نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۹، شماره ۱، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۰، ص ۹۴-۸۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 9, No. 1, Mar. – Apr. 2011, p. 88-94
Archive of SID

# بررسی عملکرد و صفات کیفی ریشه چغندرقند تحت تأثیر میدان مغناطیسی و کاربرد نانو ذرات نقره

حسن فیضی [۱*]- پرویز رضوانی مقدم [۲]- علی اصغر برهمند [۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۳۰

## چکیده

به منظور مطالعه تأثیر ترکیب میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره بر عملکرد کمی و کیفی ریشه چغندرقند، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات و فناوری آستان قدس رضوی، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و در سه تکرار انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد ($T_1$) کود کمیرا + میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره، ($T_2$) کود هیوماکس + میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره، ($T_3$) میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره، ($T_4$) کود کمیرا، ($T_5$) کود لیبرل، ($T_6$) کود هیوماکس و ($T_7$) شاهد بودند. نتایج نشان داد که تیمار میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره ($T_3$) با میانگین عملکرد ریشه ۶۸/۵۳ تن در هکتار بطور معنی‌داری نسبت به شاهد با عملکرد ۴۷/۶۷ تن در هکتار عملکرد بیشتری را نشان داد؛ که این مقدار معادل ۴۳ درصد افزایش بود. تحریک رشد اندام هوایی در اثر میدان مغناطیسی و نانوذرات نقره باعث افزایش دو برابر (۱۰۲ درصد) نسبت به شاهد و حدود ۵۳ درصد نسبت به بهترین تیمار کود تجاری ($T_5$) گردید. بیشترین عملکرد قند خالص (۱۲/۷۱ تن در هکتار) در تیمار $T_3$ و کمترین آن در تیمارهای شاهد و $T_4$ به دست آمد. میزان پتاسیم ریشه در تیمارهای $T_2$ و $T_5$ بیشترین و در تیمار $T_1$ بطور معنی‌داری کمتر از بقیه تیمارها بود. اما سایر صفات نظیر میزان سدیم، نیتروژن، قلیائیت، قند خالص، راندمان استحصال و قند ملاس بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشتند. به نظر می‌رسد استفاده از میدان مغناطیسی جهت تحریک رشد و فعالیت‌های گیاه به همراه کاربرد نانو ذرات نقره می‌تواند پتانسیل خوبی برای جایگزینی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** عملکرد قند، عملکرد ریشه، قند ملاس، ترکیبات ریشه

## مقدمه

در طی ۵۰ سال گذشته، پیشرفت فناوری تولید مواد شیمیایی، انقلابی را در تولید محصولات کشاورزی به وجود آورده است (۲۷). تغییرات ایجاد شده در طبیعت در اثر دخالت‌های انسان در خاک، آب و جو بدلیل استفاده از مواد شیمیایی مختلف برای افزایش بهره‌وری گیاهان از یک طرف و مصرف حدود ۱۰ برابر انرژی برای تولید یک واحد از محصول نسبت به قرن گذشته از طرف دیگر، منجر به جستجو جهت پیدا نمودن روش‌های جدید شده است (۴ و ۲۷). روش‌های بیوفیزیکی قادر به رشد گیاهان با سطح بالای انرژی هستند. این روش‌ها مقدار انرژی را، مستقل از منشاء آنها افزایش داده و پتانسیل الکتریکی غشاء را افزایش می‌دهند. روش‌های فیزیکی برای تحریک، ماهیت فرآیندهای فیزیولوژیکی را که توسط سیستم‌های ژنتیکی گیاه کنترل می‌شوند، تغییر نمی‌دهند، به عبارت دیگر آنها بدون دخالت ژنتیکی فرایندهای زیستی و رشد را تحریک می‌کنند. از اینرو کاربرد مقادیر بهینه روش‌های فیزیکی برای بذر و گیاه، اثر ژنتیکی روی گیاه نداشته و به نسل بعد منتقل نخواهد شد (۲۷).

فرایندهای حیاتی بیشتر به تبادل انرژی بین سلول و محیط وابسته‌اند. مواد شیمیایی بهبود دهنده بایستی بطور مستقیم داخل سلول شوند تا تأثیرگذار باشند، ولی تیمارهای فیزیکی با انرژی القا شده به سلول، شرایطی را برای نقل و انتقالات مولکولی ایجاد می‌کنند و در نتیجه مواد ضروری برای سلول را فراهم می‌آورند(۴). بنابراین بعضی دانشمندان معتقدند که قرن حاضر، عصر کاربرد روش‌های بیوفیزیک و تأثیر عوامل فیزیکی روی موجودات زنده خواهد بود(۱۱ ، ۲۷). تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری زراعت (اکولوژی گیاهان زراعی) و استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: hasanfeizi@yahoo.com
۳- پژوهشگر سابق موسسه تحقیقات و فناوری رضوی

www.SID.ir

Archive of SID

مغناطیسی بعنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین جایگزینی کودها و مکمل‌های شیمیایی با تیمارهای فیزیکی، میزان سموم را در مواد خام گیاهی کاهش داده و باعث افزایش سلامت غذا و محیط می‌گردد (۴ ، ۸ ،۲۷). گزارش شده است که میدان مغناطیسی هم فعالیت یونها و هم قطبیت[1] ملکول‌های دوقطبی را در سلول‌های زنده تحت تأثیر قرار می‌دهد (۸ و۱۴). سلول‌های گیاه دارای بار منفی هستند که می‌توانند یون‌های دارای بار مثبت را جذب نمایند. کلسیم تنظیم تمام مراحل رشد و نمو را شامل رشد و تمایز، فتومورفوژنز[2]، امبریوژنز[3]، واکنش‌های خودناسازگاری در برهمکنش بین مادگی و گرده و حرکت سلول‌های روزنه را به عهده دارد. مطالعات سیتوشیمیایی نشان داده است که سلول‌های ریشه در معرض میدان ضعیف مغناطیسی نسبت به سلول‌های شاهد، حالت اشباع از کلسیم را در تمام اندامک‌های خود و سیتوپلاسم نشان می‌دهند. میدان مغناطیسی می‌تواند باعث افزایش رهاسازی رادیکال‌های آزاد گردد و یون‌های کلسیم باعث کاهش مرگ طبیعی سلولها شوند (۸).

بررسی اثر میدان مغناطیسی بر چغندرقند توسط واسیلسکی (۲۷) نشان داد میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش وزن ریشه به میزان ۹۴ درصد، سطح برگ ۵۲ درصد، عملکرد ریشه ۱۲/۸۸ تن در هکتار و درصد قند به میزان ۰/۷ درصد شد. همچنین روچالسکا و همکاران (۲۴) افزایش معنی‌دار میزان سبزشدن بذرهای چغندرقند را به ویژه در بذرهای با بنیه ضعیف‌تر مشاهده نمودند. میزان کلروفیل برگ، عملکرد ریشه و عیار قند نیز افزایش نشان داد. دوآرت دیاز و همکاران (۹) افزایش جذب عناصر غذایی را در گوجه‌فرنگی در اثر تیمار مغناطیسی مشاهده نمودند. در همین راستا ساخنینی (۲۵) افزایش جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه بذور تیمارشده لوبیا با میدان مغناطیسی را در غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم مشاهده نمود. وی بیان نمود که کاربرد میدان مغناطیسی ممکن است بر جریان کلسیم تأثیر گذارد. از طرف دیگر عنوان شده است که یون کلسیم از پیامدهای ثانویه سیتوکنینهاست. بنابراین افزایش سنتز سیتوکنین ممکن است توسط میدان مغناطیسی ایجاد گردد. فاقنابی و همکاران (۱۱) گزارش نمودند که تیمار بذور گلرنگ با مغناطیس باعث افزایش عملکرد دانه به میزان سه برابر شاهد شد و عملکرد را از ۱۳۳۸ کیلوگرم در هکتار در شاهد به ۴۰۰۷ کیلوگرم در هکتار رسانید. همچنین درصد روغن دانه شاهد ۲۵/۷ درصد بود که در تیمار مغناطیس به ۳۱/۵ درصد افزایش یافت.

اثرات مثبت میدان مغناطیسی در بیوسنتز پروتئین‌ها، تکثیر سلول، فعالیت‌های بیوشیمیایی، میزان تنفس، فعالیت آنزیمها، میزان اسید نوکلئیک و دوره رشد و نمو نشان داده شده است (۵). تغییرات در فعالیت آنزیم‌های آمیلاز و نیترات ردوکتاز در بذور در حال جوانه‌زنی در مجاورت تیمار الکترومغناطیس گزارش شده است (۲۸). مجد و شبرنگی (۱۹) افزایش ۱۱ درصدی سرعت جوانه‌زنی بذور عدس را در پیش تیمار میدان مغناطیسی۱۸۰ میلی تسلا به مدت ۱۰ دقیقه و افزایش ۳۴ درصدی را در پیش تیمار ۲۴۰ میلی تسلا به مدت ۲۰ دقیقه روی بذور عدس گزارش نمودند. آنها اظهار داشتند که در گیاهان تیمار شده با مغناطیس، آوندهای چوب و آبکش نسبت به شاهد رشد و نمو بیشتری داشته و سلول‌های پارانشیم و اتاقک زیر روزنه بزرگتر از شاهد بود بنابراین تبادل گاز راحت‌تر انجام گرفت.

ذرات مواد آلی و معدنی در اغلب قسمتها قطبی هستند. به نظر می‌رسد یک میدان مغناطیسی خارجی روی سرعت و جهت جایگزینی ذرات قطبی شده تأثیر می‌گذارد. در نتیجه ممکن است اثر زیادی در سرعت و جهت بعضی فرایندها در گیاه داشته باشد. صعود کاپیلاری در مکانیسم انتقال مواد در بافت‌های زنده نیز ممکن است توسط میدان مغناطیسی تأثیر ببیند (۱۴). راکوچیو و همکاران (۲۲) افزایش ۴/۲ درصدی در میزان کلروفیل a را در تیمار ۵۰ میلی تسلا در ذرت نسبت به شاهد گزارش نمودند. میدان مغناطیسی ضعیف اثر تحریک کنندگی روی افزایش وزن تر، مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی، میزان اسید نوکلئیک و افزایش طول گیاهچه‌های ذرت داشت. مقادیر بالاتر میدان مغناطیسی(۲۵۰-۱۰۰ میلی تسلا) اثر بازدارندگی روی این صفات داشت. ییتان و همکاران (۲۸) افزایش سرعت جوانه‌زنی، رشد و نمو گیاهچه، اکسیداسیون چربی و میزان اسید اسکوربیک را در بذور پیش تیمار شده خیار با میدان مغناطیسی مشاهده نمودند. پولسنی و همکاران (۲۰) نشان دادند که بذور پیش تیمار شده لوبیا با میدان مغناطیسی باعث سبز یکنواخت‌تر و زودتر بذرها شد و عملکرد دانه بطور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود که این امر در اثر تعداد بیشتر غلاف در بوته و تلفات کمتر بوته در واحد سطح در طی فصل رشد بود.

نانوتکنولوژی یکی دیگر از فناوری‌های نوین است که اخیراً وارد عرصه کشاورزی شده است. نانوذرات مجموعه‌های اتمی یا ملکولی با حداقل ابعاد بین ۱۰۰-۱ نانومتر هستند که خواص فیزیکوشیمیایی متفاوتی در مقایسه با توده[4] مواد خود دارند (۲۴). ذرات نانونقره دامنه وسیعی از کاربرد شامل پوشش‌های انتخابی طیفی برای جذب انرژی خورشید، کاتالیز در واکنش‌های شیمیایی، ضدعفونی و موارد دیگر را دارد. خصوصیات فیزیکی نانو ذرات نقره شامل افزایش نور، الکترومغناطیس و ویژگی‌های کاتالیکی نسبت به ماده اولیه است. همچنین خواص ضدمیکربی و سمیت پایین آن برای سلول‌های

1 - Polarization
2 - Photo morphogenesis
3 - Embryogenesis

4 - Bulk

www.SID.ir

Archive of SID

پستانداران، مصرف آنرا افزایش داده است(۷). صالحی و تمسکنی(۲) نشان دادند که تیمار نانو ذرات نقره(۵۰ میلی گرم در لیتر) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه چه و ریشه‌چه و در نهایت بهبود استقرار گندم گردید. تأثیر مثبت نانو ذرات نقره بر رشد گیاهچه موجب استقرار در شرایط تنش شوری نگردید. شاه و بلوزروا (۲۶) نشان دادند که نانوذرات فلزی باعث افزایش نسبت اندام هوایی به ریشه در کاهو شدند. در آزمایشی لو و همکاران (۱۸) مشاهده نمودند ترکیبی از ذرات نانو $SiO_2$ و $TiO_2$ فعالیت نیترات ردوکتاز را در سویا افزایش داد و توانایی جذب و استفاده از آب و کود را تشدید نمود. در مطالعه‌ای زنگ و همکاران (۲۹) افزایش جوانه‌زنی، وزن خشک گیاه، تشکیل کلروفیل، فعالیت آنزیم روبسکو و سرعت فتوسنتز را در اسفناج در اثر تیمار با نانو $TiO_2$ مشاهده نمودند. همچنین گائو و همکاران (۱۲) نشان دادند که فعالیت آنزیم روبیسکو در اسفناج تیمارشده با $TiO_2$ حدود ۲/۶۷ برابر فعالیت روبیسکو در شاهد بود. در آزمایش دیگری راکوچیو و سرینگا (۲۱) گزارش نمودند که نانوذرات آهن علاوه بر تأثیر شیمیایی ممکن است؛ همچنین تأثیر مغناطیسی بر ساختار آنزیم‌ها در مراحل مختلف فتوسنتز داشته باشند. نانوذرات مغناطیسی در غلظت کم اثر تحریک کنندگی بر رشد ذرت داشتند. اما لی و همکاران (۱۶) کاهش رشد گندم و لوبیا را در تیمار با نانو ذرات مس اعلام نمودند. به طور کلی بازدارندگی رشد گیاه در اثر نانوذرات بسته به نوع نانوذرات فلزی، نوع گیاه و نیز غلظت بکار رفته متفاوت است (۱۷).

با توجه به اینکه اکثر آزمایشات به بررسی اثرات پیش تیمار بذر گیاهان با میدان مغناطیسی بر جوانه‌زنی و رشد پرداخته‌اند و در زمینه قرارگیری گیاهان در معرض میدان مغناطیس در طی فصل رشد به همراه استفاده از نانو ذرات نقره مطالعاتی انجام نگردیده است، هدف از مطالعه حاضر بررسی اثرات قرارگیری گیاهان در معرض میدان مغناطیسی در طی فصل رشد به همراه کاربرد نانو ذرات نقره، بر عملکرد ریشه و خصوصیات کیفی ریشه چغندرقند در مقایسه با کاربرد کودهای تجاری بود.

## مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات و فناوری رضوی واقع در کیلومتر ۱۵ جاده مشهد – قوچان در سال ۱۳۸۶ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار و در سه تکرار طراحی شد. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد ترکیبات کودی به شرح ذیل بودند:

($T_1$) کود تجاری کمیرا + $T_3$
($T_2$) کود هیوماکس + $T_3$
($T_3$) میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره
($T_4$) کود تجاری کمیرا
($T_5$) ترکیب تجاری لیبرل
($T_6$) کود هیوماکس
($T_7$) شاهد

قبل از کاشت از خاک محل آزمایش نمونه گیری از عمق ۳۰-۰ سانتی متری انجام و تجزیه آن در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد بصورت جدول ۱ انجام شد.

پس از آماده سازی زمین، کودهای پایه به میزان ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل ،۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم برای تمامی تیمارها پخش و بذر چغندرقند رقم منوژرم افشاری با فواصل ردیف ۵۰ سانتی متر و فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف کشت گردید. ابعاد کرتها ۵×۳/۵ متر بود. و اولین آبیاری در تاریخ ۸۶/۳/۴ انجام شد. کود سرک اوره در یک نوبت به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در اوایل تیرماه در تمامی تیمارها مصرف شد. در تیمار شاهد بجز کودهای مصرف شده هیچگونه کود ریزمغذی دیگر استفاده نگردید. به منظور عدم اختلاط اثر کودهای مختلف با یکدیگر فاصله کرتها از یکدیگر ۱/۵ متر و فاصله بین دو تکرار ۴ متر(جوی فاضلاب و آبیاری جداگانه) در نظر گرفته شد. اولین نوبت مصرف کودهای تجاری حدود یک ماه پس از اولین آبیاری و دفعات بعد نیز به فاصله هر ۲۰ روز انجام شد. مصرف کود هیوماکس همراه با آبیاری به میزان ۲ کیلوگرم در هکتار بود. کود کمیرا در هر نوبت دارای دو جزء بود. یک جزء آن همراه با آبیاری به میزان ۶ کیلوگرم در هکتار و قسمت دیگر آن بصورت محلول‌پاشی به میزان دو کیلوگرم در هکتار استفاده شد. ترکیب لیبرل نیز به میزان ۴/۵ کیلوگرم در هکتار و تنها بصورت محلولپاشی مصرف شد (جدول۲).

تیمار میدان مغناطیسی با قراردان قطعاتی از یک جسم دارای خاصیت مغناطیس دایم(آهنربا) با قدرت ۱۰ میلی تسلا به فواصل ۲۰ سانتیمتر روی ردیف‌های کاشت و در کنار هر بوته در زمان رشد سریع گیاه(حدود یک ماه پس از اولین آبیاری) اعمال گردید. در همان زمان محلول نانو نقره نیز با غلظت ۴۰ گرم نانو ذرات نقره در هکتار، همراه با آب آبیاری اعمال گردید. دور آبیاری هر ۸ روز بود و عملیات زراعی شامل کنترل علف‌های هرز و آفات و بیمارها جهت تمام تیمارها بطور یکسان اعمال گردید. متوسط اندازه نانو ذرات نقره با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری ۱۶ نانومتر بدست آمد. برداشت محصول در تاریخ ۸۶/۸/۳۰ در مساحت ۴/۵ مترمربع هر کرت انجام و پس از جدانمودن طوقه و برگ، وزن ریشه و قسمت هوایی جداگانه توزین شد. از هرکرت نمونه‌ای از ریشه‌ها جدا و جهت تعیین صفات کیفی شامل عیار قند، میزان پتاسیم، سدیم، نیتروژن، قلیائیت، قند خالص، راندمان استحصال و قند ملاس به آزمایشگاه شرکت تحقیقات و خدمات زراعی چغندرقند خراسان رضوی ارسال گردید. عملکرد قند خالص از حاصل ضرب عملکرد ریشه در درصد قند خالص محاسبه شد. داده های بدست آمده توسط نرم افزار MSTAT-C تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامن‌های دانکن انجام شد. همبستگی بین صفات توسط نرم افزار Excel بدست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

**جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش**

| عمق (سانتیمتر) | شوری (دسی-زیمنس بر متر) | اسیدیته | درصد اشباع | درصد کربن آلی | نیتروژن | فسفر | پتاسیم | مس | منگنز | آهن | روی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | میلی گرم بر کیلوگرم | | | | | | |
| ۰-۳۰ | ۱/۱ | ۷/۷ | ۳۱/۵ | ۰/۷۵ | ۱۰ | ۵ | ۲۰۰ | ۰/۷۵ | ۱۳/۳ | ۶/۱ | ۱/۰۹ |

لازم به ذکر است بافت خاک سندی کلی لوم بود.

**جدول ۲ – اطلاعات مربوط به نوع و درصد عناصر موجود در کودهای مصرفی و روش و دفعات مصرف**

| عنصر | کودهیوماکس | کود کمیرا | ترکیب لیبرل |
|---|---|---|---|
| اسید هیومیک | ٪۱۲ | ـــــ | ـــــ |
| اسید فولویک | ٪۳ | ـــــ | ـــــ |
| اکسید پتاسیم | ٪۳ | ٪۲۰+٪۱۷ | ٪۲۰+٪۵۱ |
| ازت | ـــــ | ٪۲۰ | ٪۲۰ |
| فسفر | ـــــ | ٪۲۰ | ٪۲۰ |
| آهن | ـــــ | ٪۴ | ٪۳/۳۵+٪۱۳/۲ |
| روی | ـــــ | ٪۳ | ٪۰/۶+٪۱۴ |
| منگنز | ـــــ | ٪۲ | ٪۱/۷ |
| مس | ـــــ | ٪۱ | ٪۱/۷ |
| مولیبدن | ـــــ | ٪۰/۱ | ٪۰/۰۲۳ |
| بر | ـــــ | ٪۰/۲ | ٪ ۰/۸۷۵ |
| منیزیم | ـــــ | ٪۳ | ـــــ |
| سولفات | ـــــ | ـــــ | ٪۵۶ |
| روش مصرف | آبیاری | آبیاری + محلولپاشی | محلولپاشی |
| مقدار مصرف | ۲ کیلوگرم در هکتار | ۶ کیلو گرم در هکتار + ۲ کیلوگرم در هکتار | ۴.۵ کیلوگرم در هکتار |
| دفعات مصرف | سه نوبت | سه نوبت | سه نوبت |

## نتایج و بحث

تیمار میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره ($T_3$) با میانگین عملکرد ریشه ۶۸/۵۳ تن در هکتار بطور معنی‌داری نسبت به شاهد با عملکرد ۴۷/۶۷ تن در هکتار عملکرد بیشتری را نشان داد که این مقدار معادل ۴۳ درصد افزایش نسبت به شاهد بود (جدول۳). واسیلسکی (۲۷) اظهار نمود میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش وزن ریشه چغندرقند به میزان ۹۴ درصد و عملکرد ریشه به میزان ۱۲/۸۸ تن در هکتار نسبت به شاهد شد. همچنین روچالسکا و همکاران (۲۳) افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه و میزان سبزشدن بذرهای چغندرقند را به ویژه در بذرهای با بنیه ضعیف‌تر در اثر تیمار مغناطیس مشاهده نمودند. زنگ و همکاران (۲۹) افزایش جوانه‌زنی، وزن خشک گیاه و سرعت فتوسنتز را در اسفناج در اثر تیمار با نانو $TiO_2$ مشاهده نمودند. افزایش عملکرد در اثر پیش تیمار بذر با میدان مغناطیسی در گلرنگ توسط فاقانبی و همکاران (۱۲)، در گندم توسط کورداس(۱۴)، در لوبیا توسط پولسنی و همکاران (۲۰) و در توت‌فرنگی توسط اسیتکن و توران (۱۰) گزارش شده است. صالحی و تمسکنی (۲) نیز نشان دادند که تیمار نانو نقره (۵۰ پی پی ام) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه چه و ریشه‌چه و در نهایت بهبود استقرار گندم گردید.

مشاهدات در طی فصل رشد حاکی از تحریک بسیار قابل توجه تیمار مغناطیس و نانو ذرات نقره($T_3$) بر رشد رویشی دمبرگها، سطح برگ و حجم بوته چغندرقند بود. اگرچه سطح برگ و وزن خشک برگها در این آزمایش مورد اندازه گیری قرار نگرفت؛ ولی اندازه‌گیری وزن تر اندام‌های هوایی(برگ، دمبرگ و طوقه) چغندرقند در زمان برداشت، این تحریک شدید رشد اندام‌های هوایی را بخوبی نشان داد. تیمار $T_3$ با وزن تر اندام هوایی به میزان ۲۶۱۳۰ کیلوگرم در هکتار بطور معنی‌دار نسبت به همه تیمارها بیشترین وزن اندام هوایی را داشت(جدول ۳). تحریک رشد اندام هوایی در اثر میدان مغناطیس و نانو ذرات نقره باعث افزایش دو برابری(۱۰۲ درصد) نسبت به شاهد و حدود ۵۳ درصد نسبت به بهترین تیمار کود تجاری($T_5$) گردید. بررسی اثر میدان مغناطیسی بر چغندرقند توسط واسیلسکی(۲۷) نشان داد میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش سطح برگ به میزان ۵۲ درصد نسبت به شاهد گردید. شاه و بلوزروا (۲۶) نشان دادند که نانوذرات فلزی باعث افزایش نسبت اندام هوایی به ریشه در کاهو شد.

www.SID.ir

Archive of SID

**جدول ۳- تأثیر تیمارهای آزمایش بر عیار قند و صفات کمی چغندرقند**

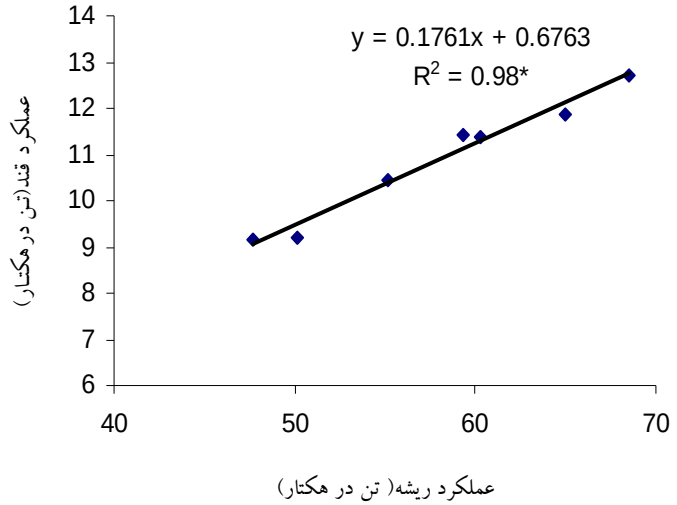
| تیمار | عملکرد ریشه (تن در هکتار) | عملکرد تر اندام هوایی (کیلوگرم در هکتار) | عیار قند ٪ | عملکرد قند خالص (تن در هکتار) |
|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | ۵۹/۳۳ab* | ۱۵۴۷۰b | ۲۱/۰۵ a | ۱۱/۴۴ ab |
| $T_2$ | ۶۰/۲۷ab | ۱۶۲۷۰b | ۲۱/۰۸ a | ۱۱/۳۹ ab |
| $T_3$ | ۶۸/۵۳a | ۲۶۱۳۰a | ۲۰/۸۰ a | ۱۲/۷۱ a |
| $T_4$ | ۵۰/۱۳ab | ۱۲۶۷۰b | ۲۰/۲۵ a | ۹/۲۲ b |
| $T_5$ | ۶۴/۹۳ab | ۱۷۰۷۰b | ۲۰/۶۵ a | ۱۱/۸۸ ab |
| $T_6$ | ۵۵/۲۰ab | ۱۴۴۰۰ b | ۲۰/۸۲ a | ۱۰/۴۳ ab |
| $T_7$ | ۴۷/۶۷b | ۱۲۹۳۰b | ۲۱/۰۲ a | ۹/۱۵۳ b |

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه به لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند($p <$ ۰/۰۵).

دامنه تغییرات عیار قند در اثر کاربرد تیمارهای آزمایش بسیار باریک بود و تیمارهای بکار رفته اثر معنی‌داری بر عیارقند نداشتند (جدول۳). واسیلسکی (۲۷) نیز نشان داد میدان الکترومغناطیسی باعث افزایش درصد قند به میزان ۰/۷ درصد شد. میدان مغناطیسی پتانسیل افزایش رشد را به دلیل اثر مثبت بر عناصر اصلی گیاه نظیر کلسیم و منیزیم دارد (۸). بنابراین ممکن است کاربرد میدان مغناطیس و نانو ذرات نقره باعث افزایش جذب و هدایت عناصر غذایی در گیاه شده و تحریک رشد رویشی را افزایش دهد، که این امر می‌تواند باعث عدم افزایش عیار قند ریشه گردد.

عملکرد قند خالص از حاصل ضرب عملکرد ریشه در درصد قند خالص بدست می‌آید. بنابراین تیمار $T_3$ که دارای بیشترین عملکرد ریشه بود بطور معنی‌داری بیشترین عملکرد قند خالص (۱۲/۷۱ تن در هکتار) را دارا بود. برعکس تیمار شاهد با کمترین عملکرد ریشه و تیمار $T_4$ با کمترین عیار قند و عملکرد ریشه پایین کمترین عملکرد قند خالص (بترتیب ۹/۱۵ و ۹/۲۲ تن در هکتار) را نشان دادند (جدول۳).

به نظر می‌رسد تغییرات عملکرد ریشه نسبت به درصد قند خالص تأثیر بیشتری بر عملکرد قند داشته باشد. بنابراین انتظار می‌رود هر تیماری که بر میزان عملکرد ریشه بیشتر تأثیر داشته است، عملکرد قند را نیز بیشتر تحت تأثیر قرار داده است. نتایج نشان داد که رابطه مثبتی بین عملکرد ریشه با عملکرد قند چغندرقند وجود دارد به طوری که با افزایش هر تن عملکرد ریشه در هکتار، عملکرد قند خالص ۱۷۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل۱).




**شکل۱- رابطه بین عملکرد ریشه چغندرقند با عملکرد قند خالص**

www.SID.ir

Archive of SID

اگرچه اختلافات عددی در صفات کیفی بین تیمارهای آزمایش مشاهده شد ولی این اختلافها تأثیر معنی‌داری بر اغلب صفات کیفی نداشتند. میزان پتاسیم ریشه در تیمارهای $T_2$ و $T_5$ بیشترین و در تیمار $T_1$ بطور معنی‌داری کمتر از بقیه تیمارها بود. اما سایر صفات نظیر میزان سدیم، نیتروژن، قلیائیت، قند خالص، راندمان استحصال و قند ملاس بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول۴). با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در تیمار شاهد میزان ناخالصی‌های ریشه نظیر سدیم و نیتروژن مضره به لحاظ مقدار عددی کمتر از کلیه تیمارهای آزمایشی بود که این امر باعث کاهش میزان قند ملاس گردید (جدول۴).

گوهری و کلارستاقی(۳) در آزمایشی نشان دادند که مصرف نیتروژن بین ۱۵۰ تا ۳۷۵ کیلوگرم در هکتار اثر معنی‌داری بر شکر قابل استحصال ندارد ولی عملکرد قند ناخالص و وزن ریشه به هم اختلاف نشان دادند و در سایر صفات اثر تیمارها معنی‌دار نبود. خیامیم و همکاران (۱) نیز کاهش عملکرد قند را با افزایش مقدار نیتروژن گزارش نمودند. اما آنها اثر معنی‌دار نیتروژن را بر پتاسیم و سدیم ریشه نشان دادند.

به نظر می‌رسد که گیاهان در معرض میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره دارای شرایط بهتری جهت جذب و استفاده از عناصر غذایی بوده‌اند که منجر به افزایش عناصر در ریشه شده است. میدان مغناطیسی ممکن است باعث تغییرات در سطوح داخل سلول، تراکم یون کلسیم و یون‌های رایج دیگر، سرتاسر غشاء سلولی شده که خود موجب تغییر در فشار اسمزی و قدرت اجزای سلول برای جذب آب و مواد معدنی شوند (۱۳). دهاوی و همکاران (۸) نشان دادند که غلظت عناصر کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم، پتاسیم، و روی در برگ خرما افزایش و غلظت فسفر با افزایش شدت و مدت در معرض میدان مغناطیسی کاهش یافت. میدان مغناطیسی پتانسیل افزایش رشد را به دلیل اثر مثبت بر عناصر اصلی گیاه نظیر کلسیم و منیزیم دارد ولی بارهای الکتریکی منفی در گیاه مانع جذب آنیون‌هایی نظیر فسفر گردید. همچنین میدان مغناطیسی باعث انگیزش متابولیسم سلول و میتوز در سلول‌های مریستمی گیاه می‌شود (۶).

## نتیجه‌گیری

به طور کلی کاربرد تیمارهای آزمایش باعث افزایش عملکرد ریشه چغندرقند و کاهش صفات کیفی شدند. استفاده از میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره ($T_3$) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ریشه، اندام هوایی و عملکرد قند گردید. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که قرار گرفتن دایم گیاهان در معرض میدان مغناطیسی به همراه کاربرد نانو ذرات نقره ($T_3$) به عنوان یک رهیافت نوین باعث افزایش عملکرد کمی چغندرقند و جایگزین مناسب و زیست سازگار برای کودهای شیمیایی گردید. البته کاربرد کودهای ریزمغذی و آلی نیز در افزایش عملکرد و بهبود رشد گیاه اثر گذاشتند؛ ولی اثر آنها به اندازه تیمار مغناطیس و نانو ذرات نقره نبود ضمن اینکه ممکن است این کودها باعث آلودگی خاک و آب شوند. از طرف دیگر کاربرد توام کودهای ریزمغذی با میدان مغناطیسی (تیمارهای $T_1$ و $T_2$) به اندازه میدان مغناطیس و نانو ذرات نقره ($T_3$) و حتی در برخی موارد کمتر از آن بر عملکرد و صفات مورد ارزیابی تأثیر گذاشت. این امر احتمالا ممکن است به علت اثر آنتاگونیستی بین کودهای تجاری و کاربرد میدان مغناطیسی و نانو ذرات نقره در خاک باشد که نیاز به مطالعات بیشتری دارد. به نظر می‌رسد میدان مغناطیس در کنار بوته‌ها هم بر مغناطیس شدن آب آبیاری و هم بر فرایندهای بیولوژیکی گیاه و جذب عناصر نقش بسزایی داشته است.

**جدول٤- تأثیر تیمارهای آزمایش بر خصوصیات کیفی ریشه چغندر قند**

| تیمار | پتاسیم ٪ | سدیم ٪ | نیتروژن ٪ | قلیائیت ٪ | قند خالص ٪ | راندمان استحصال ٪ | قند ملاس ٪ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_1$ | ۴/۱۴۳b | ۰/۵۷a | ۳/۰۵a | ۱/۶۲a | ۱۹/۲۷a | ۹۱/۶۵a | ۱/۷۸a |
| $T_2$ | ۶/۰۴۳a | ۰/۶۹a | ۳/۷۰a | ۱/۸۷a | ۱۸/۹۱a | ۸۹/۶۸a | ۲/۱۷a |
| $T_3$ | ۵/۳۱۷ab | ۰/۷۵a | ۳/۹۲a | ۱/۶۰a | ۱۸/۶۵a | ۸۹/۶۲a | ۲/۱۵a |
| $T_4$ | ۵/۰۷۷ab | ۰/۷۹a | ۲/۷۹a | ۲/۱۶a | ۱۸/۴۰a | ۹۰/۸۴a | ۱/۸۵a |
| $T_5$ | ۵/۸۹۷a | ۰/۶۶a | ۳/۷۸a | ۱/۸۲a | ۱۸/۴۸a | ۸۹/۴۳a | ۲/۱۷a |
| $T_6$ | ۵/۰۱۷ab | ۰/۷۰a | ۲/۵۵a | ۲/۴۶a | ۱۹/۰۴a | ۹۱/۴۴a | ۱/۷۸a |
| $T_7$ | ۵/۱۰۳ab | ۰/۵۳a | ۲/۷۶a | ۲/۱۱a | ۱۹/۲۰a | ۹۱/۳۵a | ۱/۸۲a |

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه به لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند ($p < ۰/۰۵$).

www.SID.ir

Archive of SID

## منابع


۱- خیامیم، س.، د. مظاهری، م. بنایان اول، ج. گوهری و م.ر. جهانسوز. ۱۳۸۲. بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک و تکنولوژیک چغندرقند در سطوح مختلف تراکم و کود نیتروژن. مجله پژوهش و سازندگی. شماره۶۰ صفحه ۲۹-۲۱.

۲- صالحی، م. و ف. تمسکنی. ۱۳۸۷. تأثیر نانوسید در تیمار بذری بر جوانه زنی و رشد گیاهچه گندم تحت تنش شوری. خلاصه مقالات اولین همایش ملی علوم و تکنولوژی بذر ایران. ۳۵۸ صفحه

۳- گوهری، ج. و ک. کلارستاقی. ۱۳۷۲. بررسی برخی ویژگی‌های تغذیه چغندرقند. گزارش پژوهشی. موسسه تحقیقات چغندرقند. کرج.

4- Aladjadjiyan, A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. J. Central Europ. Agric. 8:369-380.

5- Cakmak,T., R. Dumlupinar, and S. Erdal. 2009. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. Bioelectromagnetics. 30:1-10

6- Celik, O., C. Atak, and A. Rzakulieva, 2008. Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in *Paulownia* node cultures. J. Central Europ. Agric. 9:297-304

7- Choi, O., K. Kanjun Deng, , N. Kim, , L. Ross, R.Y. Surampalli, and Z. Hu. 2010. The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth. Water Res. Article in Press.

8- Dhawi, F. J.M. Al-Khayri, and E. Hassan. 2009. Static magnetic field influence on elements composition in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Res. J. Agric. Biol. Sciences. 5:161-166.

9- Duarte Diaz, C.E., J.A. Riquenes, B. Sotolongo, M.A. Portuondo, E.O., Quintana, and R. Perez. 1997. Effects of magnetic treatment of irrigation water on the tomato crop. Horticulture Abstracts 69:494.

10- Esitken, A., and M. Turan. 2004. Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of Strawberry (*Fragaria ananassa* cv. Camarosa). Soil and Plant Sci. 54:135-139

11- Faqenabi, F., M. Tajbakhsh, I. Bernooshi, M. Saber-Rezaii, F. Tahri, S. Parvizi, M. Izadkhah, A. Hasanzadeh Gorttapeh, and H. Sedqi, 2009. The effect of magnetic field on growth, development and yield of safflower and its comparison with other treatments. Res. J. of Biol. Sci. 4:174-178.

12- Gao F., F. Hong, C. Liu, L. Zheng, M. Su, X. Wu, F. Yang, C. Wu, and P. Yang. 2006. Mechanism of nano-anatase $TiO_2$ on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach. Biol. Trace Element Re. 111: 239-253.

13- Garcia, R.F., and P.L. Arza, 2001. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I: theoretical considerations. Bioelectromagnetics 22:589–595.

14- Kordas, L. 2002. The effect of magnetic field on growth, development and the yield of spring wheat. Polish J. of Environ. Studies. 11:527-530.

15- Lamb, T.A. and T. Morghan. 1993. Comparison of foliar and preplant applied nitrogen fertilizer for sugar beet. Agron. J. 85:290-305

16- Lee W.M., Y.J. An, H. Yoon, and H.S. Kwbon. 2008. Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (*Phaseolus radiatus*) and wheat (*Triticum aestrivum*): plant agar test for water-insoluble nanoparticles. Environ. Toxic. Chem. 27:1915-1921.

17- Lin D. and B. Xing, 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. Environmental Pollution, 150:243-250.

18- Lu, C.M., C. Y. Zhang, J.Q. Wu, and M. X. Tao. 2002. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. Soybean Sci. 21:168-172.

19- Majd, A. and A. Shabrangi, 2009. Effect of seed pretreatment by magnetic fields on seed germination and ontogeny growth of agricultural plants. Progress In Electromagnetics Research Symposium, Beijing, China, March 23-27.

20- Podlesny, J., S. Pietruszewski, and A. Podleoen, 2004. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. Inter. Agrophysics. 18:65-71.

21- Racuciu M. and D.E. Creanga. 2007. TMA-OH coated magnetic nanoparticles internalized in vegetal tissues. Romanian Journal of Physics, 52:395-395.

22- Racuciu, M., D. Creanga, and I. Horga, 2008. Plant growth under static magnetic field influence. Romania J. Physics 53: 353–359.

23- Rochalska1, M., K. Grabowska, and A. Ziarnik. 2008. Impact of low frequency magnetic fields on yield and quality of sugar beet. Int. Agrophysics. 23:163-174

24- Ruffini Castiglione, M. and R. Cremonini. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 2: 161-165.

25- Sakhini, L. 2007. Influence of $Ca^{2+}$ in biological stimulating effects of AC magnetic fields on germination of bean seeds. J. Magn. and Magnetic Materials. 310:1032–1034

26- Shah V. and I. Belozerova. 2009. Influence of metal nanoparticles on the soil microbial community and germination of lettuce seeds. Water Air and Soil Pollution. 97:143-148

27- Vasilevski, G. 2003. Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. Bulg. J. Plant Physiol. Special Issue. 179–186

28- Yinan, Y., L. Yuan, Y. Yongqing, and L. Chunyang. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. Environ. Exp. Botany 54:286–294.

29- Zhang, L., F. Hong, S. Lu, and C. Liu. 2005. Effect of nano-$TiO_2$ on strength of naturally aged seeds and growth of Spinach. Biol. Trace Element Res. 105:83-91.


www.SID.ir