

رابطه ایزوتوپ‌های پایدار کربن با کارایی مصرف آب در چغندر قند در شرایط تنش و بدون تنش خشکی

Relationship of carbon stable isotopes with water use efficiency in sugar beet under well-watered and drought conditions

اباذر رجیبی*^۱، هووارد گریفیتس^۲ و اریک اوپر^۳

تاریخ دریافت: ۸۶/۴/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۵/۳

۱. رجیبی، ه.، گریفیتس و ا. اوپر. ۱۳۸۶. رابطه ایزوتوپ‌های پایدار کربن با کارایی مصرف آب در چغندر قند در شرایط تنش و بدون تنش خشکی. چغندر قند ۲۳(۱): ۱-۱۲

چکیده

بهبود کارایی مصرف آب زمانی به یک هدف به نژادی تبدیل شد که معلوم گردید این صفت با نسبت ایزوتوپ‌های پایدار کربن رابطه دارد. در مطالعه حاضر که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در ایستگاه تحقیقات برومز بارن انگلستان در شرایط تنش (جلوگیری از دریافت آب باران با پوشاندن سطح منطقه آزمایش بوسیله تونل‌های پلاستیکی بزرگ از دو ماه بعد از کاشت تا زمان برداشت) و بدون تنش خشکی (آب باران به اضافه آبیاری بارانی تکمیلی) بر روی شش رقم چغندر قند در سال اول و ۱۴ رقم در سال دوم انجام شد، تنوع ژنتیکی در میزان مصرف آب، عملکرد، کارایی مصرف آب، تبعیض ایزوتوپ‌های کربن (که اصطلاحاً Δ یا دلتا نامیده می‌شود) و صفات مرتبط با آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ارقام از نظر کارایی مصرف آب و حساسیت به تنش آبی در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند اما این تنوع رابطه‌ای با اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی تبادلات گازی نداشت. تغییرات قابل ملاحظه‌ای که در دلتا به‌ویژه در بافت برگ مشاهده شد با کارایی مصرف آب رابطه معکوس داشت و این موضوع نشان می‌دهد که تنوع ژنتیکی موجود برای کارایی مصرف آب را می‌توان به طور غیرمستقیم با اندازه‌گیری ترکیب ایزوتوپی بافت‌های گیاهی به‌ویژه برگ تعیین کرد. از آنجایی که تغییرات دلتا و بنابراین کارایی مصرف آب ممکن است ناشی از هدایت روزنه‌ای، توان فتوسنتزی گیاه یا هر دو باشد لذا صفات مربوط به هدایت روزنه‌ای (میزان خاکستر برگ و دمای کانوپی) و ظرفیت فتوسنتزی (میزان کلروفیل و وزن ویژه برگ) نیز اندازه‌گیری شد. در این میان، فقط وزن ویژه برگ همبستگی بالایی با دلتا داشت ($r=0.77, P<0.01$). این امر نشان می‌دهد که در مراحل اولیه برنامه‌های به نژادی می‌توان از وزن ویژه برگ به عنوان یک جایگزین مناسب دلتا برای غربال اولیه ژنوتیپ‌ها از نظر کارایی مصرف آب استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ایزوتوپ کربن ^{13}C ، تنش خشکی، چغندر قند، کارایی مصرف آب، Δ ، وزن ویژه برگ، هدایت روزنه‌ای

*- نویسنده مسئول

E-mail: rajabi@sbsi.ir

۱- استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات چغندر قند

۲- استاد دپارتمان علوم گیاهی، دانشگاه کمبریج، انگلستان

۳- دانشیار ایستگاه تحقیقات چغندر قند برومز بارن، انگلستان

رابطه ایزوتوپ‌های پایدار کربن با

مقدمه

مختلف زراعی هم‌چون بادام‌زمینی (Wright et al. 1988)، برنج (Dingkuhn et al. 1991)، لوبیا چشم‌بلبلی (Ismail and Hall 1993) و غیره گزارش شده است. با این وجود، به علت مشکل بودن اندازه‌گیری مستقیم WUE در مزرعه، تنوع ژنتیکی موجود در این صفت تا مدت‌ها مورد بهره‌برداری قرار نگرفت تا این که فارکوهار و ریچاردز (Farquhar and Richards 1984) دریافتند که WUE با تبعیض ایزوتوپ‌های کربن در گیاهان سه کربنه (C_3) رابطه منفی دارد. اساس این تبعیض را نسبت ایزوتوپ‌های پایدار کربن (^{13}C و ^{12}C) در مواد گیاهی در مقایسه با همان نسبت در هوا تشکیل می‌دهد. در گونه‌های C_3 ، ^{13}C آهسته‌تر از ^{12}C از خلال روزنه‌ها انتشار می‌یابد و در طی فتوسنتز نیز مورد تبعیض آنزیم اصلی فتوسنتزکننده (رابیسکو) قرار می‌گیرد (Farquhar et al. 1989) و بنابراین، بافت‌های گیاهی از نظر ^{13}C تخلیه می‌شوند.

چون WUE و دلتا هر دو با نسبت غلظت دی‌اکسید کربن موجود در داخل برگ (C_i) به غلظت دی‌اکسید کربن موجود در هوا (C_a) رابطه دارند پیش‌بینی شد که رابطه بین WUE و دلتا نیز باید منفی باشد (Farquhar and Richards 1984; Griffiths 1996) این رابطه در چندین گیاه زراعی سه کربنه از جمله گندم (Farquhar and Richards 1984)، جو (Hubick et al. 1989)، بادام‌زمینی (Hubick et al. 1989) و لوبیا چشم‌بلبلی (Ismail and Hall 1993)

خشکی عمده‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در دنیاست (Boyer 1982). یکی از راه‌حل‌های مناسب در مناطق خشک تهیه ارقام متحمل به خشکی می‌باشد اما در این مناطق، به نژادگران نیاز به درک عمیق فرایندهای تعیین‌کننده عملکرد محصول دارند. بنابراین، شناسایی عوامل و صفات مؤثر در عملکرد محصول در این محیط‌ها می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی ارزشمند باشد. تحقیقات نشان داده است که تنوع ژنتیکی برای تحمل به خشکی در مواد به‌نژادی چغندر قند وجود دارد. (Sadeghian et al. 2000; Ober et al. 2005) برای افزایش تحمل به خشکی معمولاً از گزینش براساس خود عملکرد یا پایداری زراعی استفاده شده است اما از آنجایی که وجود اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط، پیشرفت ژنتیکی حاصل از گزینش برای افزایش عملکرد محصولات زراعی در محیط‌های کم آب را کند نموده است (Ludlow and Muchow 1990). انتخاب براساس اجزای عملکرد و صفات ثانویه مورد تأکید قرار گرفته است (Monti et al. 2006). کارایی مصرف آب (WUE)، مقدار ماده خشک تولیدشده به ازاء یک واحد آب مصرف شده) یکی از صفات وابسته به عملکرد است که بهبود آن به ویژه در محیط‌های کم‌آب، به‌عنوان یک صفت مطلوب محسوب می‌شود. وقتی منابع آب محدود است بهبود WUE می‌تواند به حفظ یا حتی افزایش عملکرد کمک نماید. تنوع ژنتیکی در WUE در گیاهان

(Luterbacher 2002) در دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی در مزرعه ایستگاه تحقیقات چغندر قند برومز بارن انگلستان مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. عملیات کاشت در ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۳ انجام و تنش خشکی از تاریخ ۲۸ تیر با پوشاندن کرت‌ها به وسیله تونل‌های پلاستیکی نیمه دائمی براساس روش اوبر و همکاران (Ober et al. 2005) شروع شد. گیاهان زیر تونل برای تأمین آب مورد نیاز خود کاملاً وابسته به رطوبت ذخیره شده در خاک بودند و در تاریخ ۱۷ مرداد شروع به پژمردگی نمودند. آزمایش بدون تنش که با آب باران و آبیاری تکمیلی آبیاری می‌شد در یک مزرعه در مجاورت تونل‌های پلاستیکی قرار داشت. در این تیمار، کرت‌ها آبیاری می‌شدند تا کمبود رطوبت خاک از ۲۵ میلی‌متر فراتر نرود.

در طی دوره تنش که ۵۵ روز طول کشید متغیرهای مصرف آب فصلی، دمای کانوپی، میزان خاکستر برگ، وزن ویژه برگ و دلتا اندازه‌گیری شد. مقدار آب مصرفی فصلی گیاه با اندازه‌گیری تغییرات میزان رطوبت خاک به وسیله یک رطوبت سنج انعکاسی (Sentek Pty Ltd., (Diviner 2000 model, Australia) براساس روش پالتینینو و استار (Paltineanu and Starr 1997) برآورد گردید. برای اندازه‌گیری میزان خاکستر برگ، وزن ویژه برگ و دلتا از یک برگ کاملاً توسعه یافته (برگ دوازدهم از

در آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای مشاهده شده است. بالا بودن وراثت‌پذیری و پایین بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای دلتا (Wright 1996; Ismail and Hall 1993) نشان می‌دهد که می‌توان از این صفت به عنوان یک معیار گزینش برای افزایش WUE در گونه‌های C₃ استفاده کرد اما تنوع ژنتیکی دلتا و رابطه آن با WUE در چغندر قند چندان مورد بررسی قرار نگرفته است. با توجه به هزینه نسبتاً بالای تجزیه ایزوتوپ‌ها تعدادی صفت به عنوان جایگزین دلتا پیشنهاد شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به میزان خاکستر برگ (Merah et al. 2001 Arous et al. 1998;)، هدایت روزنه ای (White 1993)، و وزن ویژه برگ (Wright et al. 1988) اشاره کرد. این مطالعه اهداف زیر را پیگیری می‌نماید: (۱) تعیین تنوع ژنوتیپی برای عملکرد، مصرف آب، WUE و دلتا در ارقام چغندر قند تحت شرایط تنش و بدون تنش خشکی، (۲) تعیین رابطه دلتا با WUE، عملکرد و صفات وابسته، و (۳) شناسایی شاخص‌های جایگزین کم هزینه برای دلتا.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ انجام گرفت که در سال اول شش رقم و در سال دوم همان شش رقم به علاوه هشت رقم جدید چغندر قند (جدول ۱) که در طی آزمایشات قبلی واکنش‌های متفاوتی از نظر تحمل به خشکی نشان داده بودند (Ober and

(Europa Scientific, Crewe, UK) و براساس

فرمول ۲ اندازه‌گیری شد:

$$\delta^{13}C = [(R_{\text{استاندارد}} - R_{\text{گیاه}}) / R_{\text{استاندارد}}] \times 1000 \quad (2)$$

در این فرمول، R که مخفف Ratio یا نسبت

می‌باشد عبارت از نسبت $^{13}C/^{12}C$ بوده و برحسب قسمت

در هزار (%) بیان می‌شود. ترکیب ایزوتوپی مواد گیاهی

با توجه به استاندارد بین‌المللی به نام Vienna Pee Dee

(Belemnite (PDB) که یک سنگ‌آهک فسیلی در

کارولینای جنوبی می‌باشد) و با دقت یک دهم در هزار

تعیین گردید. ترکیب ایزوتوپی این استاندارد را براساس

قرارداد، صفر در نظر گرفته و ترکیب ایزوتوپی هوا یا مواد

گیاهی را براساس آن می‌سنجند. از آن جایی که مقدار R

برای هوا و بافت‌های گیاهی پایین‌تر از PDB می‌باشد

بنابراین، ترکیب ایزوتوپی هوا ($\delta^{13}C_a$) و مواد گیاهی

($\delta^{13}C_p$) همواره دارای مقادیر منفی می‌باشند

(Farquhar et al. 1989).

تفاوت‌های ایزوتوپی بین CO_2 موجود در هوا و

CO_2 تثبیت شده در مواد گیاهی دارای مقدار مثبتی است

بنام Δ که بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta = (\delta^{13}C_a - \delta^{13}C_p) / (1 + \delta^{13}C_p) \quad (3)$$

مقدار $\delta^{13}C_a$ را در آزمایشات معمولاً منفی هشت

در هزار در نظر می‌گیرند. در این تحقیق، مبنای مقایسه

ژنوتیپ‌ها از نظر ایزوتوپ‌های کربن، مقادیر محاسبه شده

دلته بود.

داخل به خارج بوته) استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان

خاکستر برگ، ۲۰۰ میلی‌گرم از بافت خشک شده برگ در

داخل بوته چینی قرار داده شد و به مدت هشت ساعت در

یک کوره در دمای ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شد و

خاکستر باقیمانده توزین گردید (Kirkby and Mengel).

(1967) سپس، میزان خاکستر برگ با استفاده از فرمول

زیر محاسبه شد:

$$(1) \quad \text{میزان خاکستر برگ} = (M_3 - M_1 / M_2 - M_1) \times 100$$

که در این فرمول، M_1 ، M_2 و M_3 به ترتیب وزن

بوته خالی، وزن بوته با بافت خشک برگ و وزن بوته با

خاکستر می‌باشند. وزن ویژه برگ با اندازه‌گیری مساحت،

وزن تر و وزن خشک برگ اندازه‌گیری شد. دمای کانوپی

به وسیله یک دماسنج مادون قرمز (PyroPen D

CALEX, LTD) در یک روز آفتابی (۶ شهریور) و بین

ساعت ۱۱/۳۰ تا ۱۳ با زاویه ۳۰ درجه نسبت به کانوپی و

از فاصله ۵۰ سانتی‌متری در چهار تکرار اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری دلته از یک برگ کاملاً توسعه

یافته در هر کرت که در انتهای دوره تنش نمونه‌برداری

شده بود (۲۴ شهریور) استفاده شد. نمونه‌های برگ و

ریشه تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک شدند

(دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت حدود ۴۸ ساعت).

سپس این نمونه‌ها با یک آسیاب ساچمه‌ای رومیزی

(Retsch Mixer Mill, MM 200, UK) پودر شدند

و از هر نمونه مقدار یک میلی‌گرم توزین و ترکیب

ایزوتوپی آن ($\delta^{13}C$) به وسیله یک دستگاه اسپکترومتر

نتایج و بحث

گردید و از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری میان ژنوتیپ‌ها در هر دو تیمار آبیاری مشاهده شد (جدول ۲) اما این تفاوت‌ها با تغییرات دلتا رابطه‌ای نداشت. این امر نشان می‌دهد که تبدلات گازی نمی‌تواند تعیین‌کننده اصلی تغییرات عملکرد باشد بلکه عملکرد ممکن است تحت تاثیر دوام سایه‌انداز (کانوپی) و جذب نور نیز باشد (White 1993). هم چنین عدم وجود رابطه معنی‌دار بین دلتا و عملکرد ماده خشک نشان می‌دهد که همه تغییرات دلتا را نمی‌توان به هدایت روزنه‌ای برگ‌ها نسبت داد بلکه بخشی از این تغییرات به توان فتوسنتزی خود گیاه یا ظرفیت سلول‌های مزوفیل برای دریافت و تثبیت CO_2 بستگی دارد (Hubick et al. 1986). این مسئله با اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن در ماده آلی برگ مورد تأیید قرار گرفت (داده‌ها نشان داده نشده). عدم وجود تفاوت معنی‌دار میان ژنوتیپ‌ها از نظر میزان مصرف آب از یک طرف و وجود تفاوت معنی‌دار از نظر WUE از طرف دیگر (جدول ۲) نشان می‌دهد که تغییرات عملکرد بیشتر ناشی از تغییرات WUE می‌باشد تا تغییرات میزان مصرف آب. در سایر گونه‌های زراعی، گزارش‌های ضد و نقیضی درباره رابطه بین WUE و عملکرد وجود دارد. در مطالعه حاضر، رابطه عملکرد ماده خشک و عملکرد قند با WUE در شرایط تنش خشکی مثبت بود (شکل ۲) که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Martin et al. 1999; Sadeghian and Taleghani 2000). این موضوع نشان می‌دهد که

در هر دو تیمار آبیاری، تفاوت‌های ژنوتیپی معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد در دلتای برگ و ریشه وجود داشت (جدول ۲). این تفاوت‌ها ممکن است از تفاوت در میزان تخلیه رطوبت خاک، تفاوت در کنترل روزنه‌ای وضعیت آب برگ و یا ترکیبی از هر دو باشد (Jefferies and Mackerron 1997). در هر دو تیمار آبیاری، مقادیر دلتا در نمونه‌های ریشه همواره کوچکتر از نمونه‌های برگ بود (جدول ۲) اما همبستگی بالایی بین مقادیر دلتا در دو بافت گیاهی وجود داشت (شکل ۱). تخلیه ایزوتوپی بیشتر (دلتای پایین‌تر) در بافت ریشه ممکن است ناشی از تفاوت در ترکیب شیمیایی و زمان بندی رشد این بافت نسبت به بافت برگ باشد (Monti et al. 2006) به عنوان مثال، در تحقیقی بر روی گندم مقدار دلتا در دانه کمتر از برگ بود اما مقادیر دلتا در این دو اندام گیاهی همبستگی بالایی با یکدیگر داشتند (Farquhar and Richards 1984). اگرچه بافت ریشه از نوسانات ایزوتوپی کمتر یا پایدارتری نسبت به برگ برخوردار است (Monti et al. 2006) اما دامنه تنوع ژنتیکی آن محدودتر و فرایند اندازه‌گیری ترکیب ایزوتوپی آن طولانی‌تر از بافت برگ است. بنابراین، به نظر می‌رسد که تنوع ژنتیکی موجود در دلتا و بنابراین WUE را بهتر است با اندازه‌گیری ترکیب ایزوتوپی بافت برگ مورد ارزیابی قرار داد. تنش خشکی باعث کاهش تولید ماده خشک

همبستگی منفی و معنی دار با دلتا می‌باشد (شکل ۴). این رابطه منفی از آنجا ناشی می‌شود که برگ‌های ضخیم‌تر دارای تعداد بیشتری سلول مزوفیلی در واحد سطح برگ هستند (Hubick et al. 1986) و این باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه و بنابراین بالا رفتن میزان ایزوتوپ سنگین‌تر کربن (^{13}C) می‌گردد. با توجه به سهولت اندازه‌گیری SLW می‌توان از آن به عنوان یک جایگزین کم هزینه دلتا، به ویژه در مراحل اولیه برنامه‌های به‌نژادی برای ارزیابی ژنوتیپ‌های چغندر قند از نظر WUE استفاده کرد. برای این منظور می‌توان ژنوتیپ‌های دارای برگ‌های نازک‌تر را که WUE پایینی دارند با اندازه‌گیری SLW شناسایی و حذف نمود و ژنوتیپ‌های باقی‌مانده را با اندازه‌گیری دلتا به طور دقیق‌تر از نظر WUE مورد مقایسه قرار داد.

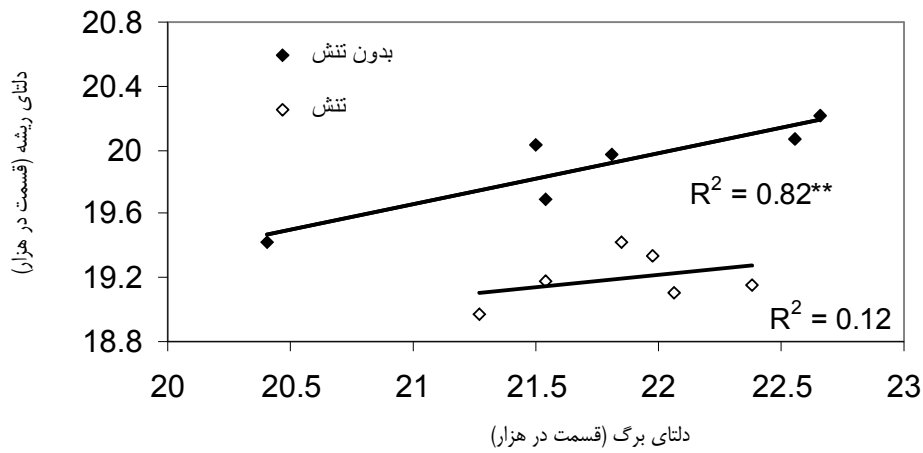
سپاسگزاری

این طرح با حمایت مالی وزارت جهاد کشاورزی و شرکت KWS آلمان اجرا شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

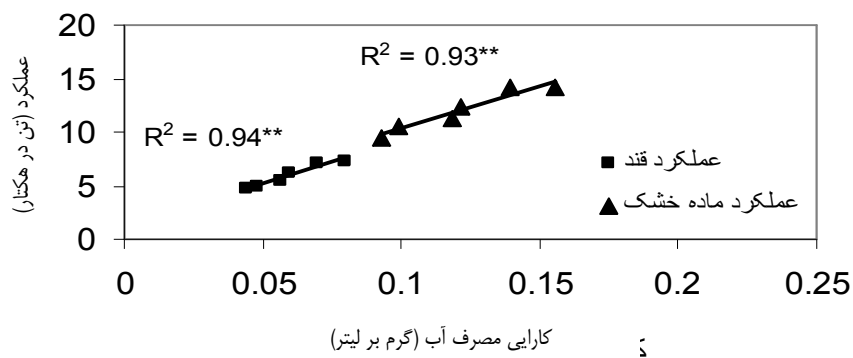
WUE بالا و عملکرد خصوصیات غیر قابل جمع نیستند و در شرایط تنش آبی WUE بالا می‌تواند به حفظ و یا حتی افزایش عملکرد کمک نماید.

در شش ژنوتیپ مورد بررسی، رابطه منفی مورد انتظار، اگرچه غیرمعنی دار، بین دلتا و WUE مشاهده شد. در آزمایش سال دوم که در همان شرایط و با استفاده از ۱۴ رقم چغندر قند (شامل شش رقم سال اول به اضافه هشت رقم جدید) (به جدول ۱ مراجعه کنید) صورت گرفت رابطه مذکور معنی دار به دست آمد (شکل ۳). این رابطه همچنین در آزمایش گلخانه‌ای دیگری که با استفاده از ۲۵ لاین اینبرد چغندر قند انجام شد مورد تأیید قرار گرفت (Rajabi et al. 2008) ($r=0.64$, $P<0.01$). این رابطه به علاوه پایداری دلتا در محیط‌های مختلف (جدول ۳) که از بالا بودن سهم عوامل ژنتیکی در کنترل آن ناشی می‌شود نشان می‌دهد که می‌توان از دلتا به عنوان یک شاخص گزینش برای افزایش WUE در چغندر قند استفاده کرد.

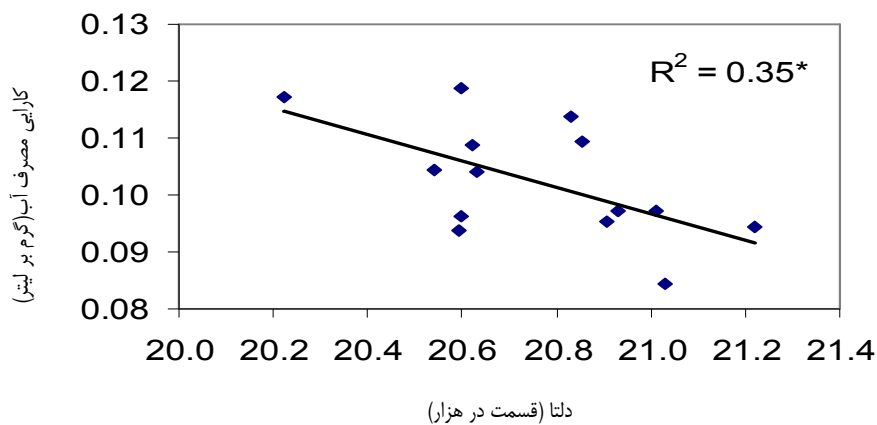
در این مطالعه همچنین مشخص شد که وزن ویژه برگ (SLW، وزن خشک واحد سطح برگ) دارای



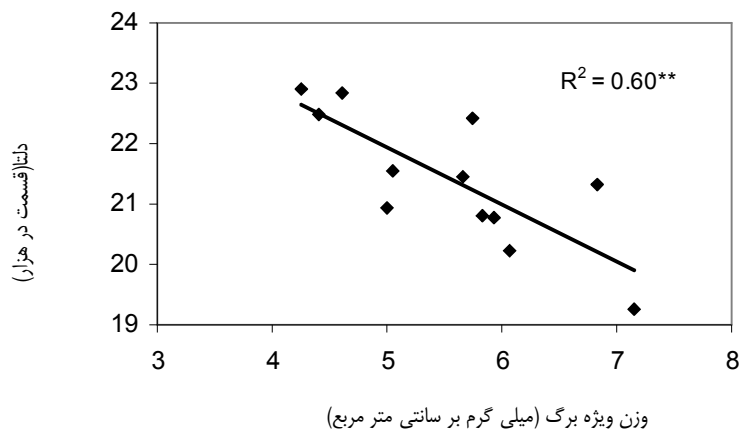
شکل ۱ رابطه بین تبعیض ایزوتوپ‌های کربن (دلتا) در برگ و ریشه شش ژنوتیپ چغندر قند در شرایط تنش و بدون تنش



شکل ۲ رابطه بین عملکرد و کارایی مصرف آب در شش ژنوتیپ چغندر قند در شرایط تنش خشکی



شکل ۳ رابطه بین تبعیض ایزوتوپ‌های کربن (دلتا) و کارایی مصرف آب در ۱۴ ژنوتیپ چغندر قند در شرایط تنش خشکی



شکل ۴ رابطه بین وزن ویژه برگ و تبعیض ایزوتوپ های کربن (دلتا) در ژنوتیپ های چغندر قند در شرایط خشکی

جدول ۱ مشخصات ارقام مورد استفاده در این تحقیق

سال ارزیابی	منشاء	پلوئیدی	ژرمیته	رقم
۱۳۸۳ و ۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	CINDERELLA
۱۳۸۳ و ۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	KWS04-03
۱۳۸۳ و ۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	KWS11-02
۱۳۸۳ و ۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	KWS1-99
۱۳۸۳ و ۱۳۸۴	سوئد	دیپلوئید	منوژرم	NV12
۱۳۸۳ و ۱۳۸۴	سوئد	دیپلوئید	منوژرم	NV8
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3GR1003
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3GR1185
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3GR1269
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3GR1750
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3GR1810
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3GR1856
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3NB0136
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3NB0417
۱۳۸۴	آلمان	دیپلوئید	منوژرم	3GR1003

جدول ۲ مقایسه میانگین صفات در شش هیبرید ارزیابی شده در شرایط تنش و بدون تنش خشکی

رقم	دلتهای برگ (قسمت در هزار)	دلتهای ریشه (قسمت در هزار)	عملکرد ماده خشک (تن در هکتار)	مقدار مصرف آب (میلی متر)	کارایی مصرف آب (گرم بر لیتر)
تیمار بدون تنش					
CINDERELLA	۲۲/۶۵	۲۰/۲۲	۱۷/۹۳۰	۱۳۵/۶۴	۰/۱۳۲
KWS04-03	۲۱/۵۴	۱۹/۶۹	۱۹/۰۴۲	۱۵۷/۳۱	۰/۱۲۱
KWS11-02	۲۲/۵۵	۲۰/۰۶	۱۶/۱۲۷	۱۴۴/۴۰	۰/۱۱۲
KWS1-99	۲۰/۴۰	۱۹/۴۲	۱۵/۱۵۵	۱۴۰/۱۰	۰/۱۰۸
NV12	۲۱/۸۱	۱۹/۹۶	۱۸/۶۵۵	۱۳۷/۲۶	۰/۱۳۵
NV8	۲۱/۴۹	۲۰/۰۲	۱۴/۸۲۲	۱۵۱/۲۳	۰/۰۹۹
LSD (%۵)	۱/۰۶	۰/۱۶۷	۲/۳۷	۲۰/۷۷	۰/۰۳۲
تیمار تنش					
CINDERELLA	۲۱/۹۷	۱۹/۳۳	۱۲/۳۵۷	۱۳۰/۰۲	۰/۰۹۵
KWS04-03	۲۱/۵۳	۱۹/۱۷	۱۴/۱۱۲	۱۰۸/۴۶	۰/۱۳۰
KWS11-02	۲۲/۰۶	۱۹/۱۰	۹/۴۹۵	۱۰۲/۳۶	۰/۰۹۲
KWS1-99	۲۱/۲۶	۱۸/۹۷	۱۱/۳۷۳	۹۵/۱۵۲	۰/۱۱۸
NV12	۲۱/۸۵	۱۹/۴۲	۱۴/۱۶۷	۹۱/۷۲	۰/۱۵۵
NV8	۲۲/۳۸	۱۹/۱۵	۱۰/۵۶۲	۱۰۶/۱۹	۰/۱۰۰
LSD (%۵)	۰/۹۲۸	۰/۲۸۰	۱/۸۲	۲۴/۸۸	۰/۰۳۸

جدول ۳ تجزیه واریانس مرکب صفات برای شش رقم چغندر قند در دو تیمار آبیاری در طی دو سال (آزمون F براساس امید ریاضی میانگین مربعات و با در نظر گرفتن سال به عنوان فاکتور تصادفی و بقیه عوامل به عنوان فاکتور ثابت انجام شده است)

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد ماده خشک	تبعیض ایزوتوپهای کربن در برگ	تبعیض ایزوتوپهای کربن در ریشه	وزن ویژه برگ
سال	۱	۲۵۶/۹۸***	۰/۰۰۳ ns	۳/۲۷*	۰/۰۷۷ns
آبیاری	۱	۷۰۶/۹۹***	۱۵/۵۹ ns	۵۹/۱۷ ns	۰/۰۴۱ ns
آبیاری × سال	۱	۵/۲۳ ns	۱۹/۷۹***	۱۷/۹۱***	۴۹/۱۶***
بلوک داخل سال و آبیاری (خطای ۱)	۱۲	۷/۳۲	۰/۵۶	۰/۰۶۱	۰/۶۳
ژنوتیپ	۵	۴۷/۰۲***	۱/۸۴ ns	۰/۵۳***	۰/۷۷ ns
آبیاری × ژنوتیپ	۵	۹/۹۱ ns	۰/۴۳ ns	۰/۰۷۵ ns	۰/۳۲ ns
سال × ژنوتیپ	۵	۲/۷۳ ns	۰/۸۱ *	۰/۰۱۸ ns	۰/۳۴ ns
سال × آبیاری × ژنوتیپ	۵	۴/۱۰ *	۰/۴۸ ns	۰/۰۶۴ *	۰/۲۴*
باقیمانده (خطای ۲)	۶۰	۱/۵۶	۰/۲۹	۰/۰۲۶	۰/۲۴
ضریب تغییرات CV (%)		۷/۷۶	۲/۵۰	۰/۸۳	۹/۸۵

علائم ns, *, ** و *** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی دار بودن و معنی دار بودن در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد می باشند.

References:

منابع مورد استفاده:

- Araus JL, Amaro T, Casadesus J, Asbati A, Nachit MM (1998) Relationship between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat, *Aust. J. Plant Physiol.* (25): 835-842.
- Boyer JS (1982) Plant productivity and environment. *Sci.* (218): 443-448.
- Dingkuhn M, Farquhar GD, De Datta SK, O'Toole JC (1991) Discrimination of ^{13}C among upland rice having different water use efficiencies, *Aust. J. Agric. Res.* (42): 1123-1131.
- Farquhar GD, Ehleringer JR, Hubick KT (1989) Carbon isotope discrimination and photosynthesis, *Annual. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, (40): 503-537.
- Farquhar GD, Richards RA (1984) Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes, *Aust. J. Plant Physiol.* (11): 539-552.
- Griffiths H (1996) Evaluation and integration of environmental stress using stable isotopes. *In: Baker NR (ed.): Photosynthesis and the environment.* Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. pp 451- 468.
- Hubick KT, Farquhar GD (1989) Carbon isotope discrimination and the ratio of carbon gained to water lost in barley cultivars, *Plant, Cell and Env.* (12): 795-804.
- Hubick KT, Farquhar GD, Shorter R (1986) Correlation between water-use efficiency and carbon isotope discrimination in diverse peanut (*Arachis hypogaea*) germplasm, *Aust. J. Plant Physiol.* (13): 803-816.
- Ismail AM, Hall AE (1993) Inheritance of carbon isotope discrimination and water use efficiency in cowpea, *Crop Sci.* (33): 498-503.
- Jefferies RA, Mackerron DKL (1997) Carbon isotope discrimination in irrigated and droughted potato (*Solanum tuberosum* L.), *Plant, Cell and Env.* (20): 124-130.
- Kirkby EA, Mengel K (1967) Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.* (42): 6-14.

- Ludlow MM, Muchow RC (1990) A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments, *Advan. Agron.* (4): 107-151.
- Martin B, Tauer CG, Lin RK (1999) Carbon isotope discrimination as a tool to improve water use efficiency in tomato, *Crop Sci.* (39): 1775-1783.
- Merah O, Deleens E, Souyris I, Monneveux P (2001) Ash content might predict carbon isotope discrimination and grain yield in durum wheat, *New Phytol.* (149): 275-282.
- Monti A, Amaducci MT, Pritoni G, Venturi G (2006) Variation in carbon isotope discrimination during growth and at different organs in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Field Crops Res.* (98): 157-163.
- Ober ES, Luterbacher MC (2002) Genotypic variation for drought tolerance in *Beta vulgaris*. *Ann. Bot.* (89): 917-924.
- Ober ES, Bloa ML, Clark CJA, Royal A, Jaggard KW, Pidgeon JD (2005) Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet, *Field Crops Res.* (91): 231-249.
- O'Leary MH (1981) Carbon isotope fractionation in plants, *Phytochem.* (20): 553-567.
- Paltineanu IC, Starr JL (1997) Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration, *Soil. Sci. Soc. America. J.* (61): 1576-1585.
- Rajabi A., Griffiths H, Ober ES, Kromdijk W, Pidgeon JD (2008) Genetic characteristics of water-use related traits in sugar beet. *Euphytica.*(160): 175-187.
- Rytter RM (2005) Water use efficiency, carbon isotope discrimination and biomass production of two sugar beet varieties under well-watered and dry conditions. *J. Agron. Crop Sci.* (191): 426-438.
- Sadeghian SY, Fazli H, Mohammadian R, Taleghani DF, Mesbah M (2000) Genetic variation for drought stress in sugar beet, *J. Sugar Beet Res.* (37): 54-77.
- Sadeghian SY, Taleghani DF (2000) The relation between sugar beet traits and water use efficiency

in water stressed genotypes. Proceedings of the 3rd International Crop Science Congress, 17-22 August 2000, Hamburg, Germany.

White JW (1993) Implications of carbon isotope discrimination studies for breeding common bean under water deficits. In: Ehleringer JR, Hall AE, Farquhar GD (eds.): Stable isotopes and plant carbon-water relations. Academic Press, San Diego, pp. 387-398.

Wright GC (1996) Selection for water use efficiency in grain legume species, Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference, Oowoomba, Australia.

Wright GC, Hubick KT, Farquhar GD (1988) Discrimination in carbon isotopes of leaves correlates with water use efficiency of field-grown peanut cultivars, Aust. J. Plant Physiol. (15): 815–825.