نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۱۹۸-۱۸۷

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 2, Summer 2014, p. 187-198

اثرات سطوح آب و کود نیتروژن بر کارآیی مصرف و بهره‌وری آب در سه گیاه ذرت (*Zea mays* L.)، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.)

رضا حیدری‌پور[۱]، مهدی نصیری محلاتی[۲*]، علیرضا کوچکی[۳] و احمد زارع فیض‌آبادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۱

چکیده

به‌دلیل محدودیت‌های موجود در نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه آب، استفاده بهینه از منابع آب و نیتروژن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌منظور بررسی سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در سه گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ با سه تکرار به صورت کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. کرت‌های اصلی این آزمایش شامل سه گونه چغندرقند، ذرت و کنجد، کرت‌های فرعی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی هر یک از گونه‌ها) و کرت‌های نواری شامل چهار سطح نیتروژن خالص (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. بر اساس نتایج، بیشترین کارآیی مصرف آب به‌ترتیب در ذرت، چغندرقند و کنجد معادل ۲/۴، ۱/۸ و ۱/۵ کیلوگرم ماده خشک بر متر مکعب آب حاصل شد. همچنین بیشترین بهره‌وری مصرف آب در گیاه چغندرقند معادل ۴۲۰۰ واحد و پس از آن در کنجد و ذرت هرکدام به‌ترتیب ۲۱۲۳ و ۱۷۶۸ ریال بر متر مکعب آب آبیاری به‌دست آمد. اثر متقابل آب و نیتروژن بر کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در این سه گونه گیاهی معنی‌دار بود. با کاهش ۲۵ درصد نیاز آبی در این سه گونه گیاهی، تنها ۱۹ درصد کاهش در WUE* (کارآیی مصرف آب اقتصادی) حاصل شد. با افزایش مصرف نیتروژن، بهره‌وری آب در سه گونه زراعی کاهش یافت. به نظر می‌رسد که مصرف نیتروژن بالا نمی‌تواند در کاهش اثرات سوء تنش خشکی موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص برداشت، کارآیی اقتصادی، نیاز آبی

مقدمه

آب مهمترین عامل محدودکننده کشاورزی در ایران بوده و این درحالی است که این بخش بیش از ۹۰ درصد از آب استحصال‌شده کشور را به خود اختصاص می‌دهد (Baghani & Alizadeh, 2000). محدودیت این نهاده باارزش و ظرفیت‌های مناسب بخش کشاورزی، موجب کاهش تولید و عملکرد محصول، به ازاء میزان آب مصرفی می‌شود (Nasr-Esfahani, 2009). به منظور مقایسه دو روش آبیاری کامل و ناقص بر روی چغندرقند، کم‌آبیاری باعث افزایش درآمد و کاهش مصرف آب، انرژی و سایر نهاده‌های کشاورزی شد (English et al., 1990).

اندازه‌گیری کارآیی مصرف آب محصولات‌کشاورزی در ایران به علت محدودیت‌های کمی و کیفی این نهاده ارزشمند از جایگاه خاصی برخوردار است. کارآیی مصرف آب از دیدگاه زراعی قسمتی از آب ذخیره‌شده در منطقه ریشه می‌باشد که به مصرف تعرق گیاه می‌رسد. به عبارت دیگر به مقدار ماده خشکی که توسط گیاه به ازاء هر مترمکعب آب تبخیر و تعرق‌شده، حاصل می‌گردد، کارآیی مصرف آب گویند (Nasr-Esfahani, 2009).

کارآیی مصرف آب[5] از طریق معادله (۱) محاسبه می‌شود (Paperi Moghaddam & Bahrani, 2005).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت و استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)

5- Water Use Efficiency

Archive of SID
www.SID.ir

معادله (۱) $$WUE = \frac{DM}{W}$$

که در این معادله DM: میزان ماده خشک تولیدی، برحسب کیلوگرم و W: آب تأمین‌شده (آبیاری) بر حسب متر مکعب می‌باشد. از آنجا که محصولات کشاورزی که به بازار ارائه می‌شوند، دارای درصد رطوبت متغیری می‌باشند، مقایسه آنها از نظر WUE گمراه‌کننده می‌باشد. برای این منظور کارآیی مصرف آب اقتصادی[1] با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود.

معادله (۲) $$WUE^{*} = \frac{Yec}{W}$$

که در این معادله، Yec: عملکرد اقتصادی برای چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)، وزن تر ریشه با رطوبت ۸۰ درصد و برای ذرت (*Zea mays* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.)، وزن دانه‌ها با رطوبت ۱۵ درصد بر حسب کیلوگرم و w: آب تأمین‌شده آبیاری برحسب متر مکعب محاسبه شد. بهره‌وری آب در مقیاس گیاهی با در نظر گرفتن فیزیولوژی گیاه بر پایه تعرق (WP_T)[2]، کیلوگرم ماده خشک تولیدی برای هر مترمکعب آب مصرف‌شده در تعرق می‌باشد. در مقیاس مزرعه نیز بهره‌وری آب بر پایه تبخیر و تعرق (WP_{ET})[3] در واقع کیلوگرم ماده خشک تولیدی برای هر متر مکعب آب مصرف‌شده در تبخیر و تعرق می‌باشد (Kaveh & Hosseini abri, 2009).

از نظر متخصصان علم زراعت بهره‌وری آب در کشاورزی عبارت است از عملکرد ماده خشک به ازاء یک واحد آب مصرفی خالص، توسط گیاه که در واقع همان تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد. همچنین در تعریفی دیگر بهره‌وری، کیلوگرم محصول تولید شده قابل ارائه به بازار در واحد آب مصرف‌شده می‌باشد (WP_{ET}). بر این اساس بهره‌وری آب به‌صورت معادله (۳) محاسبه می‌شود.

معادله (۳) $$wp = \frac{Ym}{(V+Vp)}$$

در این معادله، Ym: عملکرد محصول اصلی بر حسب کیلوگرم، V: حجم آب مصرفی برای تبخیر و تعرق و Vp:حجم باران موثر می‌باشد (Kaveh, & Hosseini abri, 2009). افزایش کارآیی مصرف آب با بهبود عملیات زراعی (اصلاح نباتات و انتخاب ارقام مقاوم به خشکی، انتخاب الگوی مناسب کشت و کاربرد کودها) و نیز با بهبود مدیریت آبیاری (افزایش راندمان آبیاری، کاربرد روش کم‌آبیاری و آبیاری تکمیلی) قابل حصول است (Kiyani & Kallate Arabi, 2009). در یک تحقیق بهره‌وری ده محصول مختلف از جمله چغندرقند، کنجد و ذرت محاسبه و به ترتیب مقادیر ۱/۱۷، ۰/۱۱ و ۰/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب آب را گزارش کردند (Montazar & Kosari, 2007). در شرایط عدم تنش آب، کارآیی مصرف آب در چغندرقند ۱/۱ کیلوگرم ماده خشک به‌ازای مصرف یک متر مکعب آب بدست آمد (Vazifedoust et al., 2008).

نیتروژن از جمله مهم‌ترین عناصر در تغذیه گیاهی بوده (Salvagiotti et al., 2009) و به‌دلیل نقش کلیدی این عنصر در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان و نیز اثرات آن بر بوم‌نظام‌ها به‌ویژه بوم‌نظام‌های زراعی، مدیریت این عنصر در خاک به عنوان یکی از مباحث مهم در علوم کشاورزی مطرح می‌باشد (Rodrigues et al., 2006). از سویی به دلیل آن‌که در کشاورزی نیاز به نیتروژن نسبت به سایر عناصر غذایی بیشتر می‌باشد، استفاده از منابع آب به همراه سطوح مناسبی از کود نیتروژن به منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری آب، به عنوان یک ضرورت پژوهشی مطرح می‌باشد (Montazar & Kosari, 2007). از این‌رو، در شرایطی که آب کافی در دسترس نباشد، مدیریت غیر اصولی می‌تواند منجر به از دست رفتن منابع مهم شامل آب و نیتروژن و در نتیجه کاهش کارآیی مصرف این منابع شود. بنابراین با توجه به اینکه کمبود آب، جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لذا مصرف متعادل نیتروژن در کنار فراهمی رطوبت در خاک ضروری به‌نظر می‌رسد (Lak et al., 2006).

بر این اساس و با توجه به کمبود منابع آبی در کشور و نقش موثر نیتروژن در کارآیی و بهره‌وری آب، این تحقیق به منظور بررسی اثرات سطوح مختلف آب و کود نیتروژن و نیز اثرات متقابل آب و نیتروژن بر کارآیی مصرف و بهره‌روی آب در سه گیاه چغندرقند، ذرت و کنجد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت کرت‌های خرد شده نواری[4] در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۶ تیمار و سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه گونه گیاهی (چغندرقند،

1 -Water Use Efficiency based on economic yield
2 -Water Productivity based on transpiration
3 -Water Productivity based on evapotranspiration
4 -Strip split plot

Archive of SID

www.SID.ir

ذرت و کنجد)، کرت‌های فرعی شامل سه سطح آبیاری (I_1: ۱۰۰[1]، I_2: ۷۵ و I_3: ۵۰ بر اساس درصد نیاز آبی هر گونه گیاهی) و کرت‌های نواری شامل چهار سطح نیتروژن خالص (صفر: N_0[2]، N_1: ۵۰، ۱۰۰ :N_2 و N_3: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت کود اوره بود.

فاصله هر تکرار، سه متر، فاصله بین کرت‌های اصلی (گونه‌های گیاهی) ۱/۵ متر، برای جلوگیری از اثر رطوبت سطوح مختلف آبیاری در کرت‌های مجاور، فاصله بین سطوح آبیاری یک متر، فاصلهٔ بین نوارها (سطوح نیتروژن) در هر تکرار نیز یک متر در نظر گرفته شد و در وسط فاصلهٔ یک متری بین نوارها، لوله‌های آبیاری قرار داده شد.

تاریخ کاشت چغندرقند ۲۵ فروردین‌ماه، ذرت ۲۰ اردیبهشت‌ماه و کنجد ۲۰ خرداد بود. کاشت هر یک از گیاهان به‌صورت ردیفی و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود. در هر کرت شش ردیف، فاصله بوته‌های ذرت و چغندرقند روی هر ردیف ۲۰ و کنجد، پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذر چغندرقند، منوژرم (رقم Flores)، پوشش‌دار؛ بذر ذرت، رقم سینگل‌کراس (S.C.704)، متوسطرس، تک‌بلال و بذر کنجد توده بومی اسفراین انتخاب شد.

نیاز آبی گیاهان با استفاده از نرم‌افزار اپتی‌وات[3] و بر اساس میانگین تبخیر و تعرق ده‌ساله دشت مشهد و چناران، با استفاده از روش فائو پنمن- مانتیث محاسبه شد (Alizadeh & Kamali, 2008). از این‌رو بر مبنای تاریخ کاشت، نوع گیاه و منطقه کشت، نیاز آبی چغندرقند، ذرت و کنجد به‌ترتیب ۹۰۳۰، ۷۶۵۰ و ۵۴۳۰ متر مکعب در هکتار محاسبه گردید. بنابراین با در نظر گرفتن ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی هریک از گیاهان، میزان آب مورد نیاز برای هر گیاه در هر نوبت آبیاری (هفت روزه) تعیین شد. آبیاری به طریق نشتی و توسط لوله و شیرهای پلی‌اتیلن انجام شد. بنابراین کم‌ترین تلفات آب در مسیر انتقال آب وجود داشت. در انتقال آب پنج‌درصد حجم آب، تلف شده و راندمان انتقال آب ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. حجم آب مورد نیاز هریک از گیاهان، به تفکیک محاسبه و به وسیله کنتور اندازه‌گیری شد.

نیتروژن در سه مرحله به‌صورت تقسیطی مصرف شد. به دلیل تاریخ کاشت‌های متفاوت سه گیاه، مصرف کود نیتروژن در چغندرقند، دو ماه پس از کاشت و در ذرت و کنجد نیز در مراحل چهار و ۱۲ برگی و در مرحله قبل از گل‌دهی، به طور همزمان برای هر سه گیاه و به فاصله زمانی یک‌ماهه، به‌صورت کود اوره مصرف گردید.

کارآیی مصرف آب به صورت‌های مختلفی محاسبه می‌شود (که در این مطالعه) از نسبت کیلوگرم ماده خشک بر میزان آب مصرف‌شده، آب آبیاری بر حسب متر مکعب محاسبه شد. کارآیی مصرف آب اقتصادی (WUE*) از نسبت عملکرد اقتصادی (در ذرت و کنجد، وزن دانه و در چغندرقند، وزن ریشه) و نیز (WUE) از نسبت ماده خشک تولیدی (در ذرت و کنجد مقدار ماده خشک قسمت هوایی شامل دانه ساقه و برگ و در چغندرقند مقدار ماده خشک ریشه و برگ‌ها)، بر میزان آب مصرف‌شده (آب آبیاری)، با واحد $kg.m^{-3}$ در هر سه گونه گیاهی محاسبه شد. با توجه به اینکه در اراضی فاریاب دستیابی به میزان تبخیر و تعرق واقعی محصولات زراعی امکان‌پذیر نمی‌باشد، به جای تبخیر و تعرق از آب تأمین‌شده در اراضی (آب آبیاری) استفاده شد. از سویی به دلیل نحوه آبیاری بوسیله لوله، مقدار رواناب سطحی صفر و از هدررفت آب توسط آبشویی نیز به واسطه کوتاه‌بودن دور آبیاری صرف‌نظر شد. میزان بارندگی موثر در این آزمایش نیز صفر بود. بهره‌وری آب (WP) از حاصل‌ضرب (WUE*) در ارزش ریالی هر کیلوگرم عملکرد اقتصادی گیاهان مورد مطالعه، چغندرقند، ذرت و کنجد به ترتیب برابر با ۷۵۰، ۳۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ ریال، محاسبه شد (Anonymous, 2010). ازآنجا که نرخ خرید چغندرقند بستگی به درصد قند ریشه دارد، برای محاسبه عملکرد اقتصادی چغندرقند، قیمت هر کیلوگرم محصول با توجه به عیار قند ۱۶ درصد محاسبه شد. برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C، برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel-2007 و به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[4] استفاده شد.

نتایج و بحث

کارآیی مصرف آب اقتصادی (WUE*)

اگرچه اثر سطوح مختلف آبیاری بر WUE* معنی‌دار نشد (جدول ۲)، با این وجود با کاهش ۲۵ درصدی آبیاری، کارآیی مصرف آب اقتصادی این سه گونه گیاهی ۱۶ درصد کاهش یافت (شکل ۱). بدین ترتیب به نظر می‌رسد که کم‌آبیاری، یکی از روش‌های بالابردن WUE* در کشاورزی باشد.

1- Irrigation
2- Nitrogen
3- Optiwat
4- Least Significant Difference

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک در کرت‌های آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر
Table 1- Chemical and physical properties of soil samples from experimental plots at 0-30 cm depth

بافت Texture	نیتروژن کل (درصد) Total N(%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر) EC (mmohs.cm^{-1})	اسیدیته pH
لومی‌سیلتی Silty-loam	0.09	0.2	5.7	0.3	3.7	8.4

جدول۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای سه گونه گیاهی ذرت، کنجد و چغندرقند
Table 2- Analysis of variance (mean squares) of three plant species corn, sesame and sugar beet

منابع تغییر S.O.V	درجه‌آزادی df	شاخص برداشت HI	کارآیی مصرف آب WUE*	کارآیی مصرف آب WUE	بهره‌وری آب WUP
تکرار Replication	2	1824.4^{ns}	2.3^{ns}	0.13^{ns}	5998026*
گونه (S) Species (S)	2	29457.6**	330.1**	7.67**	61955891**
خطای اصلی Main error	4	40.1	1.1	0.4	46649108**
آبیاری (I) Irrigation (I)	2	8484.3**	11.4^{ns}	0.24^{ns}	46649108**
خطای فرعی ۱ Sub error 1	4	60.8	2.0	0.5	1172750
گونه * آبیاری S*I	4	1253.7**	3.2^{ns}	1.78*	2272235^{ns}
خطای فرعی ۲ Sub error 2	8	40.5	2.3	0.5	2521597
نیتروژن (N) Nitrogen (N)	3	36.5^{ns}	1.8**	0.42**	2193746**
گونه * نیتروژن S*N	6	25.3^{ns}	1.5**	0.09^{ns}	693919**
آبیاری * نیتروژن I*N	6	36.3^{ns}	0.4**	0.09^{ns}	535023**
گونه * آبیاری * نیتروژن S*I*N	12	40.3^{ns}	0.3**	0.14^{ns}	449160**
خطای فرعی ۳ Sub error 3	54	21.3	0.045	0.1	64727
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	13.97	10.05	16.37	9.44

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار
**, * and ns are significant at 1% and 5% probability levels and non significant, respectively.

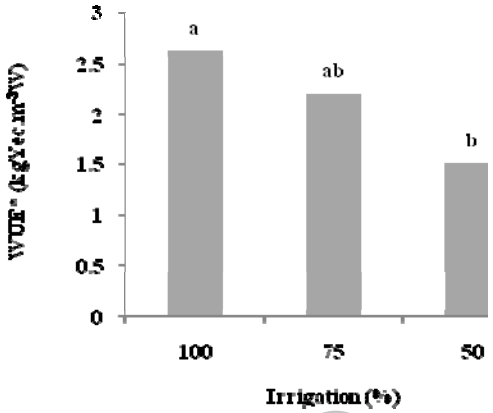
*WUE در سه گونه گیاهی در سطح احتمال یک‌درصد، معنی‌دار شد (جدول ۲). همانطور که انتظار می‌رفت، کارآیی مصرف آب در گیاهان روغنی مانند کنجد به‌دلیل صرف انرژی زیاد برای ساخت چربی (Koutroubas et al., 2000) و ذرت دانه‌ای بطور معنی‌داری کمتر از گیاهان با تولید هیدرات کربن مثل چغندرقند بود. چغندرقند گیاهی است که بیشتر تولیدات فتوسنتزی خود را در ریشه ذخیره می‌کند، بدیهی است که بالا بودن عملکرد اقتصادی (ریشه چغندرقند با ۸۰ درصد رطوبت) موجب افزایش کارآیی مصرف آب *WUE در این گیاه شد.

اثر سطوح نیتروژن بر *WUE در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). همانطورکه ملاحظه می‌شود با افزایش مصرف نیتروژن کارآیی اقتصادی مصرف آب روندی کاهشی داشت (شکل ۳).

به نظر می‌رسد که علت این کاهش، ناشی از افزایش رشد رویشی گیاهان ذرت و چغندرقند باشد. این افزایش می‌تواند موجب افزایش تعرق و میزان مصرف آب در این گیاهان شود.

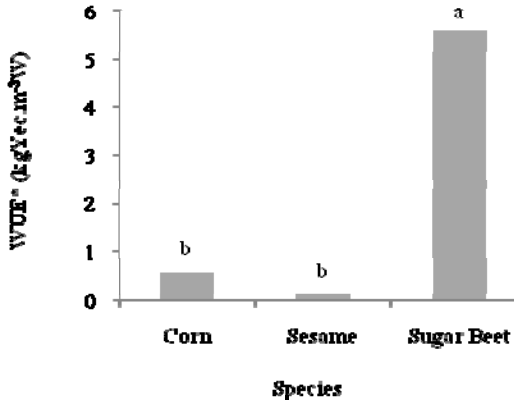
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- اثر سطوح آبیاری بر کارآیی مصرف اقتصادی آب

Fig. 1- Effect of irrigation levels on WUE*

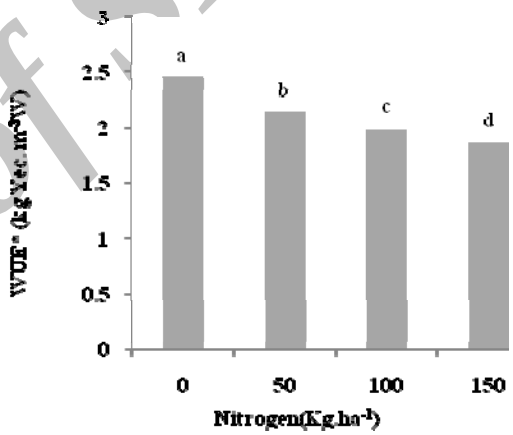


شکل ۲- اثر نوع گونه بر کارآیی مصرف آب اقتصادی

Fig. 2- Effect of plant species on WUE*

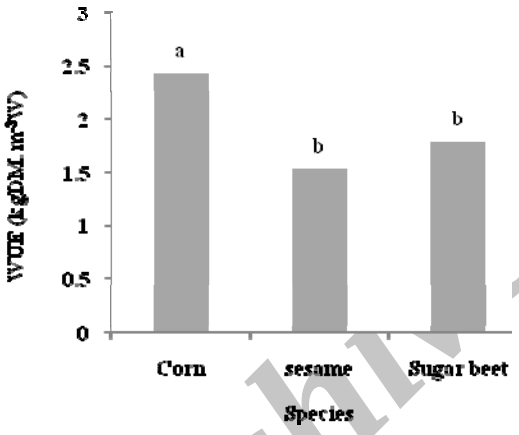
میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letter, are not significantly different (p≤0.05) based on LSD test.



شکل ۳- اثر سطوح نیتروژن بر کارآیی‌مصرف‌آب اقتصادی

Fig. 3- Effect of nitrogen levels on economical WUE*



شکل ٤- اثر نوع گونه بر کارآیی مصرف آب بیولوژیک

Fig. 4- Effect of plant species on biological WUE

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letter, are not significantly different (p≤0.05) based on LSD test.

اثرات کود نیتروژن بر روند کارآیی جذب آب در ذرت، مربوط به نقش نیتروژن در میزان تبخیر از سطح خاک و سرعت تعرق می‌باشد (Ogala et al., 2002).

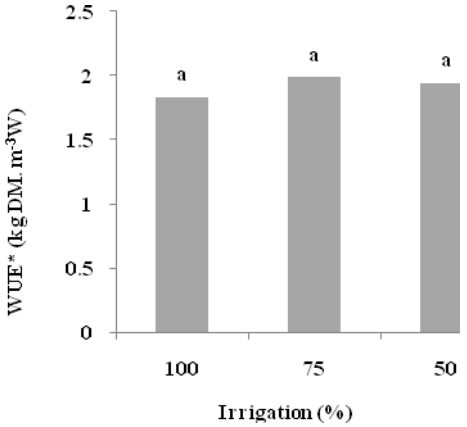
کارآیی مصرف آب بیولوژیک (WUE)

کارآیی مصرف آب در گونه‌های گیاهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). زمانی که برای هر سه گونه مقدار ماده خشک برای محاسبه کارآیی در نظر گرفته شود، ملاحظه می‌شود که ذرت به‌دلیل اینکه گیاهی با مسیر فتوسنتزی چهارکربنه است، ماده خشک تولیدی آن از چغندرقند و کنجد بیشتر می‌باشد (شکل ۴). اختلاف WUE در ذرت، با کنجد و چغندرقند به ترتیب ۳۷ و ۲۷ درصد بود.

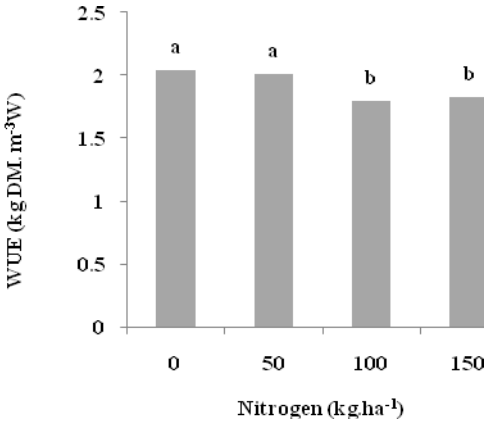
اثر سطوح مختلف آبیاری بر WUE در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نشد (جدول ۲). با توجه به تعریف کارآیی، $WUE = \frac{DM}{W}$، به نظر می‌رسد که کاهش میزان ماده خشک در سه گونه گیاهی (صورت کسر)، با کاهش میزان آب آبیاری (مخرج کسر) در هر سه سطح آبیاری، به یک نسبت کاهش پیدا کردند. به عبارت دیگر، کاهش ماده خشک تولیدی با میزان کاهش سطوح آبیاری، نسبت یکسانی دارند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- اثر سطوح آبیاری بر کارآیی مصرف آب بیولوژیک
Fig. 5- Effect of irrigation levels on biological WUE



شکل ٦- اثر سطوح نیتروژن بر کارآیی مصرف آب بیولوژیک
Fig. 6- Effect of nitrogen levels on biological WUE

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with similar letter, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on LSD test.

اثر سطوح نیتروژن بر WUE در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بین سطوح شاهد و ۵۰ با سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم مصرف نیتروژن اختلاف معنی‌دار شد، هرچند در سطوح صفر (شاهد) و ۵۰ و نیز سطوح ۱۰۰ با ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن اختلافی نبود (شکل ۶). به نظر می‌رسد مصرف نیتروژن، بین سطوح ۵۰ کیلوگرم، در سه گونه گیاهی تأثیر چندانی نداشته و با بیشتر شدن میزان مصرف به ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم اختلاف، معنی‌دار شد. این امر می‌تواند مربوط به واکنش متفاوت هریک از سه گونه گیاهی نسبت به مصرف کود نیتروژن باشد. به عبارت دیگر، واکنش ذرت، کنجد و چغندرقند به سطوح مختلف نیتروژن در افزایش یا کاهش ماده خشک تولیدی یکسان نمی‌باشد. در آزمایشی مشابه که روی چغندرقند انجام شد، بین همین سطوح نیتروژن اختلاف معنی‌داری، مشاهده نشد (Jalini et al., 2008). در سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، WUE سه گونه در کم‌ترین مقدار بود.

بهره‌وری آب (WP)

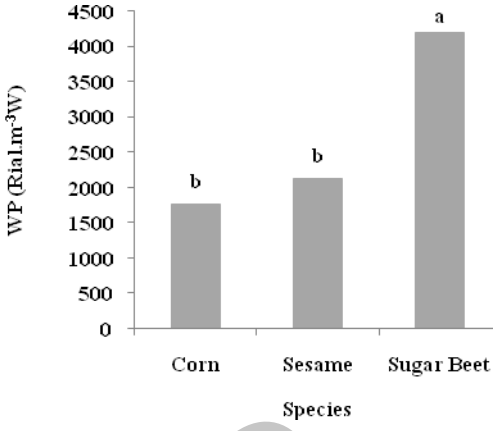
بهره‌وری آب در سه گونه گیاهی در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). چغندرقند با میانگین کارآیی مصرف آب معادل ۵/۶ کیلوگرم بر متر مکعب آب آبیاری (شکل ۲) و به‌ازای هر کیلوگرم چغندرقند با عیار ۱۶ درصد، قیمت ۷۵۰ ریال، بهره‌وری مصرف آب آبیاری ۴۲۰۰ ریال به دست آمد (شکل ۷). برای گیاهان ذرت و کنجد با قیمت هر کیلوگرم دانه ۳۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ ریال به ترتیب اعداد ۱۷۶۸ و ۲۱۲۳ ریال حاصل شد (Anonymous, 2010). برای مقایسه بازده مصرف آب در گونه‌های مختلف گیاهی مقایسه میزان عملکرد چغندرقند با کنجد و ذرت گمراه‌کننده است. بنابراین ارزش ریالی هریک از محصولات در قالب شاخص بهره‌وری آب در این سه گونه گیاهی محاسبه شد (شکل ۷). اثر سطوح آبیاری بر WP در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). اختلاف بین سطوح ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی، منجر به کاهش ۲۲ درصدی، معادل ۸۲۲ ریال در ارزش هر متر مکعب آب آبیاری شد (شکل ۸).

به عبارت دیگر، با ۲۵ درصد صرفه‌جویی در آب آبیاری تنها ۲۲ درصد کاهش در درآمد حاصل از کشت این سه گیاه در الگوی کشت شد. به‌نظر می‌رسد که با ۲۵ درصد صرفه‌جویی در آبیاری و افزایش سطح زیر کشت، می‌توان میزان بهره‌وری مصرف آب در کشاورزی را افزایش داد.

اثر سطوح نیتروژن در بهره‌وری آب در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با افزایش نیتروژن، بهره‌وری مصرف آب در سه گونه‌گیاهی به طور معنی‌داری رو به کاهش گذاشت (شکل ۹). به نظر می‌رسد که تأثیر افزایش نیتروژن در سه گونه گیاهی منجر به رشد رویشی بیشتر و افزایش عملکرد بیولوژیک شده است. به عبارت دیگر، اثر افزایش سطوح نیتروژن تأثیر کمتری در افزایش عملکرد اقتصادی سه گونه گیاهی داشته است. این اختلاف معنی‌دار در سطوح نیتروژن برای WUE* که رابطه مستقیم با WP دارد، نیز مشاهده شد.

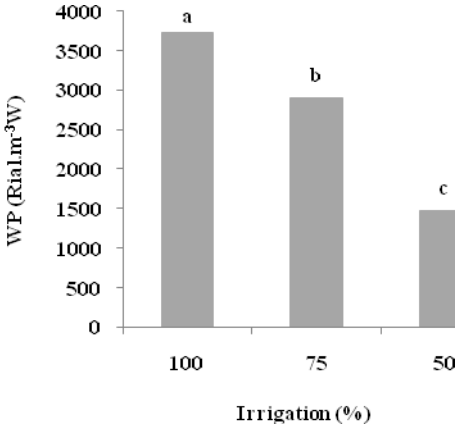
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷- اثر نوع گونه بر بهره‌وری مصرف آب

Fig. 7- Effect of plant species on WP

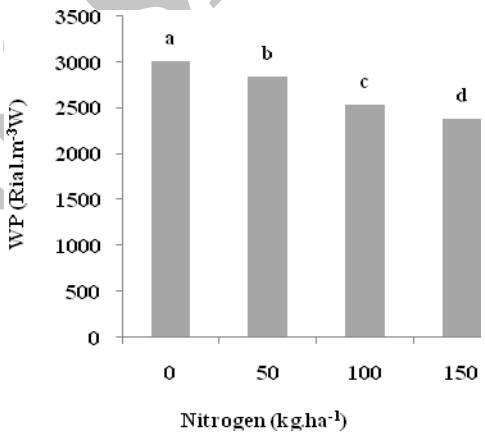


شکل ۸- اثر سطوح آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب

Fig. 8- Effect of irrigation levels on WP

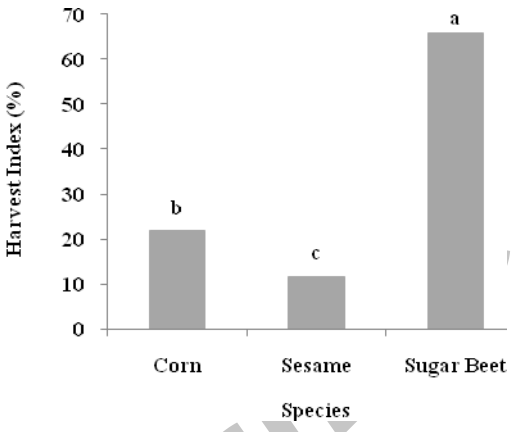
میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارد.

Means with similar letter, are not significantly different (P≤0.05) based on LSD test.



شکل ۹- اثر سطوح نیتروژن بر بهره‌وری مصرف آب

Fig. 9- Effect of nitrogen levels on WP



شکل ۱۰- اثر نوع گونه بر شاخص برداشت

Fig. 10- Effect plant species on Harvest Index

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letter, are not significantly different (p≤0.05) based on LSD test.

شاخص برداشت

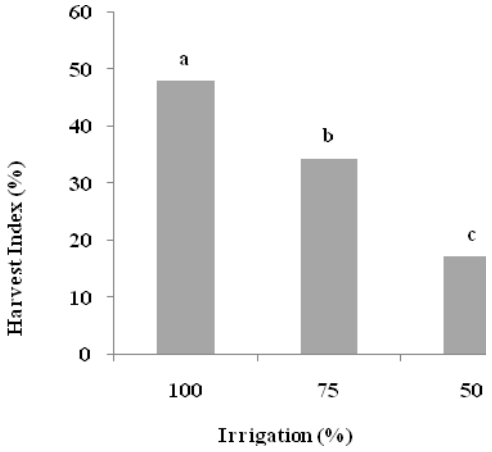
شاخص برداشت در سه گونه گیاهی در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). متوسط شاخص برداشت در سطوح مختلف نیتروژن و آبیاری در گیاهان چغندرقند، ذرت و کنجد به ترتیب برابر با ۶۵/۶، ۲۱/۸ و ۱۱/۸ به‌دست آمد (شکل۱۰).

با توجه به تیمار آبیاری ۵۰ درصدی، میانگین به‌دست‌آمده، خیلی دور از انتظار نیست. هرچند شاخص برداشت چغندرقند، کنجد و ذرت در شرایط بدون تنش به ترتیب ۸۵، ۲۵ و ۴۰ درصد نیز گزارش شده است (Sajedi, 2008; Gheflati, 1994; Jalini, 2008). این محققین همچنین اظهار داشتند که اعمال ۵۰ درصد تنش خشکی می‌تواند شاخص برداشت چغندرقند، کنجد و ذرت را به‌طور معنی‌دار تا ۳۰ درصد کاهش دهد.

اثر سطوح آبیاری بر شاخص برداشت سه گونه گیاهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با کاهش ۵۰ درصدی آبیاری شاخص برداشت سه گونه گیاهی ۶۴ درصد کاهش یافت (شکل ۱۱).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۱- اثر سطوح آبیاری بر شاخص برداشت

Fig. 11- Effect of irrigation levels on Harvest Index

میانگین‌های دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letter, are not significantly different (p≤0.05) based on LSD test.

اثر متقابل گونه و آبیاری بر شاخص برداشت

اثر متقابل آب و گونه‌های گیاهی بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). میانگین کارآیی اثر متقابل تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با گونه ذرت در مقایسه با تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب منجر به کاهش ۴۵ و ۹۶ درصدی شاخص برداشت شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که تنش ۵۰ درصدی آب در ذرت باعث کاهش شدید رشد زایشی و عملکرد دانه، نزدیک به صفر شده است. در مقابل کاهش ۲۵ درصدی آب تنش ملایمی بوده و تأثیر کمتری در شاخص برداشت ذرت داشت.

در کنجد و چغندرقند تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، میزان کاهش شاخص برداشت به ترتیب برای کنجد ۷/۵ و ۵۰ درصد و چغندرقند ۲۴ و ۵۲ درصد را نشان داد. چغندرقند یک گیاه متحمل به خشکی است و در شرایط تنش خشکی نیز می‌تواند عملکرد اقتصادی بالایی تولید کند. در کنجد نیز این نتیجه دور از انتظار نمی‌باشد، زیرا کنجد گیاهی مقاوم به خشکی بوده و در مقابل کاهش ۲۵ درصدی آب واکنش مناسب‌تری نسبت به ذرت دارد. به‌نظر می‌رسد که حساسیت این سه گونه گیاهی به تنش آب متفاوت بوده، به‌طوری‌که ذرت در مواجهه با تنش ۵۰ درصدی آب، به دلیل کاهش شدید عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت آن نزدیک به صفر شد. در حالیکه میزان حساسیت کنجد و چغندرقند به ترتیب نسبت به تنش ۵۰ درصدی، کمتر از ذرت بود.

اثر متقابل گونه و آبیاری بر کارآیی مصرف آب بیولوژیک (WUE)

اثر متقابل آب و گونه‌های گیاهی بر WUE در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار شد (جدول۲). ذرت در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی دارای بیشترین مقدار WUE معادل ۲/۷ کیلوگرم ماده خشک بر هر متر مکعب آب آبیاری بود (جدول ۳). در مقابل همین سطح آبیاری، چغندرقند با ۱/۵۰ و کنجد با ۱/۳ در مرتبه بعدی قرار می‌گیرند.

به‌نظر می‌رسد که پتانسیل تولید ماده خشک در ذرت به دلیل چهارکربنه‌بودن ۴۴ درصد بیشتر از چغندرقند و ۵۲ درصد بیشتر از کنجد است. ذرت در نتیجه استفاده بهینه از منابعی مانند آب و نور، می‌تواند ماده خشک بیشتری تولید کرده و در نهایت موجب بالا بردن WUE شود. بین سطوح ۱۰۰ و ۷۵ درصد آبیاری در ذرت اختلاف معنی‌دار نشد. کاهش ۵۰ درصدی آبیاری موجب کاهش ۲۷ درصدی WUE شد که اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). در تیمار ۷۵ درصدی آبیاری در گیاهان کنجد و چغندرقند نیز اختلاف معنی‌دار نبود. تنش۵۰ درصدی آبیاری در کنجد موجب افزایش ۲۷ درصدی WUE، نسبت به شریط عدم تنش شد. در چغندرقند نیز تنش ۵۰ درصدی آبیاری موجب افزایش ۲۹ درصدی WUE، نسبت به شرایط عدم تنش شد. این نتیجه تأییدی بر مقاومت کنجد و چغندرقند، نسبت به شرایط کمبود آب و تنش خشکی می‌باشد. تحمل نسبی چغندرقند به تنش خشکی، یکی از خصوصیات مهم برای کشت این گیاه در اکثر مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Ober et al., 2004).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۳- اثرات متقابل گونه و آبیاری بر روی برخی صفات مورد مطالعه در سه گونه گیاهی

Table 3- Interaction effects of species and irrigation levels on studied traits on three plant species

بهره‌وری‌آب (ریال در متر مکعب) WP ($Rial.m^{-3}W$)	کارآیی‌مصرف‌آب (کیلوگرم در مترمکعب) WUE ($kg\ DM.m^{-3}W$)	کارآیی‌مصرف‌آب* (کیلوگرم در مترمکعب) WUE* ($kg\ Y_{ec}.m^{-3}W$)	شاخص‌برداشت (درصد) HI (%)	تیمارها Treatments: درصد نیاز آبی Water requirement (%)	گونه‌های گیاهی Plant species
3324	2.694^{a}	1.108	41.17^{c*}	100	ذرت Corn
1857	2.646^{a}	0.619	22.48^{d}	75	
124	1.958^{b}	0.041	1.73^{f}	50	
2915	1.292^{c}	0.196	14.57^{e}	100	کنجد Sesame
2476	1.543^{bc}	0.166	13.48^{e}	75	
980	1.777^{bc}	0.066	7.29^{f}	50	
4922	1.501^{bc}	6.563	87.56^{a}	100	چغندرقند Sugar Beet
4361	1.765^{bc}	5.815	66.77^{b}	75	
3308	2.095^{ab}	4.410	42.38^{c}	50	
ns	P <0.05	ns	P<0.01	-	معنی‌داری Significance
1495	0.630	1.416	5.99	-	حداقل تفاوت معنی‌دار LSD

*حروف مشترک در هر ستون و برای هر تیمار نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Mean in each column and each treatments followed by similar letters are not significantly different at 5% probably level.

جدول٤ - اثرات متقابل گونه و نیتروژن بر روی برخی صفات مورد مطالعه در سه گونه گیاهی

Table 4- Interaction effects between species and nitrogen levels on studied traits of three plant species

بهره‌وری‌آب (ریال در مترمکعب) WP ($Rial.m^{-3}W$)	کارآیی‌مصرف‌آب (کیلوگرم در مترمکعب) WUE ($kg\ DM.m^{-3}W$)	کارآیی‌مصرف‌آب* (کیلوگرم در مترمکعب) WUE* ($kg\ Yec.m^{-3}W$)	شاخص‌برداشت (درصد) HI (%)	تیمارها Treatments: نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) N ($kg.ha^{-1}$)	گونه‌های گیاهی Plant species
1819^{h}	2.488	0.606^{e}*	22.0	0	ذرت Corn
1939^{gh}	2.570	0.646^{e}	24.2	50	
1578^{i}	2.253	0.526^{e}	19.6	100	
1738^{hi}	2.420	0.579^{e}	21.3	150	
2283^{ef}	1.586	0.154^{f}	13.4	0	کنجد Sesame
2379^{e}	1.608	0.159^{f}	13.0	50	
2074^{fg}	1.470	0.139^{f}	11.4	100	
1757^{hi}	1.486	0.117^{f}	9.4	150	
4987^{a}	2.049	6.596^{a}	66.8	0	چغندرقند Sugar Beet
4208^{b}	1.853	5.611^{b}	64.4	50	
3966^{c}	1.669	5.288^{c}	67.3	100	
3667^{d}	1.576	4.889^{d}	63.9	150	
P <0.01	ns	P<0.01	ns	-	معنی‌داری Significance
240	0.297	0.201	4.4	-	حداقل تفاوت معنی‌دار LSD

* حروف مشترک در هر ستون و هر تیمار، نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

* Means in columns and treatments followed by similar letter are not significantly different at 5% probably level based on LSD test.

Archive of SID

www.SID.ir

اثر متقابل گونه و نیتروژن بر کارآیی مصرف اقتصادی آب (WUE*)

اثر متقابل گونه و نیتروژن بر *WUE در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

*WUE ذرت، کنجد و چغندرقند در کلیه سطوح نیتروژن، اختلاف معنی‌داری داشتند؛ در چغندرقند بین سطوح مختلف نیتروژن نیز اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین اختلاف یعنی کاهش ۲۶ درصدی در کارآیی مصرف آب چغندرقند در تیمار شاهد و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد که در بین این سه گونه گیاهی، چغندرقند واکنش شدیدتری نسبت به سطوح نیتروژن داشته است، به‌طوری‌که با افزایش نیتروژن عملکرد اقتصای کم و به تبع آن کارآیی مصرف آب نیز کاهش پیدا کرده است. در تحقیقی با هدف بررسی اثر تنش آب با مقادیر تنش کم، متوسط و زیاد بر روی خصوصیات فیزیولوژیکی چغندرقند، کارآیی مصرف آب نسبت به شرایط عدم تنش خشکی، در تنش کم، متوسط و زیاد، به ترتیب بالاتر از ۸۰، بین ۶۵ تا ۸۰ و کمتر از ۶۵ درصد شد (Vomucka & Pospisilvoa, 2003).

اثر متقابل گونه و نیتروژن بر بهره‌وری آب (WP)

اثر متقابل گونه و نیتروژن در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در مقایسه اثر متقابل نیتروژن و گونه‌های گیاهی مشاهده می‌شود که بیشترین بهره‌وری مصرف آب در گونه چغندرقند در تیمار عدم مصرف نیتروژن بود (جدول ۴). با افزایش نیتروژن بهره‌وری مصرف آب در چغندرقند کاهش یافت. در واقع در سطوح پایین نیتروژن، چغندرقند از منابع آب با کارآیی بالاتری استفاده کرده است. از طرفی در گونه ذرت و کنجد نیز حداکثر بهره‌وری در تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد. این امر رابطه متقابل نیتروژن و آب در افزایش بهره‌وری مصرف آب را به خوبی نشان می‌دهد.

اثر متقابل آب و نیتروژن بر کارآیی مصرف اقتصادی آب (WUE*)

اثر متقابل آب و نیتروژن بر *WUE در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به مشاهدات بالا به‌نظر می‌رسد که بطورکلی چغندرقند در پاسخ به افزایش نیتروژن، حساسیت بیشتری نسبت به دو گونه دیگر دارد.

جدول ۵ - اثرات متقابل آب و نیتروژن بر روی برخی صفات مورد مطالعه در سه گونه‌گیاهی

Table 5- Interaction effects of irrigation and nitrogen levels on studied traits on three plant species

تیمارها Treatments		شاخص برداشت (درصد) HI (%)	کارآیی‌مصرف‌آب* (کیلوگرم در مترمکعب) WUE* (kg Yec.m^{-3}W)	کارآیی‌مصرف‌آب (کیلوگرم در مترمکعب) WUE (kg DM.m^{-3}W)	بهره‌وری‌آب (ریال در مترمکعب) WP (Rial.m^{-3}W)
نیاز آبی (درصد) Water requirement (%)	نیتروژن (کیلوگرم‌درهکتار) N (Kg.ha^{-1})				
100	0	50.0	3.148^{a*}	1.900	4227^{a}
	50	47.6	2.528^{b}	1.803	3710^{b}
	100	48.3	2.402^{bc}	1.742	3475^{bc}
	150	45.2	2.410^{bc}	1.869	3469^{c}
75	0	33.3	2.309^{c}	2.095	2953^{d}
	50	37.1	2.411^{bc}	2.120	3407^{c}
	100	32.0	1.985^{d}	1.891	2663^{e}
	150	34.6	2.096^{d}	1.833	2570^{e}
50	0	18.9	1.900^{d}	2.127	1869^{f}
	50	16.8	1.478^{e}	2.108	1410^{g}
	100	18.1	1.566^{e}	1.759	1480^{g}
	150	14.7	1.080^{f}	1.779	1127^{h}
معنی‌داری Significance	-	ns	P<0.01	ns	P <0.01
حداقل تفاوت معنی‌دار LSD	-	4.4	0.201	0.297	240

*حروف مشترک در هر ستون و هر تیمار، نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

* Means in columns and treatments followed by similar letter, are not significantly different at 5% probably level based on LSD test.

Archive of SID

www.SID.ir

میزان نیتروژن در خاک منجر به افزایش درصد ماده خشک ریشه چغندرقند، عملکرد ریشه و درنتیجه بهبود جذب نیتروژن از خاک می‌شود (Armstrong et al., 1986). افزایش ازت تا یک حد معین و بهینه، مقدار عملکرد ریشه را افزایش می‌دهد (Carter, 1982). در کنجد با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن بهره‌وری آب افزایش یافت، اما سطوح بالاتر نیتروژن موجب کاهش بهره‌وری آب شد. استفاده از ۴۳/۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، به میزان ۲۵ درصد بالاتر از مقدار معمول عملکرد دانه، درآمد خالص و بهره‌وری آب در کنجد را افزایش داد (Imayavaramban et al., 2002).

به‌نظر می‌رسد که واکنش کنجد به نیتروژن در سطوح بالاتر مثبت نمی‌باشد. در ذرت نیز گرچه مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن منجر به افزایش بهره‌وری شد، ولی در سطوح بالاتر نیتروژن رشد رویشی نسبت به عملکرد اقتصادی آن افزایش یافت که کاهش بهره‌وری مصرف آب را به دنبال داشت. کارآیی مصرف آب اقتصادی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سطح صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (شاهد) معادل ۳/۱۵ کیلوگرم عملکرد اقتصادی به ازای هر متر مکعب آب بود. این مقدار با همه سطوح نیتروژن و آب اختلاف معنی‌داری داشت. این نتیجه کاملاً منطقی می‌باشد، زیرا بیشتر گیاهان در شرایط عدم تنش عملکرد اقتصادی بیشتری دارند. در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی، با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن نسبت به سطح صفر کیلوگرم نیتروژن (شاهد)، افزایش ۴/۳ درصدی در *WUE مشاهده شد. در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی با سطوح مختلف نیتروژن، سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن کمترین اختلاف را با شاهد نیتروژن داشت، هر چند که این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

یکی از شاخص‌های مهم برای مقایسه بازده مصرف آب در محصولات کشاورزی محاسبه ارزش ریالی هر متر مکعب آب می‌باشد. برای این منظور به‌نظر می‌رسد که اگر کارآیی مصرف آب اقتصادی هریک از گونه‌های گیاهی ذرت، کنجد و چغندرقند را در قیمت هر کیلوگرم آنها ضرب کنیم، عدد حاصل به عنوان یک شاخص با واحد یکسان (ریال بر متر مکعب آب آبیاری) برای هریک از گونه‌های گیاهی به‌دست می‌آید. این شاخص فارغ از سایر هزینه‌های تولید، فقط به عنوان ارزش ریالی هر متر مکعب آب آبیاری برای تولید هر کیلوگرم ذرت، کنجد و چغندرقند می‌باشد. در مقایسه سه گونه گیاهی از نظر کارآیی مصرف آب اختلاف معنی‌دار نشد، درحالیکه بهره‌وری آب (ارزش ریالی هریک از محصولات در واحد آب آبیاری) در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر متقابل آب و نیتروژن در این سه گونه‌گیاهی بر بهره‌وری، کارآیی اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب معنی‌دار شد. در این آزمایش مناسب‌ترین سطح نیتروژن، در صورت کشت این سه گونه گیاهی در یک الگوی کشت، مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن بود. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که کاهش ۲۵ درصدی آب آبیاری (کم‌آبیاری) همراه با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به صورت تقسیطی، یکی از راهکارهای استفاده بهینه و صحیح از منابع آب و نیتروژن بوده و موجب افزایش بهره‌وری و کارآیی مصرف آب گردید.

منابع

Alizadeh, A., and Kamali, A. 2008. Crop Water Requirement in Iran. Astan Ghods Razavi Publications, Mashhad p. 135-161. (In Persian)

Armstrong, M.J., Milford, G.F., Pocock, T.O., Last, P.J., and Day, W. 1986. The dynamics of nitrogen uptake and its remobilization during the growth of sugar beet. Agricultural Journal of Science 107: 145-154.

Anonymous. 2010. Statistics of Agriculture. Ministry of Agriculture of Iran. (In Persian)

Baghani, J., and Alizadeh, A. 2000. Crop yield and water use efficiency in drip and furrow irrigation. Journal of Agricultural Engineering Research 5: 1-10. (In Persian with English Summary)

English, M.J., Musick, J.T., and Nmurty, V.V.N. 1990. Deficit irrigation management of farm irrigation system. American Society of Agriculture Engineer 116: 631-663.

Gheflati, M. 1994. Evaluate effects of plant density on yield and yield components of sesame. PhD dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Imayavaramban, V., Singaravel, R., Thanunathan, K., and Manickam, G. 2002. Studies on the effect of different plant densities and the levels of nitrogen on the productivity and economic returns of sesame. Crop Research 24: 314-

Archive of SID

www.SID.ir

316.

Jalini, M., Ghaemi, A., and Zare Parvar, H. 2008. Effects of water stress on nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency on sugar beet. Journal of Research in Agricultural Science 4(2): 164-172. (In Persian with English Summary)

Kaveh, F., and Hosseini Abri, S.A. 2009. Increasing water productivity in Agriculture. 12th Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (In Persian with English Summary)

Kiyani, A., and Kallate Arabi, M. 2009. Effect of different irrigation levels on yield and water productivity in wheat on Gorgan region. Journal of Plant Production 16(3): 85-102. (In Persian with English Summary)

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., and Doitsinis, A. 2000. Water requirements for castor oil crop (*Ricinnus communis* L.) in a Mediterranean climate. Crop Science 14: 33-41.

Lak, S., Siyadat, S.A., Ayene band, A., and Noor Mohammadi, G. 2006. Effect of nitrogen level plant density on yield, yield component and water use efficiency in corn. Iranian Journal of Field Crops Research 8: 153-170. (In Persian with English summary)

Montazar, A., and Kosari, H. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. Research Report of University College of Aboureyhan, University of Tehran, Pakdasht, Iran. (In Persian)

Nasr-Esfahani, A. 2009. Planning and Management Research Institute Agriculture and the research findings at web site http:// www.agri-peri.ir/entesharat/gozareshat/.../85--2.p... - (verified in 15 July 2011).

Ober, E.S., Clark, C.J.A., Lebloa, M., Royal, A., Jaggard, K.W., and Pidgeon, J.D. 2004. Assessing the genetic resources to improve drought in sugar beet. Agronomic traits of diverse genotypes under droughted and irrigated conditions. Field Crops Research 90: 213-234.

Ogala, J.B.O., Wheeler, T.R., and Harris, P.M. 2002. Effects of nitrogen and irrigation on water use of maize crops. Field Crops Research 78: 105-117.

Paperi Moghaddam, A., and Bahrani, M.J. 2005. Effect of nitrogen application on some characteristics of sesame. Iranian Journal of Agriculture Science 36(1): 129-135. (In Persian with English Summary)

Rodrigues, M.A., Pereira, A., Cabanas, J.E., Dias, L., Pires, J., and Arrobas, M. 2006. Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. European Journal of Agronomy 25: 328-335.

Sajedi, A. 2008. Interaction effects of water stress, zinc and mycorrhizae on yield, yield components and harvest index on corn. Journal of New Agricultural Sciences 2(3): 271-284. (In Persian with English Summary)

Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J., and Pedrol, H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113: 170-177.

Vazifedousta, M., Vandama, J.C., Feddesa, R.A., and Feizic, M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management 95: 89-102.

Vomucka, L., and Pospisilvoa, J. 2003. Rehydration of sugar beet plant after water stress. Biologya Plant Arum 46 (1): 57-62.

Archive of SID

www.SID.ir