بررسی اثر تعدیل‌کنندگی پتاسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا رقم هایولا ۳۳۰ تحت تنش شوری ناشی از NaCl

Investigation of Mitigated Effects of K^+ on Some Physiological Traits, Yield and Yield Components in Canola Plant (*Brassica nupus* L. Var. Hyola330) Under Salinity Stress (NaCl)

سیدفاضل فاضلی‌کاخکی[۱*]، مرتضی گلدانی[۲] و مریم کمالی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۵

چکیده

کلرید پتاسیم (KCL) به‌عنوان یک ماده غذایی و نیز یک ترکیب تخفیف‌دهنده تنش شوری در بسیاری از خاک‌ها و محصولات زراعی استفاده می‌شود. به‌منظور مطالعه اثرات تعدیل‌کنندگی شوری ناشی از کلرید سدیم توسط کلرید پتاسیم در گیاه کلزا رقم هایولا۳۳۰، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. تیمارها شامل کلرید سدیم در چهار سطح (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار) و کلرید پتاسیم در دو سطح (صفر و ۲۰ میلی‌مولار) بود. نتایج نشان داد اعمال تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب بهبود محتوای آب نسبی برگ، فتوسنتز، تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه نسبت به شاهد شد. بیشترین وزن دانه در بوته به مقدار ۱/۲۱ گرم در تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کمترین مقدار آن در تیمار عدم مصرف کلرید پتاسیم و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌دست آمد. در سطوح بالای کلرید سدیم (۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار)، افزایش کلرید پتاسیم نتوانست سبب بهبود صفات مورد بررسی شود. نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که وزن دانه در بوته با تعداد غلاف در بوته (r=۰/۵۵**) و دانه در غلاف (r=۰/۴۷*) همبستگی مثبت داشت ضمن این‌که با زیست توده و فتوسنتز نیز دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری بود. در مجموع نتایج نشان داد که اعمال کلرید پتاسیم در سطوح مختلف شوری دارای رفتاری متفاوت است و در هر سطح شوری سبب بهبود برخی صفات مورد مطالعه نسبت به شاهد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زیست توده، شوری، غلاف در بوته، فتوسنتز، کلرید پتاسیم

۱. دانش آموخته دکتری گروه زراعت از دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و مدرس مرکز آموزش جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مشهد
۲. دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
۳. دانشجوی دکتری گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
*: نویسنده مسئول Email: sf_fazeli@yahoo.com

مقدمه

شوری از طریق برهم زدن تعادل تغذیه‌ای گیاه سبب محدود شدن رشد و تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). در این مناطق به‌دلیل افزایش تجمع بیش از حد آنیون‌ها و کاتیون‌ها در محلول خاک، تنش شوری بروز می‌نماید (علیزاده، ۱۳۷۷). مهمترین عامل در بروز تنش شوری در گیاهان وجود مقادیر زیاد یون‌های تک ظرفیتی مانند سدیم و کلر است (*مانس*[1]، 2002). در این شرایط یون Na^+ جایگزین یون K^+ در جایگاه یونی مربوطه شده و سبب آسیب رساندن به ساختار بیوشیمیایی سلول می‌شود. از طرفی فشار آماس در تونوپلاست که بوسیله K^+ ایجاد می‌شود توسط Na^+ جایگزین شده و اثر بازدارندگی این یون روی مکانیسم جذب K^+ سبب کمبود تغذیه‌ای K^+ می‌شود (*ماتیوس*[2]، 2006). پتاسیم یک عنصر سیتوپلاسمی ضروری است و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مهم شرکت می‌کند (*مارچنر*[3]، 1995) و به‌علت نقش آن در تنظیم اسمزی و نیز اثر رقابتی آن با سدیم غالباً به‌عنوان عنصر مهم در مدیریت تنش شوری در نظر گرفته می‌شود. به‌طوری‌که گیاهان، به‌ویژه در گونه‌های مقاوم به شوری، تمایل زیادی به یون پتاسیم نشان می‌دهند و در این شرایط پتاسیم نقش مهمی در افزایش پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه و نیز بازیابی روابط آبی آن داشته و سبب افزایش مقاومت به تنش اسمزی می‌گردد (*ماتیوس*، 2006).

بررسی انجام شده حاکی از آن است که افزایش پتاسیم در محیط ریشه، سبب افزایش تحمل به شوری و عملکرد آفتابگردان شده است (*دلگادو و سانچز رایا*[4]، 1999). در مطالعه دیگری *سوریا-ارونروج*[5] و همکاران (2005) گزارش کردند که در برنج کاربرد مقادیر زیاد K^+ (۶۸ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با ۴۳/۷۵ کیلوگرم در هکتار) نتوانست با غلظت‌های بالای Na^+ (در شوری ۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) در جذب رقابت نماید، لذا اثری بر غلظت پتاسیم داخل گیاه و نیز افزایش توانایی تحمل به تنش در برنج نداشت. از طرفی محققین گزارش کردند که با افزایش مقدار سدیم در محیط ریشه گیاه برنج غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد (*خان*[6] و همکاران، 1997).

تنش شوری باعث بروز دامنه وسیعی از واکنش‌ها در گیاهان از بیان ژن و تغییر در فرآیندهای سلولی تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد گیاه می‌شود (*اشمیتز*[7] و همکاران، 2008). در این راستا بسیاری از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مانند: ارتفاع گیاه، محتوای آب نسبی، محتوای نسبی کلروفیل، عملکرد کوانتومی (fv/fm)، شاخص پایداری غشاء و فتوسنتز تحت تأثیر شوری قرار گرفته و کاهش می‌یابد (*مانس و تستر*[8]، 2008؛ *نوتندو*[9] و همکاران، 2004؛ *جونز و ترنر*[10]،1978). با افزایش شوری کاهش میزان مواد فتوسنتزی و نیز تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت مقابله با شرایط تنش سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (*مانس و ترمات*[11]، 1986).

کلزا (*Brassica napus* L.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است و پس از سویا و نخل روغنی مقام سوم را در تأمین روغن جهان دارد (بایبردی[12]، 2010). نیاز روزافزون تقاضا برای روغن کلزا و از طرفی محدود شدن آب‌های شیرین (به دلایل خشکسالی، مدیریت ضعیف کشاورز)، سطح زیرکشت این محصول را در مناطقی که استعداد شور شدن دارد را افزایش خواهد داد (فرانکویس[13]، 1994). اگرچه کلزا یک گیاه متحمل به شوری محسوب می‌شود؛ اما شوری‌های موجود در آب آبیاری و خاک، پتانسیل تولید آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (*آدلوف*[14]، 1980). به‌طوری‌که با افزایش شوری، ظهور برگ‌ها و تشکیل اولین میانگره‌ها را در کلزا به تأخیر می‌اندازد و ادامه تنش در مراحل بعدی رشد، سبب کاهش ارتفاع، تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته می‌شود (*بوم*[15] و همکاران، 1994). با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به روغن نباتی و نقش پتاسیم در کاهش تنش شوری این مطالعه با هدف تأثیر پتاسیم در شرایط شور بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد درکلزا انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی

1. Munns
2. Maathuis
3. Marchner
4. Delgado and Sanchez.Raya
5. Suriya-arunroja
6. Khan
7. Schmitz
8. Munns and Tester
9. Notondo
10. Jones and turner
11. Munns and tremaat
12. Bybordi
13. Francois
14. Adolphe
15. Boem

در سه تکرار در مهر ماه سال ۱۳۹۰ اجرا شد. به این منظور از گلدان‌هایی محتوی خاک به وزن ۱۲ کیلوگرم استفاده گردید. قبل از اجرای آزمایش، آزمون خاک انجام شد (جدول ۱). تیمارها شامل فاکتور اول آبیاری با کلرید سدیم (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار) و فاکتور دوم کلرید پتاسیم (صفر و ۲۰ میلی‌مولار) بود. پس از تهیه نمک‌های مورد نیاز برای هر تیمار به‌مدت یک هفته روز در میان گلدان‌ها با تیمارهای موردنظر آبیاری شد تا نمک‌ها در تمام گلدان پخش شود (قربانی و همکاران، ۱۳۸۲) و سپس اقدام به کشت گلدان‌ها گردید و برای ثابت ماندن میزان شوری هر کدام از تیمارهای آزمایش، میزان آب آبیاری در هر بار آبیاری بیشتر از حد نیاز هر گلدان بود به‌طوری‌که مقداری از آب آبیاری از هر گلدان خارج می‌شد (پوستینی، ۱۳۸۱). لذا در پایان آزمایش مقدار شوری خاک گلدان‌ها همانند شوری آب آبیاری هر کدام از تیمارها بود. در طول انجام آزمایش دمای گلخانه حدود ۱۷ و ۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب برای شب و روز تنظیم گردید و در مرحله گلدهی اندازه‌گیری‌های زیر انجام شد.

برای اندازه‌گیری میزان فتوسنتز توسط دستگاه فتوسنتز سنج مدل LCA_4 روی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته از بوته‌های متفاوت در هر گلدان انجام شد و زمان اندازه‌گیری بین ساعات ۱۲-۱۰ قبل از ظهر بود (فاضلی و همکاران، ۱۳۹۰). هر اندازه‌گیری حدود سه تا پنج دقیقه به طول انجامید، تا تغییرات ناگهانی در غلظت گازها در محفظه دستگاه به حالت پایدار برسد. میزان فتوسنتز خالص (میکرومول بر مترمربع در ثانیه) توسط دستگاه با استفاده از معادلات مربوطه و براساس تفاوت CO_2 ورودی و خروجی محاسبه و ثبت شد.

سنجش وضعیت عملکرد فلورسانس کلروفیل به‌وسیله‌ی دستگاه فلورومتر مدل MINI-PAM Portable Chlorophyll Fluorometer, WALZ, German و در مرحله گلدهی، روی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته در بوته‌های هر گلدان اندازه‌گیری شد (*اطلسی‌پاک*[1] و همکاران، 2009؛ فاضلی‌کاخکی و همکاران، ۱۳۹۰). پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل بازتاب فلورسانس از برگ خو گرفته به روشنایی (F′o)، بیشینه فلورسانس برگ خو گرفته به روشنایی (F′m)، فلورسانس متغیر (F′v) و بیشینه‌ی پتانسیل کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II: F′v/F′m بودند.

1. Atlasi pak

به‌منظور تعیین میزان پایداری غشاء (از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت برگ) (*سایرام*[2] و همکاران، 2002) از هر تیمار یک دیسک برگی به قطر ۷ میلی‌متر از برگ جوان کاملا توسعه‌یافته جدا شده و سپس در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیر شده به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اطاق نگهداری شد. سپس میزان هدایت الکتریکی محلول فوق به‌عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد (EC_1)[3]. جهت اندازه‌گیری نشت ثانویه نمونه‌ها را داخل بنماری با دمای ۱۰۰ درجه به‌مدت یک ساعت قرار داده و پس از سرد شدن و قرار دادن روی شیکر به‌مدت ۱ ساعت میزان هدایت الکتریکی آن به‌عنوان نشت ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشاء از معادله (۱) محاسبه شد.

معادله (۱)

$$MSI = (1-(EC_1/EC_2)) \times 100$$ [4] (شاخص پایداری غشاء)

جهت اندازه‌گیری مقدار محتوای آب نسبی برگ (RWC)[5]، دو روز بعد از آبیاری در ساعت ۸ تا ۱۰ صبح، ۱۰ دیسک برگی (با قطر ۷ میلی‌متر) از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته انتخاب شد و پس از توزین اولیه (وزن تر)، ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر قرار داده شد، سپس مجدداً توزین شدند (وزن تورژسانس) و در مرحله بعد به‌مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۴ درجه قرار گرفتند و سپس توزین شدند (وزن خشک). مقدار نسبی آب برگ از طریق معادله (۲) محاسبه شد (*اسمارت و بینگهام*[6]، 1974).

معادله (۲)

RWC = (وزن تر − وزن خشک)/(وزن تورژسانس − وزن خشک) × ۱۰۰

مقدار کلروفیل a و b بر مبنای طیف‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر محاسبه شد (در[7] و همکاران، 1998). برای این منظور ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه تازه برگ به‌همراه ۱۰ میلی‌لیتر استن ۱۰۰ درصد در سانتریفوژ ۱۶۰۰ دور در دقیق به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و سپس مقدار کلروفیل a را در طیف جذبی ۶۶۳/۲ نانومتر و مقدار کلروفیل b در ۶۴۶/۸ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت و به کمک معادله (۳) و (۴) میکروگرم کلروفیل در گرم برگ تازه محاسبه شدند (در و همکاران، 1998):

معادله (۳)

$$Ch\ a = 11.75\ A_{(663.2)} - 2.35\ A_{(646.8)}$$

2. Sairam
3. Electrical Conductivity
4. Memberane Stability Index
5. Relative Water Content
6. Smart and Bingham
7. Dere

معادله (۴)

$$Ch\ b = 18.61\ A_{(646.8)} - 3.960\ A_{(663.2)}$$

A: میزان جذب در طول موج موردنظر می‌باشد.

جهت اندازه‌گیری عملکرد و اجزاء عملکرد، بوته‌ها را به آزمایشگاه منتقل کرده و سپس تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و وزن دانه در بوته تعیین شد. برای تعین وزن خشک بوته‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس توزین شد. به‌منظور تعین وزن خشک ریشه ابتدا ریشه‌ها را به آرامی از داخل گلدان‌ها خارج نموده و پس از شستشوی ریشه‌ها، آن‌ها را در داخل پاکت قرار داده و به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار Minitab ver. 14 و جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد و نرم‌افزار Mstat-c مقایسه شدند.

جدول ۱: نتایج آزمون خاک گلدان

Table 1: Results of soil in vase

نمونه	pH	EC	P	K	N	OC	SAR	Na	Mg	Ca	Ca+Mg
		(dS/m)	ppm	ppm	%	%			meq.l^{-1}		
خاک (Soil)	7.3	2.3	12.5	209	0.142	0.71	5.8	15.3	12.2	10.0	22.2

نتایج و بحث

شاخص پایداری غشاء: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص پایداری غشاء به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) تحت تأثیر کلرید سدیم قرار گرفت، اما تحت تأثیر سطوح کلرید پتاسیم قرار نگرفت (جدول ۲). بیشترین مقدار این شاخص در تیمار شاهد و سطح ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد و کم‌ترین مقدار آن در حدود ۱۳ درصد کاهش نسبت به شاهد در تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌دست آمد(جدول ۳). با افزایش میزان کلرید پتاسیم مقدار این شاخص بسیار اندک افزایش یافت (جدول ۴). برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم بر شاخص پایداری غشاء معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین مقدار این صفت در تیمار ۲۰ میلی‌مولار و عدم مصرف کلرید سدیم به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۵ درصد افزایش داشت و کم‌ترین مقدار آن از تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و عدم‌مصرف کلرید پتاسیم در حدود ۱۲درصد کاهش نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۵)، در سایر تیمارهای مورد بررسی با افزایش سطح کلرید پتاسیم مقدار این شاخص نسبت به سطح پایین این تیمار افزایش یافت (جدول ۴). مطالعه *کولادو*[1] و همکاران (2010) نشان داد که شاخص پایداری غشای ذرت پس از ۲۸ روز اعمال شوری (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) نسبت به تیمار شاهد حدود ۲۰ درصد کاهش یافت. در شرایط تنش شوری، عدم تعادل یونی به‌دلیل تجمع بیش از حد یون‌های سدیم و کلر در سلول‌ها و کاهش جذب سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم، سبب بروز آثار سمیت نمک‌ها در آپوپلاست[2] برگ‌ها و اشغال شدن مکان‌های کلسیمی توسط سدیم به دنبال آن بی‌ثباتی غشای سلول می‌شود. در این حالت نشت الکترولیت‌ها از سلول افزایش یافته و شاخص پایداری غشاء کاهش می‌یابد (*نباتی*[3] و همکاران، 2011).

عملکرد کوانتومی: عملکرد کوانتومی (F'v/F'm) تحت تأثیر شوری، کلرید پتاسیم و برهمکنش آن‌ها معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) شد (جدول ۲) و با افزایش شوری به ۹۰ میلی‌مولار مقدار بیشینه‌ی پتانسیل کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F'v/F'm) نسبت به شاهد ۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳) و در سایر سطوح شوری نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در مطالعه *اطلسی پاک* و همکاران (2009) نیز مشاهده شد که در کلزا (*Brassica napus* L. Var Hayola308) رقم هایولا ۳۰۸ با افزایش شوری تا ۱۴ دسی‌زیمنس مقدار عملکرد کوانتومی برگ‌های خو گرفته به تاریکی (Fv/Fm) افزایش یافت و با افزایش شوری به ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر مقدار آن به حدود ۰/۶۳ رسید که نسبت به شاهد حدود ۲۳ درصد کاهش یافت. در مطالعه دیگری

1. Collado

2. Apoplast

3. Nabati

باکارین[1] و همکاران (2011) نشان دادند که هیبریدهای کلزا ارقام (هایولا ۴۳، ۶۱، ۴۰۱، ۴۲۰ و ۴۳۲)ا تحت تنش شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) روند تغییرات میزان عملکرد کوانتومی (F'v/F'm) متفاوت بود به‌طوری‌که در ارقام هایولا ۴۳ و ۴۳۲ مقدار صفت مذکور تا شوری ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم افزایش و سپس در ۲۰۰ میلی‌مولار کاهش یافت و تنها در دو رقم هایولا ۶۱ و هایولا ۴۲۰ مقدار صفت فوق تا ۵۰ میلی‌مولار کاهش و سپس در ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد در شوری بالا کاهش سرعت انتقال الکترون مربوط به تأثیر منفی شوری بر کاهش پذیرنده الکترون پلاستوکوئین باشد که سبب کاهش تدریجی سرعت فتوسنتز می‌گردد و از این نظر بین ارقام تنوع وجود دارد (*نوتندو* و همکاران، 2004). این صفت تحت تأثیر مقدار کلرید پتاسیم معنی‌دار گردید (جدول ۲) و در تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم نسبت به شاهد مقدار عملکرد کوانتومی حدود ۳ درصد کاهش یافت. هر چند نتایج برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم معنی‌دار بود؛ اما این تأثیر تنها در تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد که نسبت به شاهد حدود ۱۳ درصد کاهش یافت و در سایر تیمارها مقدار عملکرد کوانتومی با شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۴). میزان فلورسانس کلروفیل سلامت غشای تیلاکوئید و کارایی انتقال الکترون از فتوسیستم II را مشخص می‌کند (*اونیل*[2] و همکاران 2006). زمانی‌که گیاهان در معرض تنش قرار می‌گیرند، متابولیسم برگ‌ها کاهش یافته و میزان عملکرد کوانتومی (F'v/F'm) به‌منظور ایجاد تعادل بین میزان انتقال الکترون فتوسنتزی و متابولیسم کربن کاهش می‌یابد (*کروز و ویز*[3]، 1991). به‌نظر می‌رسد در تیمار کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌دلیل فراوانی یون‌ها در محیط ریشه یون پتاسیم نیز نقشی مشابه سدیم داشته و سبب افزایش تنش اسمزی در گیاه شده است (*پیتمن*[4]، 1984).

محتوای آب نسبی برگ: محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر شوری، کلریدپتاسیم و برهمکنش آن‌ها معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) شد (جدول ۲). با افزایش شوری محتوای آب نسبی برگ نسبت به شاهد کاهش یافت به‌طوری‌که در شوری ۳۰، ۶۰ و۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌ترتیب سبب کاهش محتوای آب نسبی برگ حدود ۱۰، ۱۵ و ۲۵ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۳). افزایش کلرید پتاسیم سبب بهبود این صفت به مقدار ۵ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۴). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که تیمار کاربرد ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم در کلیه سطوح شوری نسبت عدم مصرف آن مقدار محتوای آب نسبی برگ بیشتر بود. با این حال به جز تیمار شاهد، بیشترین مقدار محتوای آب نسبی برگ در تیمار کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به مقدار ۸۴/۷ درصد مشاهده شد که نسبت به تیمار عدم مصرف کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حدود ۴ درصد افزایش داشت (جدول ۵). نتایج بررسی *حسمزمان*[5] و همکاران (2009) نشان داد، هرچند با افزایش شوری محتوای آب نسبی در ارقام برنج کاهش یافت، اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بیشترین کاهش این صفت در رقم BRRI dhan46 مشاهده شد که نسبت به شاهد معادل ۴۸ درصد کاهش یافت.

با وجود این رقم مذکور در شرایط غیرشور نسبت به سایر ارقام محتوای آب نسبی برگ بیشتری داشت. در شرایط شور یکی از فرآیندهای گیاه به‌منظور نگهداری محتوای آب، حفظ آماس سلول، تولید و تجمع اسمولایت‌های سازگار در آن می‌باشد. فراوانی یون‌های پتاسیم در محیط ریشه سبب جذب بیشتر این عنصر از ریشه شده و به‌عنوان یک اسمولایت سازگار باعث کاهش پتانسیل اسمزی و متعاقب آن افزایش شیب جهت جریان آب به داخل سلول و نگهداری آماس آن می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

کلروفیل a و کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که که کلرید سدیم و کلرید پتاسیم اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل a و b داشت، اما تحت تأثیر برهمکنش آن‌ها قرار نگرفت (جدول۲). با افزایش شوری مقدار این دو صفت کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل a و b در تیمار شاهد بود و در تیمار ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مقدار کلروفیل a و b نسبت به شاهد به‌ترتیب حدود ۶۰ و ۵۹ درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج اعمال سطوح کلرید پتاسیم بر مقدار این دو صفت نیز نشان داد که با افزایش مقدار کلرید پتاسیم به ۲۰ میلی‌مولار مقدار کلروفیل a و b نسبت به شاهد به‌ترتیب

1. Bacarin
2. Oneill
3. Krause and Weiss
4. pitman
5. Hasamuzzaman

جدول ۲: منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات نشت الکترولیت‌ها، عملکرد کوانتومی، محتوای آب نسبی برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، زیست توده، ماده خشک ریشه، غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن صد دانه و وزن دانه در بوته گیاه کلزا رقم هیولا ۳۳۰، تحت تأثیر تنش شوری کلرید سدیم و کلرید پتاسیم در شرایط گلخانه در مشهد، ۱۳۹۰

Table 2: Source of variation, degree of free and mean of squares of membrane stability index, quntum yield, relative water content, chlorophile a, chlorophyile b, photosynthesis, stomata conductivity, biomass, dry root. pod per plant, seed per pod, 100-seed weight and seed weight per plant in canola var Hayola330 plant in green house condition in mashhad

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص پایداری غشاء Membrane stability index	عملکرد کوانتومی Quntum yield	محتوای آب نسبی برگ Relative water content	کلروفیل a Chlorophile a	کلروفیل b Cholorophile b	فتوسنتز Photosynthesis	هدایت روزنه‌ای Stomata conductivity	زیست توده Biomass	ماده خشک ریشه Dry root	غلاف در بوته Pod per plant	دانه در غلاف Seed per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	وزن دانه در بوته Seed weight per plant
کلرید سدیم (NaCl)	3	169.8**	0.007**	438.1**	0.368**	0.083**	18.1**	1709**	4.97**	1.01**	127.8**	150.8**	0.004**	0.183**
کلرید پتاسیم (KCl)	1	35.04 ns	0.004**	350.8**	0.071*	0.016*	2.41*	51.7**	0.118 ns	0.214*	8.17 ns	0.140 ns	0.007**	0.201**
برهمکنش کلرید سدیم × کلرید پتاسیم Interaction between NaCl and KCl	3	16.9*	0.004**	275.1**	0.11 ns	0.002 ns	24.3**	51.3**	2.31**	0.260**	233.6**	128.8**	0.007**	0.544**
خطا Error	16	22.98	0.0002	13.8**	0.009	0.002	0.186	2.98	0.068	0.031	13.7	22.3	0.0001	0.015

ns، * و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non-significant and significant at the 5 and 1% probability level respectively

حدود ۱۶/۴ و ۱۶/۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). مطالعه *اسکار و ارف*[1] (2009) در کلزا نشان داد که با افزایش شوری میزان کلروفیل کل کاهش یافت به‌طوری‌که در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۶ درصد کاهش داشت. به‌نظر می‌رسد شوری از طریق افزایش فعالیت آنزیم تجزیه کلروفیل (کلروفیلاز) سبب تخریب ساختمان کلروفیل و بی‌ثباتی رنگیزه‌های پروتئینی می‌شود (*سینگ و دوبی*[2]، 1995).

فتوسنتز: سطوح شوری، کلرید پتاسیم و برهمکنش آن‌ها به‌طور معنی‌داری میزان فتوسنتز را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). با افزایش شوری به میزان ۳۰ میلی‌مولار میزان فتوسنتز نسبت به شاهد ۴ درصد افزایش یافت و با افزایش شوری به ۶۰ و۹۰ میلی‌مولار مقدار فتوسنتز نسبت به شاهد به‌ترتیب حدود ۱۹ و ۳۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین میزان فتوسنتز در تیمار شاهد کلرید پتاسیم به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان فتوسنتز در تیمار کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌دست آمد، که نسبت به شاهد حدود ۱۰ درصد افزایش داشت و کمترین مقدار فتوسنتز در تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به مقدار ۹/۰۱ میکرومول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه حاصل شد که نسبت به شاهد حدود ۳۶ درصد کاهش داشت (جدول ۵).

کاهش میزان فتوسنتز در اثر شوری را می‌توان ناشی از تأثیر منفی شوری بر روی دستگاه فتوسنتزی (فلورسانس کلروفیل) و یا میزان کلروفیل و یا اثر توام هر دو عامل دانست (*مانس*[3] و همکاران، 2006). نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که فتوسنتز با عملکرد کوانتومی (r =۰/۳۹*)، کلروفیل a (r =۰/۴۰*) و کلروفیل b (r =۰/۴۰*) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بررسی‌ها نشان داد که اعمال تنش شوری در کلزای رقم SLM_{046} در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، مقدار فتوسنتز به ۶/۸ میکرومول CO_2 بر مترمربع بر ثانیه بود که نسبت به شاهد ۵۶ درصد کاهش داشت (بای بردی و طباطبایی، ۱۳۹۱). در مطالعه دیگری *هال و کوفمن*[4] (1975) نشان دادند که یک روز پس از اعمال تنش خشکی در کنجد، غلظت CO_2 زیر اطاقک روزنه از ۲۷۶ به ۵۴ میکرولیتر رسید که فتوسنتز خالص را به کمتر از ۰/۵ نانومول در سانتی‌مترمربع در ثانیه کاهش داد. تنش اسمزی ناشی از شوری سبب کاهش میزان آب سلول و کوچک شدن آن می‌شود و ادامه شرایط تنش سبب کاهش تقسیم و طویل شدن سلول و در نهایت اندازه نهایی برگ کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان تولید مواد فتوسنتزی در واحد سطح کاهش می‌یابد (*مانس* و همکاران، 2006). قرارگیری طولانی‌مدت در معرض شوری سبب جذب نمک می‌شود که سبب پیری زودرس برگ و کاهش سطح فعال فتوسنتزی نیز می‌گردد (مانس، 2002).

زیست توده[5]: شوری تأثیر معنی‌داری (p <۰/۰۱) در میزان زیست توده داشت (جدول۲) و افزایش شوری به میزان ۳۰ میلی‌مولار سبب افزایش مقدار زیست توده به مقدار ۱۲ درصد نسبت به شاهد شد و با افزایش شوری به میزان۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار مقدار این صفت کاهش یافت. به‌طوری‌که در شوری ۹۰ میلی‌مولار به ۱/۰۱ گرم در بوته رسید که نسبت به شاهد حدود ۶۳ درصد کاهش یافت (جدول ۳). نتایج مطالعه *گابالاه*[6] و همکاران (2007) در کنجد نشان داد که با افزایش شوری به ۲/۳ دسی‌زیمنس بر متر مقدار وزن خشک برگ و ساقه به‌ترتیب ۲۸ و ۳۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت و با افزایش شوری مقدار آنها کاهش یافت. به نظر می رسد مقدار عناصر سدیم و کلر برای تنظیم اسمزی و بسیاری از فعالیت‌های حیاتی سلول در مقدار زیر آستانه سمیت ضروری بوده و سبب افزایش زیست توده و عملکرد می شود با افزایش غلظت آن‌ها سبب بروز سمیت و اختلال در اعمال حیاتی سلول و در نهایت کاهش رشد می گردد (مانس و تستر، 2008). برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم بر روی زیست توده معنی‌دار بود (جدول۲). بیشترین و کمترین مقدار زیست توده به‌ترتیب در تیمارهای کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌ترتیب به مقدار ۳/۷۸ و ۰/۴۶ گرم در بوته به‌دست آمد (جدول ۵) و با افزایش شوری به میزان ۶۰ میلی‌مولار در هر دو سطح کلرید پتاسیم سبب کاهش زیست توده نسبت به شاهد شد. نتایج مطالعه *اطلسی پاک* و همکاران (2009) نشان داد که با افزایش شوری مقدار زیست توده در ژنوتیپ‌های کلزا کاهش یافت و در رقم *هایولا ۳۰۸*[7] در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری

1. Sakr and Arafa
2.Sing and dobey
3. Munns
4. Hall and Kaufmann
5. Biomass
6. Gaballah
7. Hyola308

۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر مقدار این صفت اندکی افزایش یافت و با افزایش شوری به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر حدود ۴۵ درصد مقدار زیست توده کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد در اثر تنش اسمزی ناشی از شوری، میزان فتوسنتز و زیست توده گیاه کاهش یافته است. زیرا بخشی از کربن ترسیب شده در فرآیند فتوسنتز به سمت ایجاد تحمل به شوری در گیاه تغییر جهت داده است. بنابراین سبب کاهش مقدار زیست توده می گردد (*نوتندو*[1] و همکاران، 2004).

وزن خشک ریشه: کلرید سدیم، کلرید پتاسیم و برهمکنش آن‌ها به طور معنی‌داری وزن خشک ریشه را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). با افزایش شوری به میزان ۳۰ میلی‌مولار وزن خشک ریشه حدود ۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت و سپس در سطوح شوری بیشتر وزن خشک ریشه کاهش یافت. به‌طوری‌که در شوری ۹۰ میلی‌مولار مقدار کاهش وزن خشک ریشه نسبت به شاهد به ۵۱ درصد رسید (جدول ۳). اعمال تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم سبب افزایش وزن خشک ریشه نسبت به شرایط عدم مصرف کلرید پتاسیم به مقدار حدود ۱۳ درصد شد (جدول ۴). *بنلوچ*[2] و همکاران (1994) اظهار داشتند که افزایش کلرید پتاسیم در محلول غذایی سبب کاهش اثرات سمی کلرید سدیم در غلظت‌های زیاد می‌شود و به‌نظر می‌رسد در این شرایط ریشه توانایی لازم برای بازیابی رشد را داشته است و در نتیجه سبب افزایش وزن خشک ریشه می‌شود. برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم نشان داد که با افزایش میزان شوری مقدار ماده خشک ریشه کاهش یافت ولی مقدار کاهش در اعمال تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم کمتر از عدم وجود این ماده در محیط‌کشت بود (جدول ۵). با این حال بیشترین وزن خشک ریشه در تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌دست آمد که نسبت به تیمار عدم مصرف کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و شاهد به‌ترتیب حدود ۳۷ و ۱۶ درصد افزایش داشت. به‌نظر می‌رسد رقابت موجود بین این دو نوع یون یعنی Na^+ و K^+ در فرایندهای مختلف متابولیسمی موجب می‌شود تا هرگونه تغییر در نسبت بین این دو، اثر تعیین‌کننده‌ای بر رشد گیاه داشته باشد. (*مانس*، 2002).

تعداد غلاف در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کلرید سدیم و برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بود. اما تحت تأثیر سطوح مختلف کلرید پتاسیم قرار نگرفت (جدول ۲). بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمار ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۹۰ میلی‌مولار آن حاصل شد، که به‌ترتیب معادل ۲۵/۲ و ۱۴/۷ غلاف در بوته به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج بر همکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم نشان داد که در سطح ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم نسبت به عدم‌مصرف آن در هریک از سطوح کلرید سدیم مقدار صفت فوق کاهش یافت. با این حال تعداد غلاف در بوته در تیمار کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به مقدار ۳۳/۷ به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۲۱ درصد افزایش نشان داد. به‌نظر می‌رسد که شوری سبب ایجاد محدودیت و حتی در برخی موارد سبب عدم تعادل در جذب عناصر غذایی توسط ریشه می‌شود که در نتیجه آن تولید و تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های گیاه از جمله اجزای زایشی آن کاهش می‌یابد (*مانس*، 2002).

تعداد دانه در غلاف: شوری اثر معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) بر روی تعداد دانه در غلاف داشت (جدول ۲). افزایش شوری به میزان ۳۰ میلی‌مولار سبب افزایش ۱۹ درصدی تعداد دانه در غلاف نسبت به شاهد شد و با افزایش شوری از ۳۰ به ۶۰ و ۹۰ میلی‌مولار تعداد دانه در کپسول نسبت به شاهد به ترتیب به میزان حدود ۶ و ۶۲ درصد کاهش داشت (جدول ۳). بر همکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم بر تعداد دانه در غلاف نیز معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین تعداد دانه در غلاف به‌ترتیب در تیمارهای کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و عدم مصرف کلرید پتاسیم و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم وجود داشت (جدول ۴). در تیمار ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم نسبت به تیمار عدم وجود کلرید پتاسیم در محیط و در تمامی سطوح تیمار کلرید سدیم مقدار دانه اندکی افزایش داشت (جدول ۵). مطالعه *ماس و گریو*[3] (1990) در ذرت نیز نشان دادند که تنش شوری سبب کاهش تعداد دانه در بلال شد. به‌نظر می‌رسد شوری از طریق کاهش ذخایر اختصاص‌یافته به بخش زایشی سبب سقط‌شدن برخی از دانه‌ها شده است و به این ترتیب سبب کاهش تعداد دانه در غلاف می‌گردد.

وزن صد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن صد دانه تحت تأثیر شوری، کلرید پتاسیم و برهمکنش آن‌ها معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقدار این صفت در شوری ۳۰ و ۹۰ میلی‌مولار به‌دست آمد که

1. Netondo
2. Benlloch
3. Mass and Grive

نسبت به شاهد به‌ترتیب ۱۸ درصد افزایش و ۳ درصد کاهش داشت (جدول ۳). اعمال سطح ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم سبب کاهش حدود ۱۵ درصدی وزن صد دانه در بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۴). هرچند نتایج برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم روند مشخصی نداشت؛ اما بیشترین مقدار صفت مذکور در دو تیمار کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و عدم مصرف کلرید پتاسیم و ۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم حاصل شد که نسبت به شاهد ۱۸ درصد افزایش داشت. کاهش وزن صد دانه ممکن است ناشی از کاهش میزان مواد فتوسنتزی وارد شده به غلاف باشد، زیرا بخشی از این مواد جهت تنظیم اسمزی و سایر فعالیت‌های حیاتی گیاه مصرف می‌شود (*مانس*، 2002).

وزن دانه در بوته: وزن دانه در بوته به‌طور معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) تحت تأثیر شوری، کلرید پتاسیم و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). هر چند شوری ۳۰ میلی‌مولار از نظر صفت مذکور اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت ولی به اندازه ۲ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۳) و در شوری بیشتر از ۳۰ میلی‌مولار وزن دانه در بوته کاهش یافت. نتایج نشان داد که اعمال ۲۰ میلی‌مولارکلرید پتاسیم سبب کاهش ۱۹ درصدی وزن دانه در بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۴). اگر چه پتاسیم یک عنصر ضروری در سنتز پروتئین، آنزیم‌های گلایولیتک فتوسنتزی و یک اسمولایت سازگار می‌باشد و می‌تواند از اثرات مضر سدیم در گیاه جلوگیری نماید، اما زمانی که غلظت یون در فضای بین سلولی زیاد شده و سلول نتواند تعادل یونی[1] لازم را به واسطه عدم وجود سایر عناصر انجام دهد، سبب کاهش فعالیت سلول می‌شود (*هاساگاوا و همکاران*[2]، ۲۰۰۰). با این حال *کایا و همکاران*[3] (۲۰۰۲) گزارش کردند که اضافه نمودن ۳ میلی‌مولار K2SO4 به محیط کشت در شوری ۳۵ میلی‌مولار کلرید سدیم سبب افزیش ماده خشک اندام هوایی و عملکرد میوه در توت فرنگی شد. برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم نشان داد که با افزایش شوری وزن دانه در بوته کاهش یافت (جدول ۵)، ولی کاهش شدید وزن دانه در بوته در شوری ۹۰ میلی‌مولار در هر دو سطح کلرید پتاسیم مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار این صفت در اعمال تیمارهای کاربرد۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم و ۳۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و عدم‌مصرف کلرید پتاسیم و ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌دست آمد که نسبت به شاهد به‌ترتیب حدود ۳۶ درصد افزایش و ۵۶ درصد کاهش داشت (جدول ۵). نتایج مطالعه *بایبردی* (2010) نشان داد که وزن دانه در بوته ارقام کلزا SLMO48 و Elite با افزایش شوری به ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش نیافت، ولی افزایش شوری بیشتر از ۴ دسی زیمنس بر متر سبب کاهش صفت مذکور شد. اولین اثر شوری بروز تنش اسمزی است که منجر به کاهش سطح برگ شده و تولید مواد فتوسنتزی را محدود می‌کند. تداوم تنش شوری سبب ایجاد سمیت یونی در گیاه و عدم تعادل عناصر غذایی در محیط ریشه شده و جذب آن‌ها توسط ریشه محدود می‌شود، حتی اضافه نمودن برخی مواد کاهش‌دهنده تنش نمی‌تواند تعادل یونی لازم را در سلول فراهم کند. در نتیجه عملکرد گیاه از طریق محدود شدن بسیاری از فعالیت‌های متابولیسمی در سلول کاهش می‌یابد (*مانس*، 2002). ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی نشان داد که وزن دانه در بوته بیشترین همبستگی را با تعداد غلاف در بوته (**۰/۵۵ = r)، تعداد دانه در غلاف (*۰/۴۷= r) و زیست توده (*۰/۴۵ = r) داشت (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد زیست توده تولید شده در شرایط شور هر چند شامل تنفس گیاه نمی‌شود، ولی نشان‌دهنده میزان کارایی تولید گیاه می‌باشد و لذا در شرایط شوری افزایش زیست توده که ناشی از بهبود فرآیند فتوسنتز در گیاه می باشد، سبب افزایش عملکرد در گیاه می‌شود (*هاجمایر*[4]، 1997). مطالعه صفات فیزیولوژیک و ارتباط آن با وزن دانه در بوته بیانگر وجود همبستگی مثبت معنی‌داری (*۰/۴۳= r) بین وزن دانه در بوته و میزان فتوسنتز بود (جدول ۶). کم بودن همبستگی میزان فتوسنتز با وزن دانه ناشی از تغییر جهت مواد فتوسنتزی تولید شده جهت مقابله با تنش و ایجاد تحمل در گیاه بوده است و از میزان تخصیص این مواد به دانه‌های در حال تشکیل کاسته می‌شود و در نهایت عملکرد دانه به سبب کاهش اجزای آن محدود می‌شود (نبی‌زاده مرودست و همکاران، ۱۳۸۲).

1. Ion balance
2. Hasegawa
3. Kaya
4. Hagemeyer

جدول ۳: مقایسه میانگین‌های اثر سطوح کلرید سدیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و اجزای عملکرد کلزا رقم هایولا ۳۳۰

Table 3: Mean comparision of effect salinity on physiological characters and yield components of Hyola330

وزن دانه در بوته (گرم) grain weight per plant (g)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	دانه در غلاف seed per pod	غلاف در بوته pod per plant	ماده خشک ریشه (گرم در بوته) dry root (g per plant)	زیست توده (گرم در بوته) biomass(g per plant)	فتوسنتز (میکرومول CO2 بر متر مربع بر ثانیه) photosynthesis (µmol CO2.m^{-2}.sec^{-1})	کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ) cholorophile b (µg.g^{-1} fresh weight leaf)	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ) chlorophile a (µg.g^{-1} fresh weight leaf)	محتوای آب نسبی برگ (٪) relative water content (%)	عملکرد کوانتومی quntum yield	شاخص پایداری غشاء (٪) membrane stability index (%)	کلرید سدیم (میلی‌مولار) NaCl (mmol)
0.777^{a}	0.192^{b}	17.6^{a}	21.7^{ab}	1.81^{a}	2.75^{b}	14.81^{b}	0.448^{a}	0.940^{a}	91.9^{a}	0.839^{a}	85.6 ^{a}	0
0.792^{a}	0.233^{a}	21.8^{a}	25.2^{a}	1.96^{ab}	3.12^{a}	15.35^{a}	0.398^{a}	0.837^{a}	82.6^{b}	0.843^{a}	85.1 ^{a}	30
0.572^{b}	0.191^{b}	16.6^{a}	17.5^{bc}	1.56^{b}	1.60^{c}	10.53^{c}	0.316^{b}	0.663^{b}	77.4^{c}	0.843^{a}	78.0 ^{b}	60
0.499^{b}	0.189^{c}	6.70^{b}	14.7^{c}	0.880^{c}	1.01^{d}	9.35^{d}	0.181^{c}	0.379^{c}	68.4^{d}	0.780^{b}	74.0 ^{b}	90

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

* Means, that have similar alphabets, are not significantly different at α=0.05 by LSD test

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر سطوح کلرید پتاسیم بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و اجزای عملکرد کلزا رقم هایولا ۳۳۰

Table 4: Mean comparision of effect KCl on physiological characters and yield components of Hyola330

وزن دانه در بوته (گرم) grain weight per plant (g)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	دانه در غلاف seed per pod	غلاف در بوته pod per plant	ماده خشک ریشه (گرم در بوته) dry root (g per plant)	زیست توده (گرم در بوته) biomass(g per plant)	فتوسنتز (میکرومول CO2 بر مترمربع بر ثانیه) photosynthesis (µmol CO2.m^{-2}.sec^{-1})	کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ) cholorophile b (µg.g^{-1} fresh weight leaf)	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ) chlorophile a (µg.g^{-1} fresh weight leaf)	محتوای آب نسبی برگ (٪) relative water content (%)	عملکرد کوانتومی quntum yield	شاخص پایداری غشاء (٪) membrane stability index (%)	کلرید پتاسیم (میلی‌مولار) KCl (mM)
0.730	0.230	16.5	20.3	1.38	2.13	14.25	0.366	0.768	85.7	0.836	80.5	0
0.589	0.195	16.3	19.2	1.59	2.11	15.01	0.306	0.642	89.3	0.814	80.9	20
**	**	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	**	**	ns	

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد ns , * and **: non significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively

جدول ۵: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش کلرید سدیم و کلرید پتاسیم بر خصوصیات فیزیولوژیک و اجزای عملکرد کلزا رقم هایولا ۳۳۰

Table 5: Results of mean comparision interaction NaCl × KCl on some physiological and yield components of canola var Hyola330

وزن دانه در بوته (گرم) grain weight per plant (g)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	دانه در غلاف seed per pod	غلاف در بوته pod per plant	ماده خشک ریشه (گرم در بوته) dry root (g per plant)	زیست توده (گرم در بوته) biomass (g per plant)	فتوسنتز (میکرومول CO2 بر مترمربع بر ثانیه) photosynthesis (µmol CO2.m^{-2}.sec^{-1})	کلروفیل b (میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ) cholorophile b (µg.g^{-1} fresh weight leaf)	کلروفیل a (میکروگرم بر گرم وزن تازه برگ) chlorophile a (µg.g^{-1} fresh weight leaf)	محتوای آب نسبی برگ (٪) relative water content (%)	عملکرد کوانتومی quntum yield	شاخص پایداری غشاء (٪) membrane stability index (%)	برهمکنش کلرید سدیم × کلرید پتاسیم
0.77^{6bc}	0,207^{b}	14.1^{bc}	26.7^{b}	1.73^{bc}	2.65^{b}	14.05^{bc}	0.443^{ab}	0.930^{ab}	90.9^{a}	0.835^{a}	83.5^{ab}	Na0 × K0**
0.808^{b}	0.177^{c}	21.2^{ab}	16.7^{cd}	1.89^{ab}	2.84^{b}	14.34^{b}	0.452 ^{a}	0.950 ^{a}	85.4^{ab}	0.843 ^{a}	87.8^{a}	Na0 × K1
0.807^{b}	0.212^{b}	15.2^{bc}	16.7^{cd}	1.30^{d}	2.40^{b}	13.37^{c}	0.432^{abc}	0.907^{ab}	80.9^{bcd}	0.845 ^{a}	77.2^{bcd}	Na1 × K0
1,21 ^{a}	0.253 ^{a}	28.3 ^{a}	33.7 ^{a}	2.07 ^{a}	3.84 ^{a}	15.41 ^{a}	0.365^{c}	0.767 ^{b}	84.7 ^{bc}	0.842 ^{a}	78.8^{bcd}	Na1 × K1
0.593^{cd}	0.253 ^{a}	13.6^{bc}	19.0^{c}	1.48^{cd}	1.91^{c}	11.73^{d}	0.369^{bc}	0.773^{b}	75.8^{def}	0.845 ^{a}	87.8^{a}	Na2 × K0
0.409^{de}	0.128^{d}	19.5^{b}	16.0^{cd}	1.65^{bc}	1.29^{d}	10.69^{e}	0.264^{d}	0.553^{c}	77.6^{cde}	0.841 ^{a}	82.3^{d}	Na2 × K1
0.336^{e}	0.249 ^{a}	6.5^{c}	19.0^{c}	0.99^{e}	1.55^{cd}	9.53^{f}	0.220^{d}	0.462^{c}	69.8^{f}	0.830 ^{a}	73.5^{d}	Na3 × K0
0.337^{e}	0.222^{b}	9.9^{c}	10.3^{d}	0.77^{e}	0.46^{e}	9.01^{f}	0.141^{e}	0.297^{d}	73.1^{ef}	0.730 ^{b}	74.5^{cd}	Na3 × K1

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

* Means, that have similar alphabets, are not significantly different at α=0.05 by LSD test

**: Na0: صفر میلی‌مولار، Na1 : ۳۰ میلی‌مولار، Na2 : ۶۰ میلی‌مولار و Na3: ۹۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (NaCl)

K0: صفر و K1: ۲۰ میلی‌مولار کلرید پتاسیم (KCl)

** Na0: 0 mMol NaCl , Na1: 30 mMol NaCl , Na2: 60 mMol NaCl and Na3: 90 mMol NaCl

K0: 0 and K1: 1.5 g.lit^{-1}

جدول ۶: ضرایب همبستگی صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا واریته هایولا۳۳۰

Table 6: Corrolation coefficient of some physiological and yield components traits of canola Var. Hayiola330

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
۱. شاخص پایداری غشاء (membrane stability index)	1											
۲. عملکرد کوانتومی (quntum yield)	0.30^{ns}	1										
۳. محتوای آب نسبی برگ (relative water content)	-0.23^{ns}	-0.11^{ns}	1									
۴. کلروفیل a (chlorophile a)	0.51*	0.63**	-0.16^{ns}	1								
۵. کلروفیل b (cholorophile b)	0.51*	0.63**	-0.16^{ns}	0.99**	1							
۶. فتوسنتز (photosynthesis)	0.15^{ns}	0.39*	0.32^{ns}	0.40*	0.40*	1						
۷.زیست توده (biomass)	0.31^{ns}	0.53**	0.33^{ns}	0.67**	0.67**	0.62**	1					
۸. ماده خشک ریشه ((dry root)	0.42*	0.53*	0.17^{ns}	0.63**	0.63**	0.61**	0.74**	1				
۹. غلاف در بوته (pod per plant)	0.25^{ns}	0.29^{ns}	0.35^{ns}	0.42*	0.42*	0.65**	0.71**	0.59**	1			
۱۰. دانه در غلاف (seed per pod)	-0.24^{ns}	-0.04^{ns}	-0.21^{ns}	-0.34^{ns}	-0.34^{ns}	-0.43*	-0.38^{ns}	-0.39^{ns}	-0.32^{ns}	1		
۱۱. وزن ۱۰۰ دانه (100-seed weight)	-0.16^{ns}	-0.11^{ns}	0.36^{ns}	-0.04^{ns}	-0.04^{ns}	0.30^{ns}	0.16^{ns}	-0.22^{ns}	-0.18^{ns}	0.32^{ns}	1	
۱۲. وزن دانه در بوته (grain weight per plant)	0.13^{ns}	0.13^{ns}	0.07^{ns}	0.11^{ns}	0.11^{ns}	0.43 *	0.45*	0.06^{ns}	0.55**	0.47*	0.28^{ns}	1

ns، *و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** are non- significant and significant at the 5 and 1% probability level respectively

به‌طور کلی نتایج این آزمایش نشان داد که هر چند کلرید پتاسیم به‌عنوان یک ماده غذایی در توسعه کشاورزی به‌طور وسیعی استفاده می‌شود. هم پتاسیم و کلر در خنثی نگهداشتن بار الکتریکی غشاء و به‌عنوان یک ماده اسموتیک معدنی در سلول‌های گیاهی استفاده می‌گردد. اما رفتار متفاوت آن‌ها در شرایط این آزمایش نشان داد که تنها در اعمال تیمار ۲۰ میلی‌مولار در لیتر کلرید پتاسیم و در شوری ۳۰ میلی‌مولار توانسته سبب بهبود بسیاری از اجزای عملکرد (غلاف در بوته، دانه در غلاف، وزن صد دانه و وزن دانه در بوته) و نیز بهبود بسیاری از صفات فیزیولوژیکی (شاخص پایداری غشاء، عملکرد کوانتومی، محتوای آب نسبی برگ و فتوسنتز) نسبت به شاهد شود. در سایر موارد به‌دلیل فراوانی یون‌های سدیم در محیط ریشه، از طریق برهم زدن تعادل یونی و در رقابت با پتاسیم غلظت آن را در سیتوپلاسم کاهش داده و از این طریق رشد و عملکرد را محدود کرده است (جدی حسینی و همکاران، ۱۳۸۶).

منابع

بای بردی، ا.، و طباطبایی، س. ج. ۱۳۹۱. تأثیرات کاربرد نسبت‌های مختلف نیترات آمونیوم بر سرعت فتوسنتز و محتوی اسیدهای چرب دانه کلزا در شرایط تنش شوری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۲(۳): ۸۳-۹۱.

پوستینی، ک. ۱۳۸۱. ارزیابی ۳۰ رقم گندم از نظر واکنش به تنش شوری. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۱(۳):۵۷-۶۴.

جدی حسینی، س. م.، گالشی، س.، سلطانی، ا. و اکرم قادری، ف. ۱۳۸۶. بررسی خصوصیات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به شوری در پنبه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۶): ۶۳-۷۱.

کافی، م.، برزویی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ا.، معصومی، ع. و نباتی، ج. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

علیزاده، ا. ۱۳۷۷. کیفیت آب در آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی، ۶۰۰ صفحه.

فاضلی کاخکی، س. ف.، نظامی، ا.، پارسا، م. و کافی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی تحمل به شوری در کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط مزرعه و کنترل شده. پایان‌نامه دکترا زراعت گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۹۰ صفحه.

قربانی، م. ح.، زینلی، ا.، سلطانی، ا. و گالشی، س. ۱۳۸۲. تأثیر تنش شوری بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در دو رقم گندم. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۴): ۵-۱۴.

نبی زاده مرودست، م. ر.، کافی، م. و راشد محصل، م. ح.۱۳۸۲. اثرات شوری بر رشد، عملکرد، تجمع املاح و درصد اسانس زیره سبز. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۱(۱): ۵۳-۶۰.

Adolphe, D. 1980. Canola rapeseed crop. Agriculture Canada CPS foods Ltd. University of Saskatchewan.

Atlassi Pak, V., Nabipour, M. and Meskarbashee, M. 2009. Effect of salt stress on Chlorophyll content, Fluorescence, Na^+ and K^+ ions content in rape plants (*Brassica, napus* L.). Asian Journal of Agriculture Research, 3(2): 28-37.

Bacarin, M. A., Deuner, S., Paulino da Silva, F. B., Cassol, D. and Moura Silva, D. 2011. Chlorophyll a fluorescence as indicative of the salt stress on *Brassica napus* L. Brazilian society of Plant Physiology, 23(4): 245-253.

Benlloch, M., Ojeda, M. A., Romos, J., and Rodriguez-navarro, A. 1994. Salt sensitivity and low discrimination between potassium and sodium in bean plants. Plant Soil, 166: 117-123.

Boem, F.H., Scheiner, G,J.D., and Lavadi, R.S. 1994. Some effect of soil salinity on growth, development and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 137: 182-187.

Bybordi, A. 2010. Effects of salinity on yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Notulae Scientia Biologicae, 2(1): 81-83.

Collado, M. B., Arturi, M. J., Aulicino, M. B. and Molina, M. C. 2010. Identification of salt tolerance in seedling of maize (*Zea mays* L.) with the cell membrane stability trait. International Research Journal of Plant Science, 1(5): 126-132.

Delgado, I. C. and Sanchez-Raya, A.J. 1999. Physiological response of seedling sunflower to salinity and K sources ,Commun .Soil Science Plant Analysis, 30 (5-6).

Dere, S., Gunes, T. and Sivci, R. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll-a,b and total cartenoid contents of some Algae Species using different solvents. Turck. Journal Botany, 22: 13-17.

Francois, L. E. 1994. Growth, seed yield and oil content of canola grown under saline conditions. Agronomy Journal, 86: 233-234.

Gaballah, M. S., Abou Leila, B., El-Zeiny, H. A. and Khalil, S. 2007. Estimating the performance of salt-stressed sesame plant treated with antitranspirants. Journal of Applied Sciences Research, 3(9): 811-817.

Hagemeyer, J. 1997. Salt in: Plant Ecophysiology (ed) Prasad, M. N. V. 173-206, John Weily, Singapore.

Hall, A. E. and Kaufmann, M. R. 1975. Stomatal response to environment with *Sesamum indicum* L. Plant Physiology, 55: 455-459.

Hasamuzzaman, M., Masayuki, F., Islam, M. N., Ahmad, K. U. and Kamrun, N. 2009. Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress. International Journal of Integrative Biology, 6(2): 85-90.

Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 51:463-499.

Jones, M. M. and Turner, N.C. 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. Plant Physiology, 61: 122-126.

Krause, G.H., and Weiss, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 42: 313-349.

Kaya, C., Higgs, D., Saltali, K. and Gezerel, O. 2002. Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. Journal of Plant Nutrition, 25(7): 1415-1427.

Khan, M. S. A., Hamid, A. and Karim, M. A. 1997. Effect of sodium chloride on germination and seedling characters of different types of rice (*Oriza sativa*). Journal of Agronomy and Crop Science, 179(3): 163- 169.

Maathuis, J. M. 2006. The role of monovalent cation transporters in plant response to salinity. Journal of Exprimental Botany, 57(5): 1137-1147.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, San Diego, NY.

Mass, E. V. and Grive, E. M. 1990. Spike and leaf development in salt stressed corn. Crop Science, 30:1309-1313.

Munns, R. and Tremaat, A. 1986. Whole plant response to salinity. Australian Journal of Plant Physiology, 13: 143-160.

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25: 239-250.

Munns, R., James, K. A. and Lauchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, 57(5): 1025-1043.

Munns R. and Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review Plant Physioligy, 59: 651681.

Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghadam, P., Masomi, A. and Zare Mehrjerdi, M. 2011. Effect of salinity on biomass production and activities of some key enzymatic antioxisants in kochia (*Kochia scoparia*). Pakisatn Journal Botany, 43(1): 539-548.

Netondo, G., Onyango,W. and Beck, E. 2004. Sorgum and salinity: II. Gas exchange and chorophyll fluorescence of sorgum under salt stress. Crop Science, 44: 806-811.

O'Neill, P. M., Shanahan, J. F. and Schepers, J. S. 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. Crop Science, 46:681-687.

Pitman, M.G. 1984. whole plants In: Solute transport in plant cells and tissue. (Eds) Baker, D. A. and Hall, L., John Wiley. New York.

Sairam R. K., Rao K.V. and Srivastava G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Science, 163: 1037-1046.

Sakr, M.T. and Arafa, A. A. 2009. Effect of some antioxidant on canola plants growth under soil salt stress condition. Pakistan Journal of Biological Sciences, 12(7): 582-588.

Schmitz, G., Sullivan, M. and Hatfield, R. 2008. Three polyphenol oxidases from Red clover (*Trifolium pratense* L.) differ in enzymatic activities and activation properties. Journal Agriculture Food Chemistery, 56: 272-280.

Singh, A. K. and Dubey, R. S. 1995. Changes in chlorophyll a and b contents and activities of photosystems 1 and 2 in rice seedlings induced by NaCl. Photosynthetica, 31:489-499.

Smart, R. E. and Bingham, G. E. 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physioligy, 53: 258–260.

Suriya-arunroja, D., Supapoj, N., Vanavichit, A. and Toojinda, T. 2005. Screening selection for physiological characters contributing to salinity tolerance in rice. Kasetsart Journal: Natural Science, 39: 174-185.

Investigation of Mitigated Effects of K^+ on Some Physiological Traits, Yield and Yield Components in Canola Plant (*Brassica nupus* L. Var. Hyola330) Under Salinity Stress (NaCl)

Fazeli Kakhki[1*], S. F., Goldani[2], M. and Kamali[3], M.

Abstract

Potassium Chloride (KCl) is used as a source of nutrients in agricultural development and also used as relieve salinity stress. In order to study of mitigation effects of K^+ in salinity (NaCl) at canola plant (*Brassica napus* L. Var Hayola330), an experiment was carried out at research green house college agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 2011. The experiment was managed at factorial arrangement base on compeletly randomized design in three replication and treatments included: NaCl (0, 30, 60 and 90 mM) and KCl (0 and 20 mM). Results showed that applied 20 mM KCl and 30 mM NaCl treatment was increased traits as relative water content (RWC), photosynthesis, number pod per plant and 100 seed weight in compare of control. The maximum seed weight per plant with 1.21 g was obtain from applied 20 mM KCl and 30 mM NaCl treatment and the minimum of this trait was observed in zero mM KCl and 90 mM NaCl treatment. In high level of NaCl (30 and 60 Mm), increase application of KCl could not improve all traits. There was significant correlation between seed weight per plant and number pod per plant ($r=55^{**}$), seed per pod ($r=47^{*}$) and there was also significant positive correlation between grain weight per plant and biomass and photosynthesis traits. In addition results showed that application Potassium Chloride (KCl) have diverse behaviour in different level of salinity and was increased some traits in compare of control in any level of salinity.

Keywords: Biomass, KCl, Pod per plant, Photosynthesis, Salinity

1. Ph.D. graduated from Department of Agronnmy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashshad and the lecturer of Educational Center of Jahad Agriculture Khorasan Razavi, Mashhad

2. Associate professor Department of Agronnmy, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

3. Ph.D. student Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

*: Corresponding author Email: sf_fazeli@yahoo.com