Cereal Biotechnology and Biochemistry

Online ISSN: 2783-5170

Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

The responses of some physiological characteristics of oat to nitrogen and water supply after anthesis

Ahmad Reza Rostami[1], Mokhtar Ghobadi[2]✉, Sohbat Bahraminejad[3] & Saeid Jalali Honarmand[4]

[1] Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: ahmadrezarostami2@gmail.com

[2]✉ Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture and Natural Resources, University of Razi, Kermanshah, Iran. E-mail: ghobadi.m@razi.ac.ir

[3] Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture and Natural Resources, University of Razi, Kermanshah, Iran. E-mail: sohbah72@hotmail.com

[4] Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture and Natural Resources, University of Razi, Kermanshah, Iran. E-mail: sjhonarmand@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction: Oat is one of the most important plants in the cereals family. Oat grain is used for humans and livestock, and its forage is used for livestock. Iran is located in an arid and semi-arid region. The average annual rainfall in Iran is about one-third of the world average. Therefore, drought stress in Iran is the most critical environmental stress that limits the growth and yield of crops. Nitrogen is one of the essential nutrients for crops. In the world and Iran, nitrogen is used more than other fertilizers. Nitrogen uptake by the plants from the soil is accompanied by water. Therefore, drought stress interferes with nitrogen uptake. Accordingly, the present experiment aimed to investigate the effect of drought stress after anthesis and nitrogen amounts on the physiological characteristics of three oat cultivars.

Materials and methods: The experiment was conducted as a split-plot factorial based on randomized complete blocks design with three replications at Research Farm of Razi University during 2013-14 cropping year. Post-anthesis moisture conditions (normal and stress) were considered as the main factor and the combination of two factors including oat cultivar (Potoroo, Quoll, and Brusher) and nitrogen supply (0, 25, 50, 75, and 100% nitrogen requirement for oat) as the sub-factor. Nitrogen levels were selected based on the soil test results and the nitrogen requirements of oat in the irrigated farm without drought stress. The source of nitrogen was urea fertilizer (containing 46% nitrogen).

Results: The results showed that the moisture and nitrogen treatments significantly affected the studied physiological traits. According to the results, the post-anthesis drought stress led to a decrease in SPAD at anthesis and grain filling stages (12.5 and 30.6%, respectively), a decrease in FV/FM at anthesis (5.3%), an increase in stomatal resistance at anthesis and grain filling stages (94 and 77%, respectively), and an increase in grain protein content (2.3%). Supply 100% of the plant nitrogen requirement compared to 0% led to improvement of SPAD at anthesis and grain filling stages (63 and 64%, respectively), an increase in FV/FM at anthesis and grain filling stages (13.2 and 13.4%, respectively), an increase in stomatal resistance at anthesis and grain filling stages (163 and 148%, respectively), an increase in chlorophyll a and b (16 and 29%, respectively), reduction of chlorophyll a/b ratio (10%), and finally an increase in grain protein content (1.5%).

Conclusion: The physiological traits associated with the photosynthesis of oat plants can be improved by the proper supply of moisture and nitrogen.

Keywords: Chlorophyll, Drought, Fertilizer, Stomatal resistance.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 16/08/2021, **Revised:** 30/12/2021, **Accepted:** 02/01/2022, **Published online:** 26/03/2022

Cite this article: Rostami, A. R., Ghobadi, M., Bahraminejad, S. & Jalali Honarmand, S. (2022). The responses of some physiological characteristics of oat to nitrogen and water supply after anthesis. Cereal Biotechnology and Biochemistry. 1 (1). 18-34. DOI: 10.22126/cbb.2022.1950

© The Author(s).

Publisher: Razi University

10.22126/cbb.2022.1950

بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات
شاپا الکترونیکی: ۵۱۷۰-۲۷۸۳
Homepage: https://cbb.razi.ac.ir

پاسخ برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک یولاف زراعی به تأمین نیتروژن و آب پس از گرده‌افشانی

احمد رضا رستمی[۱]، مختار قبادی[۲]✉، صحبت بهرامی نژاد [۳] و سعید جلالی هنرمند [۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی. رایانامه: ahmadrezarostami2@gmail.com

[۲]✉ دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی. رایانامه: ghobadi.m@razi.ac.ir

[۳] دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی. رایانامه: sohbah72@hotmail.com

[۴] دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی. رایانامه: sjhonarmand@yahoo.com

چکیده

مقدمه: یولاف زراعی یکی از گیاهان مهم از خانواده غلات است. دانه یولاف زراعی برای انسان و دام و علوفه آن برای دام کاربرد دارد. کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده است. میانگین بارندگی سالیانه در ایران حدود یک سوم میانگین بارندگی جهانی است. به همین خاطر، تنش خشکی در ایران مهم‌ترین تنش محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را محدود می‌نماید. نیتروژن یکی از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان زراعی می‌باشد. در جهان و ایران، کودهای نیتروژنه بیشتر از سایر کودها مصرف می‌شوند. جذب نیتروژن توسط گیاه از خاک همراه با آب انجام می‌گیرد. لذا، تنش خشکی جذب نیتروژن را با اختلال مواجه می‌نماید. بر همین اساس، هدف از آزمایش حاضر، بررسی اثر تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و مقدارهای نیتروژن بر ویژگی‌های فیزیولوژیک سه رقم یولاف زراعی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه رازی در سال زارعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا گردید. شرایط رطوبتی پس از گرده‌افشانی (نرمال و تنش) به عنوان فاکتور اصلی و ترکیب دو فاکتور شامل ارقام یولاف زراعی (پوتورو، کوال و بروشر) و مقادیر نیتروژن (تأمین ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی یولاف زارعی) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. سطوح نیتروژن بر اساس نتایج آزمون خاک و نیاز یولاف زراعی در زراعت آبی بدون تنش خشکی، انتخاب گردید. برای تأمین نیتروژن از کود اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تیمارهای رطوبتی و نیتروژن روی صفات فیزیولوژیک مورد مطالعه، تأثیر معنی‌دار داشتند. اعمال خشکی پس از شروع گرده‌افشانی سبب کاهش شاخص سبزینگی برگ در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه (به ترتیب ۱۲/۵ و ۳۰/۶ درصد)، کاهش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ در مرحله گرده‌افشانی (۵/۳ درصد)، افزایش مقاومت روزنه‌ای در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه (به ترتیب ۹۴ و ۷۷ درصد) و افزایش محتوای پروتئین دانه (۲/۳ درصد) گردید. تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه نسبت به عدم تأمین آن، سبب بهبود شاخص سبزینگی برگ در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه (به ترتیب ۶۳ و ۶۴ درصد)، افزایش کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه (به ترتیب ۱۳/۲ و ۱۳/۴ درصد)، افزایش مقاومت روزنه‌ای در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه (به ترتیب ۱۶۳ و ۱۴۸ درصد)، افزایش کلروفیل a و b (به ترتیب ۱۶ و ۲۹ درصد)، کاهش نسبت کلروفیل (a/b ۱۰ درصد) و افزایش محتوای پروتئین دانه (۱/۵ درصد) گردید.

نتیجه‌گیری: با تأمین مناسب رطوبت و نیتروژن می‌توان صفات فیزیولوژیک مرتبط با فتوسنتز را در زراعت یولاف زارعی بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: خشکی، کلروفیل، کود، مقاومت روزنه‌ای

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نوع مقاله: دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵ **اصلاح:** ۱۴۰۰/۱۰/۰۹ **پذیرش:** ۱۴۰۰/۱۰/۱۲، **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۱/۰۱/۰۶

استناد: رستمی، ا. ر.، قبادی، م.، بهرامی نژاد، ص. و جلالی هنرمند، س. (۱۴۰۱). پاسخ برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک یولاف زراعی به تأمین نیتروژن و آب پس از گرده‌افشانی. بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات. ۱ (۱). ۳۴-۱۸. DOI: 10.22126/cbb.2022.1950

ناشر: دانشگاه رازی

© نویسندگان.

مقدمه

گندم (*Triticum spp.*) یولاف زراعی با نام علمی *Avena sativa* L. گیاهی از خانواده گندمیان، یکساله و خودگشن می‌باشد که در دنیا از دانه و علوفه آن برای تغذیه دام استفاده می‌شود. همچنین دانه آن دارای ارزش تغذیه‌ای و حتی دارویی بوده و برای مصرف انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bahraminejad & Amiri, 2016). در سال ۲۰۱۹ میلادی تولید جهانی دانه یولاف حدود ۲۲/۵ میلیون تن بوده است که کشورهای روسیه و کانادا در مجموع حدود ۴۰ درصد آن را به خود اختصاص دادند (FAOSTAT, 2021).

آب مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید محصولات زراعی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Jaleel *et al.*, 2009). بخش بزرگی از کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و سالیانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر بارندگی دریافت می‌کنند. تنش خشکی روی اکثر فعالیت‌ها و فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه تأثیر سوء می‌گذارد. رشد سلول، سنتز اسیدهای آمینه، فعالیت آنزیم‌ها، تقسیم سلول، باز و بسته شدن روزنه‌ها، فتوسنتز، تنفس و در نهایت تسریع پیری، از جمله فرآیندهایی هستند که توسط تنش خشکی دستخوش اختلال می‌گردند. با این حال، نخستین و حساس‌ترین فرآیند که توسط تنش خشکی آسیب می‌بینند، پتانسیل هیدرواستاتیک در گیاه و به دنبال آن، کاهش رشد سلول می‌باشد (Taiz & Zeiger, 2012).

نیتروژن چهارمین عنصر تشکیل‌دهنده وزن خشک گیاهان است (Majidian *et al.*, 2008). دو تا پنج درصد از وزن خشک گیاهان را نیتروژن تشکیل می‌دهد. این عنصر، یکی از اجزای تشکیل‌دهنده بسیاری از مولکول‌های مهم مانند اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، کلروفیل و برخی هورمون‌ها است (Marschner, 2012). به‌طور کلی، نیتروژن در خاک به دو شکل معدنی و آلی وجود دارد. اشکال معدنی نیتروژن خاک شامل یون آمونیوم، نیترات، نیتریت و نیتروژن عنصری است. هر چند نیتروژن عنصری برای برخی باکتری‌های ریزوبیوم قابل استفاده است، اما گیاهان قادر به جذب آن نیستند. اشکال نیتروژن آلی خاک نیز شامل اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و قندهای آمین‌دار می‌باشد. نیتروژن موجود در خاک معمولاً به فرم‌های نیترات و آمونیوم توسط گیاهان جذب می‌گردد (Laegreid *et al.*, 2010).

یولاف زراعی از جمله گیاهان زراعی است که نسبت به کودها واکنش مثبت نشان می‌دهد. البته این واکنش مثبت، بستگی به آبی و دیم بودن زراعت یولاف، زمان استفاده از کودها، میزان کود، نوع کود، حاصلخیزی خاک و زراعت قبل از آن دارد. از میان کودهای مورد استفاده در زراعت یولاف زراعی، تعیین مقادیر مناسب کود نیتروژن از مهمترین و مشکل‌ترین آن‌ها می‌باشد. نیتروژن در تمام مراحل رشد گیاه یولاف زارعی مورد نیاز است. با این حال، بیشترین نیاز غذایی آن از مرحله شروع تشکیل دانه تا مرحله شیری بودن

دانه‌ها است. کودهای نیتروژنه از منبع اوره، نیترات آمونیوم و سولفات آمونیوم برای زراعت یولاف زراعی قابل مصرف هستند. در بین آن‌ها، کود اوره کاربرد بیشتری دارد (Nourmohmmadi *et al.*, 2010). به‌طور میانگین، برای تولید پنج تا شش تن دانه در هکتار در کشت پاییزه یولاف، حدود ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص نیاز می‌باشد (Bahraminejad & Amiri, 2016).

یولاف زراعی به دلیل ویژگی‌های خاص آن به ویژه در پیشگیری از بیماری‌های قلبی و عروقی، در دهه اخیر در ایران مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، شرایط اقلیمی ایران به گونه‌ای است که زراعت یولاف زراعی از مرحله گرده‌افشانی تا انتهای دوره رشد، با کاهش و حتی قطع بارندگی مصادف می‌باشد. بنابراین، شناخت واکنش آن به تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و نیتروژن حائز اهمیت فراوانی است. از این‌رو، تحقیق حاضر با هدف مطالعه تأثیر تنش خشکی پس از گرده‌افشانی و مقادیر کود نیتروژن روی ویژگی‌های فیزیولوژیک سه رقم یولاف زراعی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت مزرعه‌ای در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا گردید. مختصات جغرافیایی محل اجرای آزمایش شامل طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ۱۳۱۹ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. ویژگی‌های هواشناسی محل شامل بارندگی، تبخیر، متوسط، حداکثر و حداقل دما در سال زراعی اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

مزرعه در سال قبل از اجرای آزمایش، به صورت آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، از خاک مزرعه از عمق‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر چند نمونه گرفته شد. سپس نمونه‌های مختلف هر عمق به‌طور جداگانه با یکدیگر مخلوط گردید و نمونه خاک مرکب برای تجزیه به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات هواشناسی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 1. Meteorological characteristics of the experiment location during 2013-14 crop year.

	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند Mar.	فروردین Apr.	اردیبهشت May	خرداد June
بارندگی Rainfall (mm)	0.0	131.0	0.8	10.4	68.2	34.3	35.4	25.2	0.0
تبخیر Evaporation (mm)	85.3	75.5	0.2	0.0	0.0	0.0	82.2	120.5	305.6
متوسط دما Mean Temp. (°C)	18.7	10.6	3.1	4.4	3.0	4.4	11.9	17.8	23.9
دمای حداکثر Max. Temp. (°C)	32.4	24.6	18.8	15.8	14.9	22.0	19.2	26.5	33.7
دمای حداقل Min. Temp. (°C)	2.5	-1.9	-8.7	-9.0	-11.2	-11.2	-4.7	9.3	14.3

جدول ۲- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 2. Physical and chemical analysis of the soil.

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	pH
0-30	Silty-clay	52	46	2	1.1	0.11	8.6	410	7.9
30-60	Silty-clay	54	45	1	1.1	0.11	7.8	390	7.8

آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. شرایط رطوبتی پس از گرده‌افشانی، شامل دو سطح شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی پس از گرده‌افشانی، به عنوان فاکتور اصلی در نظر گرفته شد. ترکیب دو فاکتور رقم و میزان نیتروژن، به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. در این آزمایش، سه رقم یولاف زراعی شامل پوتورو (Potoroo)، کوال (Quoll) و بروشر (Brusher) استفاده شد که ارقام اصلاح شده از استرالیای جنوبی هستند. سطوح فاکتور نیتروژن بر اساس نتایج آزمون خاک و نیاز یولاف زراعی در زراعت آبی بدون تنش خشکی، انتخاب گردید (Panasiewicz *et al.*, 2017). بنابراین، سطوح فاکتور نیتروژن شامل ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی یولاف زراعی بودند. بر همین اساس، مقادیر ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره در نظر گرفته شد.

جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا عملیات شخم و تسطیح توسط ماله انجام گردید. سپس با استفاده از خطی‌کار، شیارهایی به فاصله ۲۵ سانتیمتر ایجاد شد. کشت بذر یولاف زراعی در داخل این شیارها انجام گرفت. بذرها به روش دستی و با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع در تاریخ ۱۶ آبان ۱۳۹۲ کشت گردیدند. هر کرت فرعی شامل شش خط کاشت به طول سه متر بود. کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به خاک اضافه شد. کود نیتروژن در هر کرت بر حسب تیمار مربوطه و در سه مرحله شامل یک سوم به هنگام کاشت بذر، یک سوم در مرحله ابتدای رشد طولی ساقه (BBCH 31) (Meier, 2018) و یک سوم در مرحله ابتدای ظهور پانیکول (BBCH 51) تقسیط گردید. تا مرحله گرده‌افشانی گیاه، آبیاری برای همه کرت‌ها یکسان بود. برای کرت‌های متعلق به تیمار تنش خشکی، از مرحله ابتدای گرده‌افشانی (BBCH 61) تا انتهای رشد گیاه، آبیاری قطع شد. اما در کرت‌های متعلق به شرایط نرمال رطوبتی، سه نوبت آبیاری در مرحله اواسط گرده‌افشانی (BBCH 65)، مرحله رشد شیری دانه (BBCH 75) و مرحله رشد خمیری نرم دانه (BBCH 85) انجام گرفت. در مزرعه، بیماری و آفت مشاهده نشد و علف‌های هرز در چند نوبت به روش دستی کنترل شدند. برداشت محصول در تاریخ ۲۶ خرداد ۱۳۹۳ انجام گرفت.

برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی برگ، در دو مرحله اواسط گرده‌افشانی (BBCH 65) و اواسط رشد شیری دانه‌ها (BBCH 75)، پنج بوته از هر کرت انتخاب شد. سپس با دستگاه SPAD (مدل 502 ساخت شرکت Minolta ژاپن) از سه نقطه از برگ پرچم متعلق به ساقه اصلی، بین ساعت ۱۱ تا ۱۳ قرائت انجام شد. از قرائت‌های انجام شده در هر کرت، میانگین گرفته شد.

برای اندازه‌گیری حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲، از دستگاه فلوریمتر (مدل Pocket PEA ساخت شرکت Hansatech انگلستان) استفاده شد. اندازه‌گیری از روی برگ پرچم ساقه اصلی در پنج بوته و در دو مرحله اواسط گرده‌افشانی (BBCH 65) و اواسط رشد شیری دانه‌ها (BBCH 75) و در ساعت‌های ۱۲-۱۰ انجام گرفت. گیره‌های مخصوص دستگاه روی برگ‌های مورد نظر قرار داده و دریچه گیره‌ها بسته شدند. پس از سپری شدن ۲۰-۱۵ دقیقه (برای سازگاری برگ با شرایط تاریکی)، گیره‌ها به دستگاه وصل، دریچه‌ها باز شده و عدد مربوط به F_V/F_M قرائت گردید (Huseynova, 2012).

$$F_v/F_m = \frac{F_M - F0}{F_M} \quad (۱)$$

F_M فلورسانس حداکثر، F_0 فلورسانس حداقل و F_V/F_M نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر است.

برای اندازه‌گیری مقاومت روزنه‌ای برگ، به عنوان معیاری از تبادلات گازی برگ، از دستگاه پرومتر (مدل SC-1 ساخت شرکت Decagon Devices آمریکا) استفاده شد. برای هر کرت، اندازه‌گیری‌ها از برگ پرچم ساقه اصلی متعلق به پنج بوته و در دو مرحله اواسط گرده‌افشانی (BBCH 65) و اواسط رشد شیری دانه‌ها (BBCH 75) و در ساعت ۱۲-۱۰ انجام گرفت.

اندازه‌گیری کلروفیل a و b از برگ پرچم ساقه اصلی و در مرحله اواسط رشد شیری دانه‌ها (BBCH 75) و از برگ تازه صورت پذیرفت. برای این کار، ۲۵ میلی‌گرم از نمونه‌های برگ پودر شده در هاون چینی پر از نیتروژن مایع، درون میکروتیوب‌های دو میلی‌لیتری ریخته شد. به هر میکروتیوب دو میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد اضافه شد. میکروتیوب‌ها به مدت ۳۰ ثانیه هموژنیزه شده و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شدند. پس از ۳۰ ثانیه هموژنیزه مجدد، به مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. مقدار ۲۵۰ میکرولیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ درون چاهک‌های میکروپلیت ریخته شد. با دستگاه الایزا (ELISA) شدت جذب عصاره‌ها در طول موج‌های ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان کلروفیل a و کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) با استفاده از معادله‌های (۲) و (۳) محاسبه شد (آرنون، ۱۹۴۹).

$$\text{Chl. a} = [12.7(A_{663}) - 2.69(A_{646})] \times \frac{V}{1000 \times W} \quad (۲)$$

$$\text{Chl. b} = [22.9(A_{646}) - 4.68A_{663})] \times \frac{V}{1000 \times W} \quad (۳)$$

A شدت جذب نور عصاره، V حجم محلول (میلی‌لیتر) و W وزن (گرم) پودر برگ استفاده شده است.

برای اندازه‌گیری محتوای نیتروژن و پروتئین دانه از روش کجلدال (Kjeldahl) که شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون است، استفاده گردید. سپس با استفاده از معادله (۴)، محتوای نیتروژن (درصد) دانه‌ها محاسبه گردید (Schuman, 1973).

$$\text{Nitrogen Content} = \frac{0.014 \times 0.1 \times 5 \times V}{W} \times 100 \qquad (۴)$$

V حجم اسید مصرف شده برای تیتراسیون (میلی‌لیتر) و W وزن نمونه گیاهی (گرم) می‌باشد. درصد نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ ضرب شد و محتوای پروتئین دانه (درصد) به دست آمد.

جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ver. 16 استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با نرم‌افزارهای SAS ver. 9.1 و MSTAT-C انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی برگ(SPAD)

در مرحله گرده‌افشانی، اثرهای ساده رقم و نیتروژن و اثر متقابل خشکی × رقم، روی شاخص سبزینگی برگ معنی‌دار بودند (جدول ۳). در مرحله پر شدن دانه، اثرهای ساده خشکی، رقم و نیتروژن و همچنین اثرهای متقابل خشکی × رقم، نیتروژن × خشکی و رقم × نیتروژن معنی‌دار شدند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی× رقم (جدول ۴) نشان داد که در بین سه رقم یولاف زراعی، شاخص سبزینگی برگ در رقم بروشر بالاتر از دو رقم دیگر بود. چنین نتیجه‌ای در دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه و همچنین در شرایط تنش و عدم تنش خشکی صادق بود. علاوه‌براین، میزان شاخص سبزینگی برگ در هر دو مرحله گرده‌افشانی و پرشدن دانه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش، کاهش یافت. تنش خشکی سبب گردید که شاخص سبزینگی برگ در مرحله گرده‌افشانی در رقم‌های پوتورو، کوال و بروشر به ترتیب ۹/۰۸، ۴/۶۴ و ۷/۰۶ واحد کاهش یابد. کاهش شاخص سبزینگی برگ در مرحله پر شدن دانه در ارقام پوتورو، کوال و بروشر در اثر تنش خشکی، به ترتیب ۲۰/۴۱، ۲۰/۳۳ و ۲۲/۲۷ واحد بود. همان‌گونه که مشخص است اثر خشکی روی شاخص سبزینگی برگ در مرحله پر شدن دانه بیشتر از مرحله گلدهی بوده است. این نتیجه به آن دلیل است که تنش از مرحله ابتدای گرده‌افشانی بر گیاه تحمیل شده و با گذشت زمان، گیاه در مرحله پرشدن دانه، تنش خشکی را به مدت بیشتری تجربه نموده است (جدول ۴). مصرف نیتروژن با افزایش شاخص سبزینگی برگ همراه بود؛ به طوری که میزان این شاخص در مرحله گرده‌افشانی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن نسبت به عدم تأمین آن حدود ۶۴ درصد افزایش یافت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل رقم ×

نیتروژن نشان داد که اثر کاربرد نیتروژن روی افزایش شاخص سبزینگی برگ در مرحله پر شدن دانه در رقم‌های مورد نظر مشابه نبود؛ به‌طوری که، تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن باعث افزایش این شاخص در رقم‌های پوتورو، کوال و بروشر به ترتیب به میزان ۶۳، ۱۱۰ و ۳۵ درصد شد (جدول ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خشکی، رقم، نیتروژن و اثرهای متقابل آن‌ها از نظر صفات فیزیولوژیک یولاف زراعی.

Table 3. Analysis of variance (mean squares) for drought, cultivar, nitrogen and their interaction effects in terms of physiological traits in oat.

منابع تغییرات S.O.V.	df	SPAD† anthesis	SPAD grain filling	F_V/F_M anthesis	F_V/F_M grain filling	Stomatal resistance anthesis	Stomatal resistance grain filling	Chl-a	Chl-b	Chl a/b	Grain protein content
تکرار Replication	2	1687^{ns}	10.2^{ns}	0.009^{ns}	0.001^{ns}	0.25^{ns}	660^{ns}	5.7^{ns}	4.5^{ns}	19.1^{ns}	30.8^{ns}
خشکی Drought (D)	1	4625^{ns}	1049^{*}	0.034^{ns}	0.018^{ns}	8591^{**}	29162^{*}	555^{ns}	117^{ns}	328^{ns}	116^{*}
خطای ۱ Error 1	2	20083	23.9	0.01	0.004	0.31	708	571	185	219	5.27
رقم Cultivar (C)	2	1441^{**}	487^{**}	0.015^{**}	0.002^{ns}	107^{**}	1487^{**}	458^{**}	15.6^{**}	80.5^{**}	10.57^{**}
D × C	2	1097^{**}	32.5^{**}	0.014^{**}	0.007^{**}	638^{**}	2559^{*}	4.59^{ns}	0.35^{ns}	10.3^{ns}	1.16^{*}
نیتروژن Nitrogen (N)	4	2383^{**}	1518^{**}	0.021^{**}	0.015^{**}	2128^{**}	10559^{**}	500^{**}	7.8^{**}	95.0^{**}	6.90^{**}
D × N	4	251^{ns}	179^{**}	0.002^{ns}	0.004^{*}	213^{**}	682^{ns}	0.08^{ns}	0.08^{ns}	9.1^{ns}	0.08^{ns}
C × N	8	150.9^{ns}	87.7^{**}	0.001^{ns}	0.003^{*}	146^{**}	181^{ns}	0.05^{ns}	0.05^{ns}	7.0^{ns}	0.04^{ns}
D × C × N	8	64.0^{ns}	15.8^{ns}	0.002^{ns}	0.002^{ns}	20.7^{ns}	794^{ns}	0.04^{ns}	0.50^{ns}	8.6^{ns}	0.04^{ns}
خطای ۲ Error 2	56	181	14.12	0.002	0.001	19.7	326	5.84	0.29	4.91	0.30
CV (%)	-	24.6	3.99	6.12	4.75	13.60	27.83	10.5	5.8	6.7	5.12

† SPAD anthesis, grain filling شاخص سبزینگی برگ در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه، F_V/F_M anthesis, grain filling کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ در گرده‌افشانی و پر شدن دانه، Stomatal resistance anthesis, grain filling مقاومت روزنه‌ای در گرده‌افشانی و پر شدن دانه، Chl-a کلروفیل a، Chl-b کلروفیل b، Chl a/b نسبت کلروفیل a/b و Grain protein content محتوای پروتئین دانه.

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: not significant, significant at 5 and 1% probability level, respectively.

شاخص سبزینگی برگ به عنوان شاخصی از غلظت کلروفیل در گیاهان استفاده می‌شود. از آن جایی که کلروفیل برگ همبستگی زیادی با شدت تنش رطوبتی دارد، قرائت SPAD علاوه بر این که برای تعیین نیاز گیاه به نیتروژن به کار می‌رود، بیانگر شدت تنش دریافت شده نیز می‌باشد (Ladha *et al.*, 1998). در شرایط تنش رطوبتی به دلیل کاهش ساخت و افزایش سرعت تجزیه رنگدانه‌ها، سبزینگی برگ کاهش می‌یابد. در آزمایش قبادی و همکاران (Ghobadi *et al.*, 218) نیز اعمال تنش خشکی سبب کاهش شاخص سبزینگی برگ‌های ذرت گردید. این در

حالی است که در یک آزمایش روی یولاف زراعی گزارش شد که تیمار خشکی سبب افزایش شاخص سبزینگی برگ؛ اما کاهش شاخص سطح برگ گردید (Panasiewicz *et al.*, 2017).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خشکی، رقم، نیتروژن و اثرهای متقابل آن‌ها از نظر صفات فیزیولوژیک یولاف زراعی.

Table 3. Analysis of variance (mean squares) for drought, cultivar, nitrogen and their interaction effects in terms of physiological traits in oat.

منابع تغییرات S.O.V.	df	SPAD† anthesis	SPAD grain filling	F_V/F_M anthesis	F_V/F_M grain filling	Stomatal resistance anthesis	Stomatal resistance grain filling	Chl-a	Chl-b	Chl a/b	Grain protein content
تکرار Replication	2	1687^{ns}	10.2^{ns}	0.009^{ns}	0.001^{ns}	0.25^{ns}	660^{ns}	5.7^{ns}	4.5^{ns}	19.1^{ns}	30.8^{ns}
خشکی Drought (D)	1	4625^{ns}	1049^{*}	0.034^{ns}	0.018^{ns}	8591^{**}	29162^{*}	555^{ns}	117^{ns}	328^{ns}	116^{*}
خطای ۱ Error 1	2	20083	23.9	0.01	0.004	0.31	708	571	185	219	5.27
رقم Cultivar (C)	2	1441^{**}	487^{**}	0.015^{**}	0.002^{ns}	107^{**}	1487^{**}	458^{**}	15.6^{**}	80.5^{**}	10.57^{**}
D × C	2	1097^{**}	32.5^{**}	0.014^{**}	0.007^{**}	638^{**}	2559^{*}	4.59^{ns}	0.35^{ns}	10.3^{ns}	1.16^{*}
نیتروژن Nitrogen (N)	4	2383^{**}	1518^{**}	0.021^{**}	0.015^{**}	2128^{**}	10559^{**}	500^{**}	7.8^{**}	95.0^{**}	6.90^{**}
D × N	4	251^{ns}	179^{**}	0.002^{ns}	0.004^{*}	213^{**}	682^{ns}	0.08^{ns}	0.08^{ns}	9.1^{ns}	0.08^{ns}
C × N	8	150.9^{ns}	87.7^{**}	0.001^{ns}	0.003^{*}	146^{**}	181^{ns}	0.05^{ns}	0.05^{ns}	7.0^{ns}	0.04^{ns}
D × C × N	8	64.0^{ns}	15.8^{ns}	0.002^{ns}	0.002^{ns}	20.7^{ns}	794^{ns}	0.04^{ns}	0.50^{ns}	8.6^{ns}	0.04^{ns}
خطای ۲ Error 2	56	181	14.12	0.002	0.001	19.7	326	5.84	0.29	4.91	0.30
CV (%)	-	24.6	3.99	6.12	4.75	13.60	27.83	10.5	5.8	6.7	5.12

† SPAD anthesis, grain filling شاخص سبزینگی برگ در مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه، F_V/F_M anthesis, grain filling کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ در گرده‌افشانی و پر شدن دانه، Stomatal resistance anthesis, grain filling مقاومت روزنه‌ای در گرده‌افشانی و پر شدن دانه، Chl-a کلروفیل a، Chl-b کلروفیل b، Chl a/b نسبت کلروفیل a/b و Grain protein content محتوای پروتئین دانه.

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: not significant, significant at 5 and 1% probability level, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی × رقم از نظر صفات فیزیولوژیک در یولاف زراعی.

Table 4. Mean comparison of drought × cultivar interaction in terms of physiological traits in oat.

شرایط رطوبتی Moisture conditions	رقم Cultivar	SPAD anthesis	SPAD grain filling	F_V/F_M anthesis	Stomatal resistance anthesis ($s.cm^{-1}$)	Stomatal resistance grain filling ($s.cm^{-1}$)	Grain protein content (%)
Normal نرمال	Potoro	54.2^{b}	67.1^{a}	0.75^{a}	17.32^{d}	49.86^{cd}	8.75^{e}
	Quall	49.7^{d}	67.2^{a}	0.76^{a}	17.48^{d}	54.02^{bc}	9.56^{d}
	Brusher	58.8^{a}	71.3^{a}	0.75^{a}	27.17^{c}	36.95^{d}	10.28^{c}
Stress تنش	Potoro	45.5^{c}	46.7^{b}	0.77^{a}	39.23^{b}	67.01^{b}	11.30^{b}
	Quall	45.0^{c}	46.8^{b}	0.68^{b}	44.83^{a}	90.81^{a}	12.03^{a}
	Brusher	51.7^{c}	49.0^{b}	0.69^{b}	36.52^{b}	91.01a	12.11^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن هستند ($p\leq0.05$).

In each column, the means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده نیتروژن از نظر صفات فیزیولوژیک در یولاف زراعی.

Table 5. Mean comparisons of nitrogen effect in terms of physiologic traits in oat.

تیمارهای نیتروژن Nitrogen treatments	SPAD anthesis	F_V/F_M anthesis	Stomatal resistance grain filling ($s.cm^{-1}$)	Chl-a ($mg.g^{-1}$ FW)	Chl-b ($mg.g^{-1}$ FW)	Chl a/b	Grain protein content (%)
0% N	38.0^{e}	0.68^{c}	38.9^{d}	23.5^{e}	9.8^{c}	2.39^{a}	9.76^{c}
25% N	47.0^{d}	0.73^{b}	48.5^{c}	24.5^{d}	10.3^{c}	2.37^{a}	10.36^{bc}
50% N	50.7^{c}	0.74^{ab}	50.8^{c}	25.5^{c}	11.5^{b}	2.21^{b}	10.84^{b}
75% N	56.1^{b}	0.76^{a}	79.3^{b}	26.0^{b}	12.0^{ab}	2.16^{c}	11.16^{a}
100% N	62.2^{a}	0.77^{a}	98.9^{a}	27.3^{a}	12.7^{a}	2.14^{c}	11.25^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن هستند ($p\leq0.05$).

In each column, the means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

شاخص سبزینگی برگ به عنوان شاخصی از غلظت کلروفیل در گیاهان استفاده می‌شود. از آن جایی که کلروفیل برگ همبستگی زیادی با شدت تنش رطوبتی دارد، قرائت SPAD علاوه بر این که برای تعیین نیاز گیاه به نیتروژن به کار می‌رود، بیانگر شدت تنش دریافت شده نیز می‌باشد (Ladha *et al.*, 1998). در شرایط تنش رطوبتی به دلیل کاهش ساخت و افزایش سرعت تجزیه رنگدانه‌ها، سبزینگی برگ کاهش می‌یابد. در آزمایش قبادی و همکاران (Ghobadi *et al.*, 2018) نیز اعمال تنش خشکی سبب کاهش شاخص سبزینگی برگ‌های ذرت گردید. این در حالی است که در یک آزمایش روی یولاف زراعی گزارش شد که تیمار خشکی سبب افزایش شاخص سبزینگی برگ؛ اما کاهش شاخص سطح برگ گردید (Panasiewicz *et al.*, 2017).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × نیتروژن از نظر SPAD و F_V/F_M در یولاف زراعی.

Table 6. Mean comparisons of cultivar × nitrogen interaction in terms of SPAD and F_V/F_M in oat.

رقم Cultivar	تیمارهای نیتروژن Nitrogen treatments	SPAD grain filling	F_V/F_M grain filling
Potoroo	0% N	36.9^{h}	0.68^{c}
	25% N	45.9^{f}	$0.72b^{c}$
	50% N	49.9^{e}	0.70^{c}
	75% N	56.5^{c}	0.70^{c}
	100% N	60.2^{b}	0.77^{a}
Quoll	0% N	29.4^{i}	0.70c
	25% N	41.5^{g}	0.70^{c}
	50% N	47.7^{ef}	0.75^{ab}
	75% N	56.3^{c}	0.72^{ab}
	100% N	61.9^{b}	0.75^{ab}
Brusher	0% N	47.7^{ef}	0.63^{d}
	25% N	53.8^{d}	0.70^{c}
	50% N	54.5^{cd}	0.70^{c}
	75% N	55.7^{cd}	0.72^{bc}
	100% N	64.7^{a}	0.77^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن هستند ($p\leq0.05$).

In each column, the means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

شاخص سبزینگی برگ به عنوان شاخصی از غلظت کلروفیل در گیاهان استفاده می‌شود. از آن جایی که کلروفیل برگ همبستگی زیادی با شدت تنش رطوبتی دارد، قرائت SPAD علاوه بر این که برای تعیین نیاز گیاه به نیتروژن به کار می‌رود، بیانگر شدت تنش دریافت شده نیز می‌باشد (Ladha *et al.*, 1998). در شرایط تنش رطوبتی به دلیل کاهش ساخت و افزایش سرعت تجزیه رنگدانه‌ها، سبزینگی برگ کاهش می‌یابد. در آزمایش قبادی و همکاران (Ghobadi *et al.*, 218) نیز اعمال تنش خشکی سبب کاهش شاخص سبزینگی برگ‌های ذرت گردید. این در حالی است که در یک آزمایش روی یولاف زراعی گزارش شد که تیمار خشکی سبب افزایش شاخص سبزینگی برگ؛ اما کاهش شاخص سطح برگ گردید (Panasiewicz *et al.*, 2017).

کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ (F_V/F_M)

اثرهای ساده رقم و نیتروژن و اثر متقابل خشکی × رقم روی کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ در مرحله گرده‌افشانی معنی‌دار بود. در مرحله پر شدن دانه، اثر ساده نیتروژن و اثرهای متقابل خشکی × رقم، خشکی × نیتروژن و رقم × نیتروژن بر روی این صفت معنی‌دار بودند (جدول ۳). در مرحله گرده‌افشانی، مقایسه میانگین مقادیر نیتروژن حاکی از آن بود که با افزایش مقدار کود نیتروژن، کارایی

فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ نیز افزایش یافت؛ به طوری که در سطوح ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تأمین نیتروژن، مقدار این صفت معادل ۰/۶۸، ۰/۷۳، ۰/۷۴، ۰/۷۶ و ۰/۷۷ حاصل شد (جدول ۵). همچنین در این مرحله، در دو رقم کوال و بروشر تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ گردید، اما در رقم پوتورو، تنش خشکی اثر معنی‌داری روی این صفت نداشت (جدول ۴). در مرحله پر شدن دانه، مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × نیتروژن نشان داد که در هر سه رقم، بیشترین و کمترین میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ به ترتیب با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز نیتروژن و عدم تأمین آن به دست آمد. به عبارت دیگر، در هر سه رقم، افزایش میزان نیتروژن باعث افزایش این صفت گردید. با این حال، در میزان افزایش این صفت در اثر کاربرد مقادیر نیتروژن، در بین سه رقم تفاوت‌هایی مشاهده گردید؛ به‌طوری که در رقم بروشر، تأثیر کاربرد نیتروژن روی این صفت بیشتر از رقم‌های پوتورو و کوال بود (جدول ۶).

فلورسانس کلروفیل، فوتون‌هایی از نور قرمز و قرمز دور هستند که توسط کلروفیل a در نانوثانیه پس از جذب نور ساطع می‌شوند (Cendrero-Meteo *et al.*, 2016). از آن جایی که پارامترهای فلورسانس کلروفیل با سرعت تبادل کربن همبستگی نزدیکی دارند، از قابلیت بالایی برای برآورد اثر متقابل نیتروژن و تنش‌های محیطی در گیاهان برخوردارند (Xu *et al.*, 2021). همچنان که در گزارش قبادی و همکاران (Ghobadi *et al.*, 2018) کاهش فراهمی نیتروژن (از ۱۰۰ تا ۷۰ درصد نیاز نیتروژنی گیاه ذرت) سبب کاهش معنی‌دار حداکثر فعالیت فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ گردید.

تنش رطوبتی فعالیت کمپلکس آزاد کننده اکسیژن (Oxygen evolving complex) در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ را دچار اختلال می‌نماید. این کمپلکس از سه پروتئین با جرم‌های مولکولی ۱۷، ۲۳ و ۳۳ کیلودالتون تشکیل شده که در سمت لیومن غشاء تیلاکوئید به پروتئین‌های D_1 و D_2 متصل هستند. یکی از دلایل اختلال در فعالیت کمپلکس آزاد کننده اکسیژن، تخریب پروتئین D_1 در اثر تنش خشکی بوده و بنابراین، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ کاهش می‌یابد (Huseynova, 2012). در صورتی که انرژی اضافی دفع شود، فتوسیستم ۲ از آسیب در امان می‌ماند. برخی ترکیبات (مثل رنگدانه کاروتنوئید) در پراکنده کردن انرژی اضافی نقش دارند. در نور شدید، ویولوگزانتین با ایجاد ماده حدواسط آنتروگزانتین به زآگزانتین تبدیل می‌شود. اتصال پروتون‌ها و زآگزانتین به پروتئین‌های کمپلکس دریافت کننده نور (Light harvest complex)، منجر به پراکنش انرژی اضافی به شکل گرما می‌شود (Taiz & Zeiger, 2012).

مقاومت روزنه‌ای

در مرحله گرده‌افشانی، اثرهای ساده خشکی، رقم و نیتروژن و همچنین اثرهای متقابل خشکی × رقم، خشکی × نیتروژن

و رقم × نیتروژن بر مقاومت روزنه‌ای معنی‌دار بودند. در مرحله پر شدن دانه نیز اثرهای ساده و همچنین اثر متقابل خشکی × رقم روی این صفت معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی × رقم در دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه نشان داد که اولاً، با افزایش سن گیاه، مقاومت روزنه‌ای نیز افزایش یافت؛ به‌طوری که مقاومت روزنه‌ای در مرحله پر شدن دانه حدود دو برابر بیشتر از مرحله گرده‌افشانی بود. دوم اینکه، تنش خشکی در هر دو مرحله گرده‌افشانی و پر شدن دانه، سبب افزایش مقاومت روزنه‌ای شده است. سوم اینکه، اثر تنش خشکی در افزایش مقاومت روزنه‌ای در مرحله پر شدن دانه بیشتر از مرحله گرده‌افشانی بود. چهارم، اثر تنش خشکی در افزایش مقاومت روزنه‌ای در هر دو مرحله در همه ارقام یولاف یکسان نبود. به عنوان مثال، در مرحله پر شدن دانه، در ارقام پوتورو، کوال و بروشر، تنش خشکی میزان مقاومت روزنه‌ای را به ترتیب ۳۴، ۶۶ و ۱۴۶ درصد افزایش داد (جدول ۴). در مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی × نیتروژن در مرحله گرده‌افشانی مشخص شد که افزایش مصرف کود نیتروژن در هر دو شرایط تنش خشکی و عدم آن، با افزایش مقاومت روزنه‌ای همراه بود؛ اگرچه تفاوت‌هایی از این نظر در دو شرایط تنش خشکی و عدم آن مشاهده گردید. به عنوان مثال، در شرایط تنش خشکی، با تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن نسبت به عدم تأمین آن، میزان مقاومت روزنه‌ای از ۲۳/۸ به ۶۰/۵ واحد افزایش پیدا کرد (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی × نیتروژن از نظر مقاومت روزنه‌ای در یولاف زراعی.

Table 7. Mean comparisons of drought × nitrogen interaction in terms of stomatal resistance in oat.

شرایط رطوبتی Moisture conditions	تیمارهای نیتروژن Nitrogen treatments	Stomatal resistance anthesis ($s.cm^{-1}$)
نرمال Normal	0% N	10.7^{h}
	25% N	12.6^{g}
	50% N	20.5^{fg}
	75% N	25.1^{e}
	100% N	30.4^{d}
تنش Stress	0% N	23.8^{ef}
	25% N	30.2^{d}
	50% N	41.0^{c}
	75% N	45.3^{b}
	100% N	60.5^{a}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن هستند ($p\leq0.05$).

In each column, the means with the same letters are not significantly different based on Duncan's test ($p\leq0.05$).

در صورتی که میزان آب دفع شده از سلول‌های محافظ روزنه، بیشتر از آبی باشد که از سلول‌های مزوفیلی به آن‌ها منتقل می‌شود، سلول‌های محافظ چروکیده شده و دهانه روزنه کوچک‌تر و در نهایت بسته می‌شود. علاوه براین، در

واکنش به کمبود آب، هورمون آبسیزیک اسید به سلول‌های محافظ روزنه انتقال می‌یابد. این هورمون با دخالت در فعالیت پمپ‌های پروتونی سبب تشدید خروج یون پتاسیم از سلول‌های محافظ و بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (Hopkins & Huner, 2008). بسته شدن روزنه‌ها یکی از اولین واکنش‌های گیاهان در برابر کمبود آب است. این فرایند به سرعت اتفاق افتاده و میزان مقاومت روزنه‌ای را به شدت افزایش می‌دهد. همزمان با افزایش مقاومت روزنه‌ای، کاهش سرعت تعرق نیز در اثر محدودیت‌های روزنه‌ای ایجاد می‌گردد (Rezaei Rad *et al*., 2016). بسته شدن روزنه‌ها، افزایش مقاومت روزنه‌ای، کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش تعرق در شرایط تنش خشکی سبب کاهش تلفات آب می‌شود، اما افزایش دمای برگ را به دنبال دارد (Yazdandoost Hamedani *et al*., 2019). از طرف دیگر، در شرایط تنش خشکی، واکنش‌های فتوشیمیایی گیاه دچار اختلال شده و مقدار زیادی از انرژی خورشیدی جذب شده توسط برگ‌ها مصرف نشده و به گرما تبدیل می‌شود (Hopkins & Huner, 2008).

کلروفیل a، کلروفیل b و نسبت کلروفیل a/b

تجزیه واریانس مشخص نمود که اثرهای ساده رقم و نیتروژن بر کلروفیل a و b و نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار بودند اما هیچ یک از اثرات متقابل معنی‌دار نشدند (جدول ۳). مقایسه میانگین مقادیر نیتروژن نشان داد که با کاهش مقدار کود نیتروژن، محتوای کلروفیل a و b در برگ کاهش یافتند، به‌طوری که بیشترین میزان کلروفیل a و b در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن حاصل شد. کاهش مصرف نیتروژن، نسبت کلروفیل a/b را افزایش داد. بیشترین نسبت کلروفیل a/b در تیمار صفر نیتروژن (۲/۳۹) و کمترین آن در تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن (۲/۱۴) بدست آمد (جدول ۵). این مطلب حاکی از آن است که تأثیر کمبود نیتروژن روی کاهش کلروفیل b بیشتر از کلروفیل a بوده است، به‌طوری که عدم مصرف نیتروژن در مقایسه با تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن، میزان کلروفیل a را ۱۳/۹ درصد و کلروفیل b را ۲۲/۸ درصد کاهش داده است.

ساختمان کلروفیل a و b شامل یک سر پورفیرین و یک دنباله فیتول هستند. پورفیرین یک تتراپیرول حلقوی است که نیتروژن در ساختار هر پیرول مشارکت دارد (Hopkins & Huner, 2008). لذا کمبود نیتروژن سبب کاهش محتوای کلروفیل a و b می‌گردد (Akram *et al*., 2011). علاوه بر آن، نیتروژن جزء اصلی ساختمان اسیدهای آمینه است. برخی اسیدهای آمینه که به عنوان محافظت کننده اسمزی (اسموپروتکتانت) هستند، در تنظیم اسمزی و افزایش تحمل گیاه در مقابل تنش نقش ایفا می‌کنند (Flores *et al*., 2012). کاهش کلروفیل ناشی از تنش کمبود آب و نیتروژن به دلیل کاهش سنتز یا افزایش تخریب آن صورت می‌گیرد. در چنین شرایطی، تولید گونه‌های اکسیژن فعال سبب تخریب مولکول کلروفیل، به علت جدا شدن دنباله فیتول از حلقه پورفیرین و یا تخریب

تیلاکوئیدهای کلروپلاست می‌شوند. همچنین بیان ژن‌های کدکننده کلروفیلاز افزایش می‌یابد (Dolatabadian *et al.*, 2009). علاوه بر آن، کاهش کلروفیل در اثر کمبود آب و نیتروژن تا حدودی به دلیل کاهش جذب نیتروژن و انتقال آن به بافت‌ها، کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردکتاز (آنزیم مؤثر در احیای نیترات به نیتریت) (Khazaeii *et al.*, 2005) و حتی تغییر شکل کلروپلاست (Liu *et al.*, 2018) می‌باشد.

محتوای پروتئین دانه

در تجزیه واریانس، اثرهای ساده خشکی، رقم و نیتروژن و همچنین اثر متقابل خشکی × رقم روی محتوای پروتئین دانه معنی‌دار بودند (جدول ۳). افزایش مصرف کود نیتروژن سبب افزایش محتوای پروتئین دانه گردید؛ به‌طوری که بالاترین محتوای پروتئین دانه (۱۱/۲۵ و ۱۱/۱۶ درصد) به ترتیب در تیمارهای تأمین ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی × رقم نشان داد که در هر دو شرایط رطوبتی، رقم‌های بروشر و پوتورو به ترتیب بیشترین و کمترین محتوای پروتئین دانه را داشتند. علاوه‌براین، تنش خشکی سبب افزایش پروتئین دانه گردید. افزایش میزان پروتئین دانه در اثر تنش خشکی، در رقم‌های پوتورو، کوال و بروشر به ترتیب ۲/۵۴، ۲/۴۷ و ۱/۸۳ درصد بود (جدول ۴).

جذب نیتروژن از خاک و انتقال آن به دانه‌ها و همچنین انتقال مجدد نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه، دو منبع اصلی تأمین کننده نیتروژن دانه‌ها هستند. در شرایط مطلوب رطوبتی و نیتروژن، بیش از ۵۰ درصد نیتروژن دانه‌ها از نیتروژن جذب شده قبل از تشکیل دانه حاصل می‌شود (Abdoli, 2019). با کاهش دسترسی گیاه به آب و نیتروژن، انتقال مجدد نیتروژن از ساقه و برگ به سمت دانه زودتر شروع می‌شود. علاوه بر آن، در مرحله پر شدن دانه، ابتدا پروتئین و بعد از آن کربوهیدرات‌ها در دانه ذخیره می‌شوند. لذا، کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه به واسطه کمبود آب، به منزله کوتاه شدن دوره ذخیره کربوهیدرات بوده و اثر کمتری بر ذخیره پروتئین دانه دارد. به همین دلیل، کمبود آب، درصد نشاسته دانه را کاهش اما درصد پروتئین دانه را افزایش می‌دهد (Ghobadi *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که تنش خشکی پس از گرده‌افشانی باعث کاهش شاخص سبزینگی برگ و کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ گردید، اما مقاومت روزنه‌ای و محتوای پروتئین دانه را افزایش داد. همچنین، در بین سه رقم مورد استفاده، از نظر شاخص سبزینگی برگ، رقم کوال و از نظر حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ و مقاومت روزنه‌ای، رقم پوتورو از مقاومت بالاتری در مقابل تنش خشکی برخوردار بودند. از طرف دیگر، تأمین ناکافی نیتروژن روی صفت‌های شاخص سبزینگی برگ، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲، کلروفیل a، کلروفیل b و محتوای پروتئین دانه اثر سوء بر جای گذاشت. بنابراین، به

نظر می‌رسد که تأمین کافی آب و نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) با تأثیر مثبت روی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه، نقش زیادی در فرآیند فتوسنتز و تولید محصول در یولاف زراعی داشته باشد.

References

Abdoli, M. 2019. Remobilization of photoassimilates a strategy to deal with drought stress in wheat. Journal of Wheat Research, 2 (1), 87-104. [In Persian]

Akram, M., Ashraf, M. Y., Jamil, M., Iqbal, R. M., Nafees, M., & Khan, M. A. 2011. Nitrogen application improves gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence in maize hybrids under salinity conditions. Russian Journal of Plant Physiology, 58, 394–401. https://doi.org/10.1134/S1021443711030022

Arnon, D. I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast and polyphenoxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology, 24, 1-15.

Bahraminejad, S., & Amiri, R. 2016. Oat, a forgotten crop with medicinal properties (1st ed.). Razi University Press, Kermanshah, Iran. [In Persian]

Cendrero-Mateo, M. P., Moran, M., S., Papuga, S. A., Thorp, K. R., Alonso, L., Moreno, J., Ponce-Campos, G., Rascher, U., & Wang, G. 2016. Plant chlorophyll fluorescence: active and passive measurements at canopy and leaf scales with different nitrogen treatments. Journal of Experimental Botany, 67 (1), 275–286. https://doi.org/10.1093/jxb/erv456

Dolatabadian, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Sharifi, M. 2009. Effect of water deficit stress and foliar application of ascorbic acid on antioxidant enzymes activity and some biochemical changes in leaves of grain corn (Zea mays L.). Iranian Journal of Biology, 22 (3), 407-422. [In Persian]

Flores, P., Carvajal, M., Cerda, A., & Martinez, V. 2001. Salinity and ammonium/nitrate interactions on tomato plant development, nutrition, and metabolites. Journal of Plant Nutrition, 24 (10), 1561–1573. https://doi.org/10.1081/PLN-100106021

Food and Agriculture Organization. 2021. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved July 17, 2021. from http://fao.org/crop/statistics

Ghobadi, R., Ghobadi, M., Jalali Honarmand, S., Farhadi, B., & Mondani, F. 2018. Study the responses of some leaf physiologic characteristics to different water and nitrogen leaves in grainy maize (Zea mays L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 16 (3), 583-597. [In Persian]. DOI: https://doi.org/10.22067/gsc.v16i3.68456

Ghobadi, R., Ghobadi, M., Jalali Honarmand, S., Mondani, F., & Farhadi, B. 2017. Economic analysis of effect of water and nitrogen levels on grain yield and yield components of maize (Zea mays L.) cv. SC 704. Iranian Journal of Crop Sciences, 19 (3), 220-238. [In Persian]. DOI: https://doi.org/20.1001.1.15625540.1396.19.3.4.4

Hopkins, W. G., & Huner, N. P. A. 2008. Introduction to Plant Physiology (4th ed.). John Wiley & Sons.

Huseynova, I. M. 2012. Photosynthetic characteristics and enzymatic antioxidant capacity of leaves from wheat cultivars exposed to drought. Biochimica et Biophysica Acta, 1817 (8), 1516-1523. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2012.02.037

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Sumasundaram, R., & Panneerselvam, R. 2009. Drought stress in plants a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture & Biology, 11, 100-105.

Khazaeii, H., Mohamad-Abadi, A., & Borzooeii, A. 2005. The effect of drought stress on morphological and physiological characteristics of millets. Iranian Journal of Field Crops Research, 3 (1), 35-44. [In Persian]. DOI: https://doi.org/10.22067/gsc.v3i1.1290

Ladha, J. K., Tirol-Padre, A., Punzalan, G. C., Castillo, E., Singh, U., & Reddy, C. K. 1998. Nondestructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. Agronomy Journal, 90 (1), 33-40. https://doi.org/10.2134/agronj1998.00021962009000010007x

Laegreid, M., Bockman, O. C., & Kaarstad, O. 2010. Agriculture, fertilizers and environment. CABI Publishing in association with Norsk Hydro ASA, 294 pp.

Liu, Z., Gao, J., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. 2018. Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of summer maize response to different nitrogen supplies. Frontiers in Plant Science, 9, 576. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00576

Majidian, M., Ghalavand, A., Kamgar Haghighi, A. A., & Karimian, N. 2008. Effect of drought stress, nitrogen fertilizer and manure on chlorophyll meter reading, grain yield and yield components in grain maize cv. SC 704. Iranian Journal of Crop Sciences, 10 (3), 303-330. [In Persian]

Marschner, P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press, New York, USA.

Meier, U. 2018. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. Julius Kuhn-Institute (JKI). Quedlinburg, Germany. https://doi.org/10.5073/20180906-074619

Nourmohammadi, G., Siadat, A., & Kashani, A. 2010. Cereal Crops (9th ed.). Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran. [In Persian]

Panasiewicz, K., Koziara, W., & Faligowska, A. 2017. Responses of three oat forms to sprinkling irrigation and nitrogen fertilization. Turkish Journal of Field Crops, 22 (1), 81-88. https://doi.org/10.17557/TJFC.303888

Rezaee Rad, H., Hooshmand, A. R., Naseri, A. A., & Siahpoosh, M. R. 2016. Effects of drought stress on physiological characteristics and yield of maize in the presence of a shallow water table in Ahvaz climatic conditions. Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 39 (1), 55-66. [In Persian]

Schuman, G. E., Stanley, A. M., & Kuundsen, D. 1973. Automated total nitrogen analysis of soil and plant samples. Proceeding of the soil Science Society of America, 37, 480-481.

Taiz, L., & Zeiger, E. 2012. Plant physiology (5th ed.). Chapter 26: Responses and adaptation to abiotic stresses. Sinauer Associates Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.

Xu, S., Atherton, J., Riikonen, A., Zhang, C., Oivukkamäki, J., MacArthur, A., Honkavaara, E., Hakala, T., Koivumäki, N., Liu, Z., & Porcar-Castel, A. 2021. Structural and photosynthetic dynamics mediate the response of SIF to water stress in a potato crop. Remote Sensing of Environment, 263, 112555. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112555

Yazdandoost Hamedani, M., Ghobadi, M., Ghobadi, M. E., Jalali-Honarmand, S., & Saeidi, M. 2019. Influence of foliar application of some chemicals on gas exchange, water relations and photosynthetic traits in sunflower (Helianthus annuus L.) under different irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crops Research, 17 (3), 477-489. [In Persian]. DOI: https://doi.org/10.22067/gsc.v17i3.76843