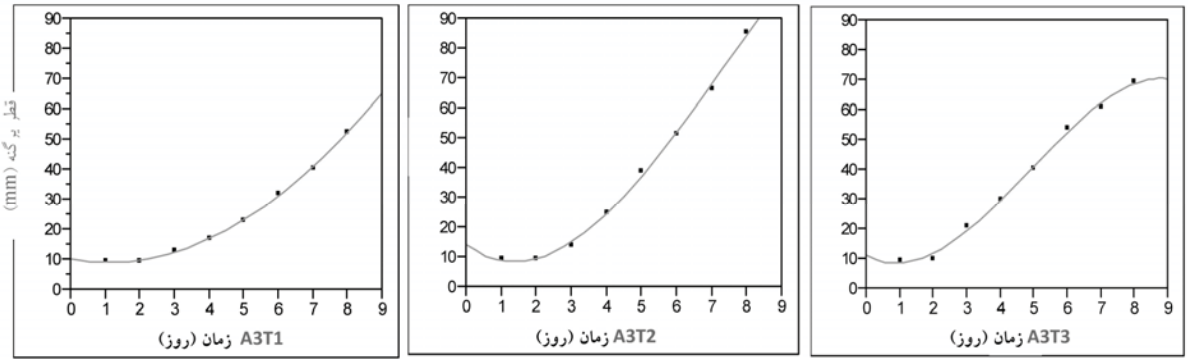
در نمودار۳ ملاحظه می‌شود که همزمان با افزایش شدت میدان به ۶ mT و مدت در معرض بودن نمونه‌ها، کاهش محسوسی در قطر نهایی کلنی‌ها و سرعت رشد آن‌ها دیده شد تا جایی که بیشترین کاهش رشد نسبت به سایر تیمارها مخصوصاً تیمار شاهد، در تیمارهای A_4T_2 و A_4T_3 (۶ mT در ۲ روز و ۴ روز) ملاحظه شد.

1- Lag phase
2- Expotential
3- Stationary phase

نمودار ۲- تیمارهای دارای بیشترین رشد در مقایسه با تیمار شاهد



نمودار ۳- کاهش رشد با افزایش همزمان میدان و مدت زمان در شدت ٦mT

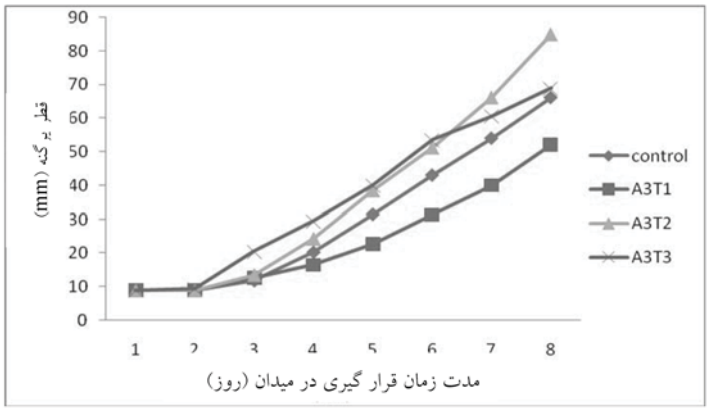


الف ب ج

نمودار٤- مقایسه سرعت رشد کلنی با شدت ٤mT در مدت زمان های الف)۱ روز ب)۲ روز ج)٤ روز

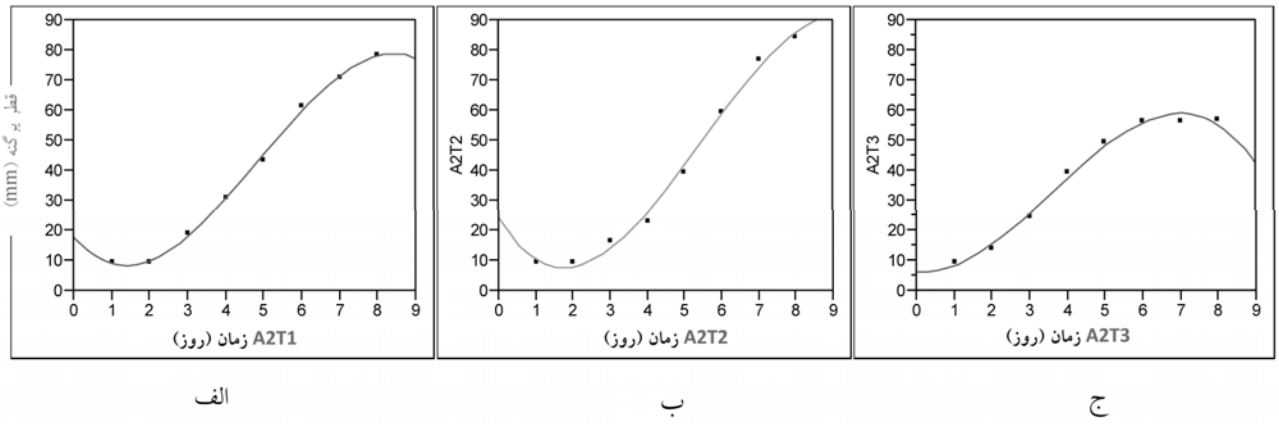
با مقایسه‌ی نمودارهـای رشـد در تیمـار ۴ mT ایـن موضـوع بـه وضوح قابل رویت است که با افزایش مدت زمـان در معـرض میـدان بودن در یک شدت میدان خاص رشد کاهش می یابد. به طـوری کـه در شدت ۴ mT در تیمار ۱ روز خط برازش داده شده، رشد در مرحلـه لگاریتمی را نشان می دهد، اما میسیلیوم قـارچ در انتهـای روز هـشتم هنوز نتوانسته پتری دیش (۹ سانتی متری) را پر کند (نمودار۴).

همانطور که در نمودار ۵ ملاحظه می‌شود با اضافه شدن مـدت در معرض بودن میدان از یک روز به ۲ روز کامل (۴۸ سـاعت) بیـشترین رشد حاصل می‌شود. براساس نمودار رشد قارچ هنوز به مرحله‌ی ثبات رشدی وارد نشده و همچنان به رشد خود ادامه می‌دهد این در صورتی است که نمونه‌های مورد تیمار قرار گرفته با شدت ۴ mT به مـدت ۲ روز (A_3T_2) در اوایل روز هفتم به رشدی بالاتر از رشـد تیمـار شـاهد رسیده‌اند و این به معنی افزایش سرعت رشد در این تیمار است.

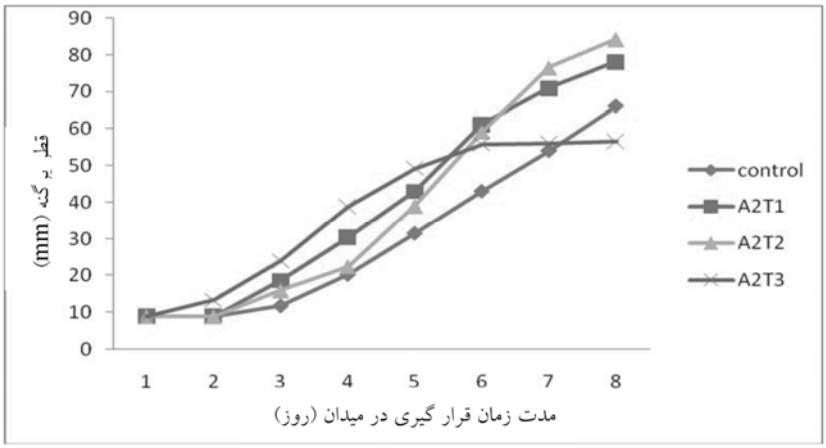


نمودار۵- مقایسه رشد میسیلیوم قارچ خوراکی در شدت ٤ mT در سه زمان متفاوت نسبت به شاهد

در نمودار ۴- ج در همان شدت مورد استفاده (۴ mT)، با افزایش مدت زمان (۴ روز کامل) ملاحظه می‌شود که میزان رشد کاهش یافته و در روزهای انتهایی نمونه‌ها وارد فاز ثبات رشدی شده‌اند و اختلاف معنی داری در قطر کلنی در مقایسه با شاهد ملاحظه نمی‌شود. این موضوع در مورد تیمارهای زمانی مربوط به شدت ۱ mT نیز صادق است و با افزایش مدت زمان در معرض میدان بودن ابتدا شاهد افزایش قطر پرگنه (A_2T_2) و سپس شاهد کاهش در سرعت رشد، کاهش قطر پرگنه در انتهای دوره آزمایشی و در نهایت وارد شدن به فاز ثبات رشدی هستیم (نمودار ۶ و ۷).



نمودار٦- مقایسه سرعت رشد پرگنه با شدت ۱mT در مدت زمان های الف)۱ روز ب)۲ روز ج)٤ روز



نمودار ۷- مقایسه رشد میسیلیوم قارچ خوراکی در شدت ۱ mT در سه زمان متفاوت نسبت به شاهد

با افزایش شدت میدان، استفاده از زمان کمتر رشد بیشتری را باعث شد. همانطور که ملاحظه می‌شود اعمال تیمار ۶ mT در ۱ روز (A_4T_1) باعث افزایش رشد نسبت به شاهد شده است. با افزایش مدت زمان از یک روز به ۲ روز بر عکس شدت های مورد استفاده دیگر (۴ mT و۱) کاهش شدیدی در رشد اتفاق می‌افتد با اعمال تیمار ۴ روزه نیز شاهد این کاهش رشد بودیم. می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش شدت میدان مورد استفاده باید زمان کمتری برای در معرض قرار گرفتن استفاده شود.

بحث

مطالعات ثابت کرده است که میدان‌های مغناطیسی ضعیف[1] تغییرات قابل ملاحظه‌ای در ویژگی‌های مورفولوژیکی و متابولیکی ارگانیسم‌های مورد مطالعه ایجاد می‌کنند. تاثیر بر رشد از مهم‌ترین موضوعات مورد مطالعه در این زمینه است که می‌تواند افزاینده یا کاهنده باشد. میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی باعث ایجاد تحریکات و در نهایت تغییراتی درون سلول‌های مورد تیمار می‌شوند. طبق مطالعات انجام شده بیشتر این تحریکات شامل غشای سلولی می‌شود. از تاثیرات مهم این میدان‌ها نخست تغییر در میزان شار یون از طریق تاثیر بر غشای سلولی است. میدان‌های مغناطیسی با تاثیر بر فعالیت کانال‌های یونی ورود و خروج یون‌های خاصی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این فرضیه با نتایج حاصل از مطالعه داوی و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. طبق این نظریه میدان مغناطیسی ایستا میزان یون‌های پتاسیم، کلسیم و همچنین اسیدهای آمینه را در قارچ *Agaricus bispours* افزایش می‌دهد (۱۱). ساخانینی و همکاران (۲۴) نیز تاثیر میدان‌های مغناطیسی با فرکانس ۷ تا ۷۲Hz و شدت ۱۴ تا ۱۱۴ mT را بر کانال های پروتئینی انتقال Ca^{2+} گزارش کردند.

خود سلول‌ها نیز به علت وجود یون‌ها و رادیکال‌های آزاد اندکی دارای شار می‌باشند و در واقع یک منبع مغناطیسی داخلی به شمار می‌آیند که حضور میدان مغناطیسی خارجی آن را متاثر می‌سازد (۲۶). البته همه عناصر در حضور میدان دارای شار مثبت نمی‌شوند. مثلاً غلظت کلسیم، منیزیم، منگنز، آهن، سدیم، پتاسیم و روی افزایش می‌یابد، اما غلظت فسفر کاهش می‌یابد. یعنی شارهای الکتریکی منفی از جذب آنیون هایی مثل فسفر ممانعت می‌کنند (۱۱). وجود جریان‌های یونی در سلول‌ها ثابت شده است. این جریان بین سلولی[2] که عمدتاً به وسیله یون‌های کلسیم ایجاد می‌شود، در حدود ۱۰۰ پیکوآمپر است. این جریان یون قطبیت در سلول را القا می‌کند و اهمیت این قطبیت از آن جهت است که محلی که بار مثبت به درون سلول جریان می‌یابد محلی است که بعداً سلول از آن جا به طرف بیرون رشد می‌کند (۱). وجود یک جریان یونی در غشا، اختلاف پتانسیل الکتریکی در سرتاسر غشا به وجود می‌آورد که قادر است سایر خصوصیات غشا مانند توزیع پروتئین‌های غشایی را تغییر دهد. این جریان‌ها هم چنین ترکیب یونی سیتوسول را نیز عوض می‌کنند که مقدار آن بسته به یون‌های تولید کننده جریان متفاوت است. از آن جا که غلظت کلسیم در سیتوسول بسیار پایین است (بین 10^{-6} تا 10^{-8} مولار) حتی افزایش جزئی غلظت کلسیم درون سلولی می‌تواند اثر قابل توجهی داشته باشد. به علاوه جریان بین سلولی می‌توانند یک میدان الکتریکی را در داخل سلول ایجاد نموده و باعث جابجایی مولکول‌های بار دار یا اندامک‌ها شود (۱). بیشترین رشد مشاهده شده در این آزمایش مربوط به تیمارهای A_3T_2، A_2T_2،A_2T_1 و A_4T_1 بوده است. با توجه به این تئوری شاید بتوان گفت که با ایجاد یک شار مثبت یونی متابولیسم عادی تحت تاثیر قرار گرفته و تقسیم سلولی سرعت می‌یابد که این نتیجه با نتایج داوی و همکاران (۱۱) مطابقت دارد. در آزمایشی شدت‌های ۷ mT–۵ باعث افزایش قطر میسیلیوم قارچ و میزان متابولیت‌های تولیدی در سویه *Trichophyton schoenleinii* شد (۸). همچنین استفاده از شدت میدان‌های بالاتر با زمان بیشتر، باعث کاهش رشد شد. آزمایشات دیگری نیز بر این موضوع تاکید کرده‌اند. میدان‌های بالاتر از ۱۰ mT تاثیر معنی‌داری روی تکثیر بعضی از قارچ‌ها مثل *Trichophyton ajelloi* نداشته است. همچنین استفاده از شدت‌های بالا باعث بازدارندگی از رشد می‌شود. مثلاً در مورد قارچ *Microsporum cookei* استفاده از تیمار ۱۰ mT کاهش معنی‌داری روی رشد ایجاد کرد (۸). یون کلسیم از مهمترین یون‌هایی است که بسیار تحت تاثیر انواع محرک‌های هورمونی، عصبی و غیره قرار می‌گیرد. این محرک-ها منجر به افزایش ورود کلسیم از طریق کانال‌های اختصاصی از شبکه‌ی آندوپلاسمی به سیتوسول می‌شود که آغاز یک پاسخ سلولی را سبب می‌شود (۳). شاید بتوان گفت که میدان‌های مغناطیسی به عنوان یک محرک خارجی عمل کرده و با تحریک کانال‌های اختصاصی ورود و خروج کلسیم باعث بالا بردن غلظت این یون در سیتوسول می‌شوند و از این طریق نیز باعث ایجاد تغییراتی در سلول می‌شوند. اثر محرک خارجی این است که یک پیام به پیام دیگر (فراوانی و بزرگی تغییرات داخل سلول مثل یون کلسیم) تبدیل گردد. از آن جا که کلسیم یکی از سیگنال‌های مهم سلولی است، نقش مهمی در انتقال پیام ایفا می‌کند. برای این سیگنال ها می‌توان نقش هایی چون فعال یا غیر فعال کردن یک ژن را نیز متصور شد (۲۰).

نظریه دیگری که می‌تواند رشد بیشتر میسیلیوم قارچ را توجیه کند این است که حضور در میدان باعث یک سری تغییرات کلی

1- Low magnetic field
2- Transcellular current

سلولی می‌شود که شرایط احیا شده بیشتری را برای سلول بـه همـراه دارد. این امر نقش تعدیل کنندگی را برای مسیرهای انتقـال سـیگنال بازی می‌کند (۱۲). به دنبال آن بیان آنتی آپاپتوزیزها و پـروتئین‌هـای ترمیمی افزایش می‌یابند و در کل تغییرات سیکل سلولی کـه یکـی از آن ها افـزایش رشـد اسـت را موجـب مـی‌شـوند. بـه عبـارتی وقتـی میسیلیوم‌های قارچ در معرض میدان قرار می‌گیرنـد تغییـرات غـشای سلول و به دنبال آن تحرکات یونی انتقال سیگنال‌هـای فعـال شـدن آنتی آپاپتوزیزها را تسهیل می‌کند و به موجب آن آپـاپتوزیز سـلول‌هـا دیرتر اتفاق می‌افتد. نتایج حاصله نیز بر این نظریه دلالت دارنـد. زیـرا تیمارهای معنی‌دار از نظر حداکثر رشد، بعد از پایان ۸ روز اندازه گیری قطر پرگنه هنوز وارد فاز ثبات رشدی نشده اند. همانطور که ملاحظـه شد در تیمارهای معنی دار (A_2T_1،A_2T_2 و A_3T_2، A_4T_1) بعد از پایان ۸ روز، حداکثر رشد در پتری دیش حاصل شده است. در حـالی کـه در تیمار شاهد بعد از پایان ۸ روز، هنوز تمام پتری دیش (۹ cm) توسـط پرگنه قارچ پر نشده است.

شاید بتوان گفت میدان مغناطیسی ضعیف از طرفـی بـا تـاثیر بـر تحرکات یونی و سیگنال‌های پروتئین‌هـای خـاص تقـسیم سـلولی را تسریع کرده و به موجب فعال شدن آنتی آپاپتوزیزها دوره حیات سلول را طولانی‌تر می‌کند و از طرف دیگر باعث سهولت در استفاده از مـواد غذایی، جذب یون‌ها و شادابی سلول‌ها می‌شود. یعنی حضور در میدان سبب شده است که رشد نهایی میسیلیوم افزایش یابد و سیکل سلولی به علت تقسیم های سریع به پایان نرسد و همچنان ادامه یابد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از هم‌فکری و راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتـر مسعود اصفهانی کـه در انجـام ایـن مطالعـه مـا را یـاری نمـوده انـد سپاسگذاریم. همچنین از آقایان مهنـدس مـصطفی کبیـر و مهنـدس مهدی بهروزی که در طراحی دستگاه تولید کننده میدان نقش بسزایی داشتند کمال تشکر را داریم.

منابع

۱- تایز ل. و زایگر ا. ۱۳۷۹. (ترجمه): م. کافی. ا. زند. ب. کامکار. ح.ر. شریفی و م. گلدانی. فیزیولوژی گیاهی. جلد دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. صفحات ۱۴۵-۱۳۵.

۲- فارسی م. و گردان م.ح. ۱۳۸۶. پرورش و اصلاح قارچ های خوراکی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

۳- کاکس ام.م و نلسون د.ال. ۱۳۸۶. (ترجمه): رضا محمدی. اصول بیوشیمی لنینجر. انتشارات آییژ. ویرایش چهارم. جلد اول

۴- اوشمن ج. ۱۳۸۵. (ترجمه): ز. موفقی و م. فارسی. اساس علمی درمان با انرژی. انتشارات جهاد دانشگاهی .

5- Anggoro B., Pakpahan P., Kusnoaji M.F.D. and Sirait K.T. 1999. Influence of 50 Hz magnetic field on growth of mushroom species:shitake (*Lentinus edodes*) and oyster (*Pleoretus ostreatus*). Eleventh international symposium on. 1:356-359.

6- Belyavskaya N.A. 2004. Biological effect due to weak magnetic field on plants. Advances in Space Research, 34:1566-1574.

7- Belyavskaya N.A. 2001. Ultrastracture and calcium balance in meristemic cells of pea roots exposed to extremely low magnetic fields. Advances in space research, 28-4: 645-650.

8- Berg A. and Berg H. 2006. Influence of ELF Sinusoidal electromagnetic fields on proliferation and metabolite yield of fungi. Electromagnetic biology and medicine, 25: 71–77.

9- Cakmak I. and Horst W.Y. 1991. Affect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase catalase and peroxidase activities in root type of soybean. Physiological plantarum, 83: 463-468.

10- Dat J., Vandenabeele S., Vranova E., Van Montagu M., Inze. D. and Van Breusegem F. 2000. Dual action of the active oxygen spicies during plant Stress responses. CMLS, 57:779-795.

11- Dhawi F., Al-Khayri J.M. and Hassan E. 2009. Static Magnetic Field Influence on Elements Composition in Date Palm (Phoenix dactylifera L.). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5(2): 161-166.

12- Falone S., Grossi M. R., Cinque B., D'Angelo B., Tettamanti E., Cimini A., Di Ilio C. and Amicarelli F. 2007. Fifty hertz extremely low-frequency electromagnetic field causes changes in redox and differentiative status in neuroblastoma cells. I J BCB. 39: 2093–2106.

13- Fiedler U., Grobner U. and Berg H. 1995. Electrosimulation of yeast during fermentation. Bioelectrochem. Bioenerg. 38:423-425.

14- Halliday D., Resnik R., and Walker, J. 2001. Fundamental of physics. John wiley and sons, Inc.

15- Javanmardi J., Ranjbar M. and Shams Gh. 2008. Effect of magnetic field on growth indices of oyster mushroomb (*Pleurotus florida*). Proceeding of the 17th Congress of the international society for

mushroom scince. 459-913.
16- Manoliua A.L., Opricab L., Olteanub Z., Neacsub L., Artenieb V., Creangac D.E., Rusuc L. and Bodalec L. 2006. Peroxidase activity in magnetically expose cellulolytic fungi. Journal of magnetism and magnetic materials, 300 (1): 323-326.
17- Mehedintu M. and Berg H. 1997. Proliferation response of yeast *Saccharomyces cerevisiae*. On electromagnetic field parameters. Bioelectrochem. Bioenerg. 43:67-70.
18- Moon J.D. and Chung H.S. 2000.Acceleratаion of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. Journal of Electrostatics, 48: 103-114.
19- Muraji M., Asai T. and Tatebe W. 1998. Primery root growth rate of *Zea mays* seedling grown in an alternating magnetic field of different frequencies. Bioelectrochemistry and Bioenergetics, 44: 271-273.
20- Nagy P. 2005. The effect of low inductivity static magnetic field on some plant pathogen fungi. Jornal of central European Agriculture, 6 (2): 167-171.
21- Piacentini M.P., Fraternale D., Piatti E., Ricci D., Vetrano F., Dacha M., and Accorsi A. 2001. Senescence delay and change of antioxidant enzyme levels in *Cucumis sativa* L. etiolatedseeding by ELF magnetic fields. Plant Science. 161:45-53.
22- Ruzic R., Gogala N. and Jerman L. 1997. Sinuosidal magneticfield: Effect on the growth and content of ergostrol in mycorrhizal fungi. Electro and Magnetobiology. 16(2): 129-142.
23- Sahebjamei H., Abdolmaleki P. and Ghanati F. 2007. Effects of magneticm field on the antioxidant enzyme activities of Suspension- Cultured Tobacco cells. Bioelectromagnetics, 28: 42-47.
24- Sakhnini L. 2006. Influence of Ca^{2+} in biological stimulating effects of AC magnetic field on germination of bean seeds.Jounal of Magnetism and Magnetic Materials, 10:1016.
25- Wiltschko R., Stapput K., Thalau P. and Wiltschko W. 2009. Directional orientation of birds by the magnetic field under different light conditions. J. R. Soc. Interface.0367.focus Published online
26- Yanagibashi H., Matsukoka D., Hirama J., Miamoto T., Nishibori K. and Ohdaira Y. 2005. Effect of wavelenghtof stimulate on the bio-electric potentioal and the morphogenetic properties of *Pleurotus eryngii*. J.Shita. 17(4): 175-181.
27- Yinan Y., Yuan L., Yongqing Y. and Chunyang L. 2004. Effect of pretreatment by magnetic field on the sensisivsty of cucumber (Cucumis sativus) seedlings to ultraviolet-B radiation. Environmental and Experimental Botany.54: 286-294.