Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 2, 2025, p. 303-321

Assimilate Accumulation and Translocation of Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) in Intercropped Triticale-Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Deficit Irrigation

Ida Rashidipour[1], Vahid Barati[1*] and Mahdi Najafi-Ghiri[2]

1- MSc Graduated and Assistant Professor, Department of Agroecology, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran, respectively.
2- Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran
(*- Corresponding author's Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

Received: 23-11-2024
Revised: 24-01-2025
Accepted: 05-04-2025
Available Online: 27-07-2025

How to cite this article:
Rashidipour, I., Barati, V., & Najafi-Ghiri, M. (2025). Assimilate accumulation and translocation of triticale (X *Triticosecale* Wittmack) in intercropped triticale-chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by bio-organic fertilizer and deficit irrigation. *Journal of Agroecology*, *17*(2), 303-321. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.90340-1217

Introduction

Water stress is one of the main limiting factors for global crop productivity in arid areas. A strategy to mitigate the pronounced water stress levels may entail the application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPRs), organic matter, and intercropping systems in arid regions. Among PGPRs, *Pseudomonas* and *Azospirillum* bacteria stand out for their remarkable capacity to enhance the availability of soil phosphorus (P) and nitrogen (N), respectively. Sufficient P and N uptake has been documented to improve plants' resilience to water stress through several mechanisms and, therefore, increase dry matter remobilization, grain yield in late-season severe water stress. The application of organic matter and intercropping systems emerges as alternative solutions for mitigating severe water stress levels, and consequently improving dry matter remobilization and grain yield of the intercropping members. Despite the above knowledge, there is a lack of information regarding the interaction between biological fertilizer, organic matter, and the triticale-chickpea intercropping system in mitigating the detrimental effects of water stress on triticale (× *Triticosecale* Wittmack). Therefore, this research was conducted to evaluate the impacts of PGPRs, sheep manure, and intercropped triticale with chickpea (1:1) on assimilate accumulation and translocation of triticale as two main traits for determining the triticale grain yield under the late-season deficit irrigation (water stress) in southern Iran (Fars province -Darab).

Materials and Methods

A split-factorial experiment based on randomized complete block design with three replications was implemented at the research field of the College of Agriculture and Natural Resources of Darab - Shiraz University in 2019-2020 growing season. Treatments were two levels of irrigation (Ir): [1- normal (IR_N): irrigation based on the

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.90340-1217

plant water requirement up to the physiological maturity stage (ZGS92) and 2- deficit irrigation (water stress - WS): irrigation based on the plant water requirement up to the milking stage] as the main plots. Three fertilizer sources (F_S) [1- chemical: (50 kg P ha^{-1} + 150 kg N ha^{-1}), 2- integrated: (25 Kg P ha^{-1} + 75 Kg N ha^{-1} + 20 tons sheep manure ha^{-1} + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*) 3- bio-organic: 40 tons sheep manure ha^{-1} + inoculation with *P. fluorescens* and *A. brasilense*] and two cropping systems (Cs) [1- monoculture of triticale, 2- intercropped triticale with chickpea (1:1)] were subjected as the sub-plots. The aboveground dry matter of the whole plant organs at the anthesis stage and the dry matter of the vegetative organs at maturity were measured, and the dry matter remobilization and its attributes were calculated as Barati and Ghadiri (2017) mentioned. Data were analyzed using SAS 9.1 software, and means were separated using the Duncan multiple range test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the highest amount of assimilate remobilization occurred in integrated (2271.9 kg ha^{-1}) and intercropped triticale (2188.4 kg ha^{-1}) under IR_N condition. Assimilate remobilization and assimilate remobilization efficiency decreased by deficit irrigation. However, these decrements were different in the two cropping systems. Intercropping triticale, as compared to its sole, showed a lower decrease in these traits (16.5% and 4.3%, respectively). Furthermore, the smallest reductions in assimilate remobilization and assimilate remobilization efficiency due to deficit irrigation were observed in the bio-organic (16.0%) and integrated (2.3%) treatments, respectively. Grain yield showed a positive and linear relationship with assimilate remobilization in IR_N and WS conditions (R^2 = 0.65 and R^2 = 0.95, respectively).

Conclusions

As a result, to enhance assimilate remobilization and subsequently increase triticale grain yield, triticale–chickpea intercropping combined with integrated fertilizer application is recommended under IRN conditions. In contrast, when deficit irrigation (water stress) is anticipated, a bio-organic fertilizer system and intercropped triticale are advisable.

Keywords: Contribution of pre-anthesis assimilate, Dry matter remobilization efficiency, Grain yield, Harvest index

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۳۲۱-۳۰۳

تجمع و انتقال مواد پرورده در تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) کشت مخلوط شده با نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیرکاربرد کود زیستی-آلی و کم‌آبیاری

آیدا رشیدی پور[۱]، وحید براتی[۱*] و مهدی نجفی قیری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

چکیده

با توجه به تأثیر قابل توجه مواد پرورده تجمع‌یافته در دوره رشد رویشی بر عملکرد دانه غلات در شرایط تنش آبی انتهای فصل، آزمایشی به‌صورت طرح اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب – دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح آبیاری [مطلوب (شاهد): آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و کم‌آبیاری (تنش آبی): آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله شیری] به‌عنوان عامل اصلی و سه منبع کودی [شیمیایی: ۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، تلفیقی: ۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار + ۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)، زیستی-آلی: ۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*] و دو نوع سامانه کشت [کشت خالص تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) (رقم هاشمی) و کشت مخلوط تریتیکاله – نخود (*Cicer arietinum* L.) (رقم داراب) (۱:۱)] به‌عنوان عوامل فرعی بودند که به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار انتقال مجدد مواد در شرایط مطلوب رطوبتی در سامانه کود تلفیقی (۲۲۷۱/۹ کیلوگرم بر هکتار) و در سامانه کشت مخلوط تریتیکاله با نخود (۲۱۸۸/۴ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. کم‌آبیاری، انتقال مجدد مواد پرورده و کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده در هر دو سامانه کشت را نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی کاهش داد، به‌طوری‌که کمترین میزان کاهش در این صفات (به‌ترتیب ۱۶/۵ و ۴/۳ درصد) در الگوی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص مشاهده شد. همچنین کمترین میزان کاهش انتقال مجدد مواد پرورده و کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده به‌واسطه کم‌آبیاری نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی با کاربرد به‌ترتیب کود زیستی-آلی (۱۶/۰ درصد) و کود تلفیقی (۲/۳ درصد) به دست آمد. عملکرد دانه همبستگی خطی و مثبت با انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط مطلوب و کم‌آبیاری نشان داد (ترتیب $R^2 = 0.65$ و $R^2 = 0.95$). بنابراین، به‌منظور افزایش انتقال مجدد مواد پرورده و به‌دنبال آن افزایش عملکرد دانه، کشت تریتیکاله به‌صورت مخلوط با نخود و همچنین استفاده از سامانه تلفیقی در شرایط مطلوب رطوبتی توصیه می‌شود. به‌علاوه، چنانچه احتمال بروز تنش آبی در انتهای فصل رشد تریتیکاله وجود داشته باشد، با توجه به کاهش کمتر انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط تنش نسبت به مطلوب در شرایط کاربرد کود زیستی- آلی نسبت به سایر سامانه‌های کودی و استفاده از کشت مخلوط نسبت به خالص قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از گلدهی

۱- به ترتیب کارشناسی ارشد و استادیار، بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران

۲- دانشیار، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.90340-1217

مقدمه

تولید غلات در جنوب ایران به‌دلیل وجود آب‌وهوای گرم و خشک با مشکلات جدی ناشی از کمبود آب به‌ویژه در نیمه دوم سال زراعی روبه‌رو است، ازاین‌رو مواجهه گیاهان با تنش آبی شدید در طول دوره پر شدن دانه گریزناپذیر است. در مرحله پر شدن دانه غلات به‌دلیل بالا بودن فعالیت مقصد، به افزایش فراهمی فتوآسیمیلات‌ها احتیاج بیشتری است. امّا کاهش فعالیت فتوسنتزی غلات (فعالیت منبع) و کاهش انتقال فتوآسیمیلات‌ها پس از مرحله گل‌دهی به‌دلیل شرایط نامناسب ایجادشده به‌واسطه تنش آبی و گرمای شدید، دسترسی دانه ها به مواد پرورده را محدود کرده و وزن نهایی دانه‌ها کاهش می‌یابد (Bijanzadeh & Emam, 2012; Barati & Ghadiri, 2017).

برخی از پژوهشگران (Barati & Bijanzadeh, 2020) گزارش کرده‌اند که در شرایط اعمال طیفی از تنش آبی (ملایم تا شدید) میزان فتوسنتز تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) کاهشی متناسب با شدت تنش نشان داده است. همچنین برخی از پژوهشگران نشان داده‌اند که تنش‌های شدید آبی، میزان انتقال مجدد مواد پرورده را دچار کاهشی قابل توجه می‌کند. در همین راستا، بیژن‌زاده و امام (Bijanzadeh & Emam, 2012) بر روی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) و براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2017) بر روی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) اثبات کردند که اعمال تنش شدید پس از گل‌دهی، سبب کاهش مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه می‌شود، امّا تنش ملایم نه‌تنها مقدار مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه را کاهش نمی‌دهد، بلکه سبب افزایش آن شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که حساسیت فرآیند فتوسنتز به تنش آبی به مراتب شدیدتر از انتقال فتوآسیمیلات‌ها در غلات است. بنابراین، اگر بتوانیم شدت تنش آبی در مرحله پر شدن دانه را کاهش دهیم، اگر چه احتمالاً فتوسنتز در چنین شرایطی روند کاهشی خواهد داشت. امّا می‌توانیم تا حدودی کاهش ناشی از فتوسنتز را با افزایش مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه جبران کنیم و جلوی افت شدید وزن دانه را بگیریم. بنابراین، پژوهشگران برای کاهش شدت تنش آبی پس از گل‌دهی باید راهکارهایی را جستجو کنند.

کشت گیاهان مقاوم به خشکی، یکی از راهکارهای مناسب در جهت کاهش سطح تنش در درون گیاه است. تریتیکاله نسبت به سایر غلات، تنش‌های غیرزیستی را به‌خوبی تحمل می‌کند و با داشتن پتانسیل تولید علوفه و عملکرد بالا، برای کشت در اراضی حاشیه‌ای مناسب است (Arseniuk, 2015). بنابراین، استفاده از این گیاه در مناطق جنوبی ایران می تواند به‌عنوان اولین راه‌حل در جهت کاهش سطح تنش درونی گیاه مطرح باشد. پژوهش‌های انجام‌شده در مناطق جنوبی ایران در مورد اثرات تنش آبی بر مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه روی این گیاه محدود بوده و انجام چنین پژوهشی می‌تواند یافته‌های جدیدی را به دانش ما در این زمینه اضافه کند.

کشت مخلوط غلات و حبوبات نیز به‌دلیل تفاوت در عمق و نحوه قرارگیری ریشه‌ها در خاک و بنابراین، کاهش سطح رقابت درون گونه‌ای می‌تواند در کاهش اثرات تنش آبی شدید در غلات و بقولات مؤثر باشد (Rashidipour et al., 2023; Mazaheri, 1998). در تأیید این موضوع، برخی از پژوهشگران (Mohavieh Asadi et al., 2019) نیز نشان داده‌اند که گیاه جو به‌صورت مخلوط با نخود (*Cicer arietinum* L.) که در شرایط تنش آبی کاشت شدند، تنش آبی کمتری را نسبت به شرایط کشت خالص خود تحمل کردند. با وجود مطالعات متعدد (Pelzer et al., 2014) در مورد اثرات کشت مخلوط غلات و حبوبات، مطالعات در مورد مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه گیاه تریتیکاله به‌عنوان گیاهی جدید در شرایط پرتنش مناطق جنوبی ایران در شرایط کشت مخلوط آن با گیاهان خانواده بقولات نایاب است و مطالعه اثر کشت مخلوط آن با گیاهان خانواده بقولات در کاهش اثرات تنش شدید آبی در این گیاه، می‌تواند اطلاعات جدید و ارزشمندی را فراهم بیاورد.

راه حل دیگر در کاهش سطح تنش آبی، استفاده از کودهای زیستی و آلی است. در این راستا، استفاده از باکتری‌های تنظیم‌کننده رشد (PGPR) در شرایط تنش آبی از طریق کمک به افزایش رشد ریشه‌ها و به دنبال آن افزایش جذب مواد غذایی (Bhattacharyya & Jha, 2012) و همچنین، به‌دلیل تولید سیتوکینین‌ها، آنتی اکسیدان ها، ایندول استیک اسید IAA و آنزیم دآمیناز ACC، میزان تحمل به تنش آبی را افزایش می‌دهند (Figueiredo et al., 2008). از جمله این باکتری‌ها می‌توان به *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilense*) و میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر از جمله *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) اشاره کرد

که به‌ترتیب با توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری (Vurukonda et al., 2016) و حل کردن فسفر نامحلول در خاک (Rawat et al., 2021)، این عناصر را برای جذب در دسترس گیاه قرار داده و سبب رشد بیشتر ریشه‌ها و افزایش جذب آب شده و سطح تنش را کاهش می‌دهند. در همین راستا، برخی از پژوهشگران نشان دادند که کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزین کردن آن‌ها با کودهای زیستی در گیاه جو (Niazi Ardakani et al., 2020) و گیاه تریتیکاله (Barati et al., 2020) در تعدیل اثرات منفی تنش آبی شدید مؤثر است. نتایج حاصل از پژوهش نیازی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) نشان داد که کاربرد کود به‌صورت تلفیقی (شیمیایی و زیستی)، با افزایش انتقال مجدد و مشارکت مواد پرورده در دانه جو در شرایط تنش آبی سبب افزایش مقدار عملکرد دانه در این تیمار در مقایسه با سایر تیمارهای کودی (صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، ۱۰۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار و زیستی (تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس*)) شد.

کود حیوانی منبعی از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف مورد نیاز گیاهان است که می‌تواند از طریق تأثیرگذری مثبت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب سبب بهبود شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک و رشد بهتر ریشه‌ها شده و بنابراین، جذب آب در شرایط تنش را بیفزاید و سطح تنش آبی را کاهش دهد. در این راستا، برخی از پژوهشگران دریافتند که استفاده از کود حیوانی، خاک را قادر می‌سازد تا آب و مواد غذایی را برای مدت طولانی‌تری حفظ کند و به‌صورت آهسته در اختیار گیاه قرار دهد (Risse et al., 2006) و سبب کاهش سطح تنش آبی شود.

بنابراین، با توجه به نقش مؤثر استفاده از کودهای زیستی و آلی در کاهش سطح تنش آبی و کمبود اطلاعات در مورد اثر آن‌ها بر میزان مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه گیاه تریتیکاله در شرایط کشت خالص و مخلوط در مناطق پرتنش جنوبی ایران، این پژوهش به بررسی برهم‌کنش اثر کم‌آبیاری (تنش آبی)، منابع مختلف نیتروژن و فسفر (شیمیایی و زیستی–آلی) بر انتقال مجدد مواد پرورده، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از گل‌دهی در دانه و عملکرد تریتیکاله در کشت خالص و مخلوط با نخود پرداخته است.

مواد و روش‌ها

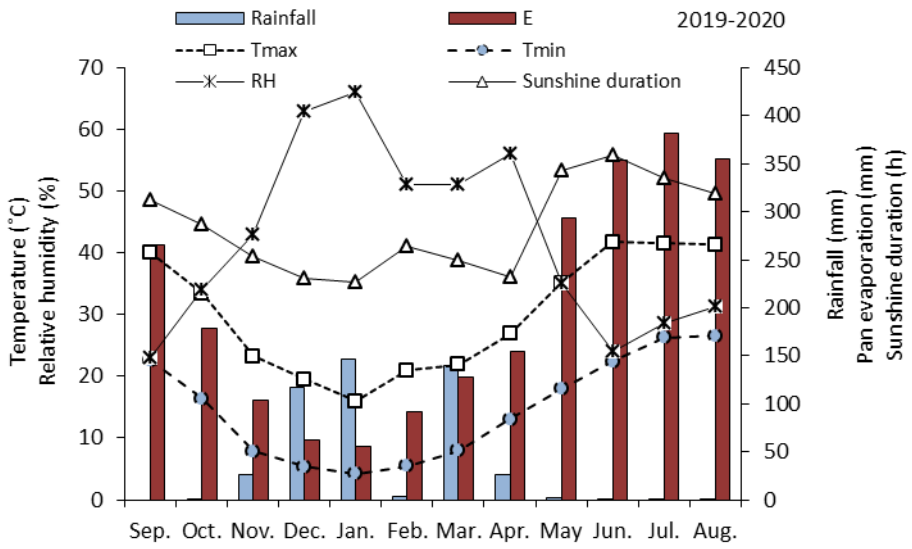
این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب ـ دانشگاه شیراز (طول جغرافیایی ۵۴ و۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ و۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۹ـ۱۳۹۸ به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. به‌منظور بررسی بافت خاک و عناصرغذایی موجود در آن، نمونه‌ای از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی-متری خاک مزرعه تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب فرستاده شد. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. مکان اجرای آزمایش (داراب) با میانگین بارش بلندمدت سالیانه (۲۷ ساله، از سال ۱۳۷۳ تا سال۱۴۰۰) ۲۶۴ میلی‌متر، دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد. وضعیت آب‌وهوای منطقه داراب در سال زراعی ۱۳۹۹ـ۱۳۹۸ در شکل۱ نشان داده شده است.

تیمارها شامل دو سطح آبیاری (۱ـ مطلوب: آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲ـ کم‌آبیاری (تنش آبی): آبیاری براساس نیاز آبی گیاه تا مرحله شیری) به‌عنوان عامل اصلی و عوامل فرعی شامل سه منبع کودی (۱ــ شیمیایی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار به‌صورت سوپرفسفات تریپل + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار به‌صورت اوره)، ۲ــ تلفیقی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر به اندازه نصف نیاز گیاه (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) + کود گوسفندی به-اندازه نصف نیاز گیاه (۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*، ۳ــ زیستی–آلی: کود گوسفندی کامل (۴۰ تن بر هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) و دو نوع کشت (۱ـ کشت خالص تریتیکاله و ۲ـ کشت مخلوط تریتیکاله–نخود (۱:۱)) بودند که به‌صورت فاکتوریل در هر کرت اصلی در تکرارها قرار گرفتند. ویژگی‌های کود گوسفندی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth.

ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount
شن Sand	%	38.23	نیتروژن کل Total N	%	0.09
سیلت Silt	%	45.10	پتاسیم قابل‌دسترس Available K	$mg.kg^{-1}$	340
رس Clay	%	16.67	فسفر قابل‌دسترس Available P	$mg.kg^{-1}$	10.67
کربن آلی Organic C	%	0.93	آهن قابل‌دسترس Available Fe	$mg.kg^{-1}$	6.01
ماده آلی Organic material	%	1.57	منگنز قابل‌دسترس Available Mn	$mg.kg^{-1}$	15.88
قابلیت هدایت الکتریکی EC	$dS.m^{-1}$	1.07	مس قابل‌دسترس Available Cu	$mg.kg^{-1}$	1.54
اسیدیته pH	----	7.49	روی قابل‌دسترس Available Zn	$mg.kg^{-1}$	0.63



شکل ۱-بارندگی ماهیانه، تبخیر از تشت تبخیر، طول دوره روشنایی، میانگین کمینه و بیشینه دمای هوا و رطوبت نسبی در طول سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹

Fig. 1- Monthly rainfall, pan evaporation (E), sunshine duration, mean minimum and maximum air temperatures (Tmin and Tmax, respectively) and relative humidity (RH) during 2019- 2020 growing season

عملیات خاکورزی با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک و سپس کرت بندی در ابعاد ۲×۳/۵ متر انجام شد. دو هفته قبل از کاشت، کود دامی (گوسفندی) (۴۰ و۲۰ تن بر هکتار) متناسب با تیمارهای مربوطه به - زمین اضافه و با خاک مزرعه مخلوط شد. سپس، به‌منظور پوسیدگی کود دامی، آبیاری کرت‌ها انجام گرفت. با توجه به نتایج آزمون خاک مزرعه، کود شیمیایی سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم فسفر برهکتار یک روز قبل از کاشت به‌صورت نواری بین ردیف‌های کشت به زمین اضافه شد. بذر نخود (رقم محلی داراب: مناسب برای کشت در مناطق گرم و خشک کشور) و بذر تریتیکاله (رقم هاشمی: زودرس و مناسب برای کاشت در اراضی کم بازده) از مؤسسه

تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند و بر روی شش خط کاشت به‌طول سه متر با فاصله ۲۵ سانتی‌متری کاشته شدند. باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilense*) و *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) نیز از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه گردید.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود گوسفندی مورد استفاده

Table 2- Physical and chemical characteristics of the sheep manure

ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount
کربن آلی Organic C	%	32.31	پتاسیم قابل دسترس Available K	$mg.kg^{-1}$	589
اسیدیته pH	-	7.97	مس قابل دسترس Available Cu	$mg.kg^{-1}$	49
قابلیت هدایت الکتریکی EC	$dS.m^{-1}$	8.21	منگنز قابل دسترس Available Mn	$mg.kg^{-1}$	212
نیتروژن کل Total N	٪	0.76	روی قابل دسترس Available Zn	$mg.kg^{-1}$	99
فسفر قابل‌دسترس Available P	$mg.kg^{-1}$	25.43	آهن قابل دسترس Available Fe	$mg.kg^{-1}$	2714

قبل از عملیات کاشت، ضدعفونی بذرها با محلول سدیم هیپوکلریت یک درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه انجام شد و پس از آن بذرها با آب مقطر سترون شستشو و خشک شدند. سپس، به‌مدت ۳۰ ثانیه بذرها در محلول شکر ۲۰ درصد قرار گرفتند تا تمام سطح بذر به‌صورت یکنواخت چسبناک شود. تلقیح بذرهای تریتیکاله و نخود در شرایط آزمایشگاهی و بعد از گندزدایی انجام شد. مایه تلقیح (باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*) به‌ازای هر کیلوگرم بذر، ۲۰ گرم از هر باکتری به بذرهای چسبناک اضافه شده و بعد از ۴۵ ثانیه تکان دادن ظرف محتوی بذر و باکتری، بذرهای آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلمینیومی پهن شدند تا در سایه خشک شوند (Niazi Ardakani et al., 2020).

عملیات کاشت بذر براساس مقدار توصیه‌شده برای نخود (۴۰ بوته در مترمربع) (Mohavieh Assad et al., 2019) و تریتیکاله (۲۰۰ بوته در مترمربع) (Barati et al., 2020) در تاریخ ۸ دی ماه انجام و پس از آن آبیاری کرت‌ها به‌صورت یکنواخت صورت گرفت. در تیمار کاربرد کود شیمیایی، کود نیتروژن در سه مرحله نموی تریتیکاله شامل سه برگچه‌ای (ZGS_{13}) (Zadoks et al., 1974) پنجه‌زنی (ZGS_{23}) و ساقه‌دهی (ZGS_{32}) به‌مقدار مساوی به کرت‌ها اضافه و بعد از آن آبیاری انجام شد. همچنین، در تیمارهای کود زیستی-آلی و تلفیقی، علاوه‌بر تلقیح بذرها، باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در دو مرحله پنجه‌زنی (ZGS_{25}) و ساقه‌دهی (ZGS_{34})، همراه با آب آبیاری به‌مقدار (۱۰ گرم از هر باکتری) در هر کرت استفاده شد.

به‌منظور انجام آبیاری مطلوب، محتوای رطوبت خاک از قسمت میانی کرت‌های مربوطه به‌روش وزنی اندازه‌گیری شد. به این منظور، از عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک، در فواصل ۳۰ سانتی‌متری نمونه برداری با مته انجام شد و بعد از وزن کردن نمونه، خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت تا خشک شود. با کم کردن وزن خاک خشک (پس از قرار دادن درآون) از وزن خاک مرطوب (قبل از قرار دادن در آون)، رطوبت خاک به دست آمد. زمانی‌که میانگین رطوبت خاک در نقاط اندازه‌گیری‌شده به کمتر از ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس رسید، آبیاری کرت‌ها انجام شد و رطوبت زمین در عمق متناسب با توسعه ریشه به ظرفیت مزرعه رسانده شد (Barati & Ghadiri, 2016).

مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها از طریق معادله ۱ محاسبه و مقدار آب استفاده‌شده برای هر کرت از روش حجمی-زمانی (Barati & Ghadiri, 2016) اندازه‌گیری شد. زمان مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها با توجه به دبی آب خروجی از لوله‌های تعبیه‌شده برای آبیاری به دست آمد. در کرت‌های مربوط به تیمار کم‌آبیاری، آبیاری تا مرحله شیری انجام شد.

$$D = \sum_{i=1}^{n} (\theta_{fci} - \theta_i)\,\Delta Z_i$$ معادله (۱)

که در آن، D: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i: یک لایه، n: تعداد

لایه‌های خاک، θ_{fci}: محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب)، θ_i: محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب) در i امین لایه خاک و ΔZ_i: ضخامت هر لایه (میلی‌متر) است.

به‌منظور تعیین عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت، دو هفته بعد از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تریتیکاله (ZGS92)، یک ردیف به‌طول یک متر از وسط هر کرت، از سطح خاک بریده شد (۵۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر ردیف کاشت و دو ردیف کناری در هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شدند). به‌منظور یکسان بودن سطح برداشت در کشت مخلوط و خالص، مساحتی مساوی در شرایط کشت خالص و مخلوط تعیین و سپس برداشت شد.

در ابتدای رشد تریتیکاله (ZGS13)، ۱۰ بوته در همه کرت‌ها از یک ردیف مشخص در مرکز کرت علامت‌گذاری شدند، که پنج بوته در مرحله شیری (ZGS75) از سطح خاک برداشت و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت و پس از خشک شدن، وزن خشک کل بوته‌ها اندازه‌گیری شد و با توجه به تراکم بوته در هکتار به کیلوگرم بر هکتار تبدیل شد. پنج بوته باقی مانده در مرحله رسیدگی (ZGS92) از سطح خاک برداشت شدند و وزن خشک اندام‌های هوایی رویشی تریتیکاله (ساقه‌ها، برگ‌ها و کلش مربوط به سنبله) اندازه‌گیری و با توجه به تراکم بوته در هکتار به کیلوگرم بر هکتار تبدیل شد. جهت اندازه‌گیری انتقال مجدد مواد پرورده (کیلوگرم بر هکتار) (معادله ۲)، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده (درصد) (معادله ۳) و مشارکت مواد پرورده انتقال‌یافته از اندام‌های رویشی در دانه (مشارکت مواد پرورده) (درصد) (معادله ۴) از معادله‌های زیر استفاده شده است (Barati & Ghadiri, 2017).

معادله (۲) وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی− وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیری = انتقال مجدد مواد پرورده

معادله (۳) ۱۰۰ × (وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیری/ انتقال مجدد مواد پرورده) = کارآیی انتقال مجدد

معادله (۴)

۱۰۰ × (انتقال مجدد مواد پرورده / عملکرد دانه) = مشارکت مواد پرورده

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام‌های رویشی هوایی در مرحله شیری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک گیاه در زمان شیری معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک اندام رویشی در تیمار کشت مخلوط (۱۰۳۵۴ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد و افزایش ۱۸/۸ درصدی، نسبت به کشت خالص تریتیکاله (۸۷۱۶ کیلوگرم بر هکتار) را نشان داد (جدول ۴). به‌دلیل اینکه رقابت درون گونه‌ای غلات نسبت به رقابت بین گونه‌ای غلات و حبوبات بیشتر است (Pelzer et al., 2014)، در کشت مخلوط با کم شدن تراکم غلات و اضافه شدن حبوبات به الگوی کاشت، رقابت کاهش پیدا می‌کند. علاوه‌بر این، حبوبات به‌دلیل توانایی در تثبیت نیتروژن اتمسفری در خاک، بخشی از نیتروژن را در اختیار غلات قرار می‌دهند و به افزایش رشد اندام‌های رویشی غلات کمک می‌کند (Mazaheri, 1998) که این موضوع در نهایت، منجر به افزایش وزن خشک اندام‌های رویشی تریتیکاله در مرحله شیری شده است. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی نشان داد که کشت مخلوط سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) / لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) باعث افزایش وزن خشک اندام‌های رویشی سورگوم در مرحله گل‌دهی شد (Forsatian et al., 2010).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک گیاه در مرحله شیری معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک اندام رویشی تریتیکاله در مرحله شیری، در تیمار کود تلفیقی (۱۰۸۱۹ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که با تیمار شیمیایی (۱۰۱۸۷ کیلوگرم بر هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان شیری نیز در تیمار کود زیستی−آلی (۷۵۹۸ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد و کاهش ۳۴/۱ و ۴۲/۳ درصدی را در وزن خشک اندام‌های رویشی نسبت به کود شیمیایی و تلفیقی در مرحله شیری نشان داد (جدول ۴). کود حیوانی، عناصر غذایی ازجمله نیتروژن را به‌صورت آهسته رها کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Risse et al., 2006). به نظر می‌رسد که با توجه به نیاز بالای گیاهان خانواده غلات به نیتروژن، این موضوع بر کاهش رشد رویشی تریتیکاله در سامانه کود زیستی−آلی ، نسبت به دیگر سامانه‌های کودی تأثیر داشته و موجب کاهش وزن خشک تریتیکاله در مرحله شیری شده است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان نتیجه گرفت که در سامانه کودی تلفیقی، با کاربرد کود حیوانی، کود نیتروژن به‌مدت طولانی‌تری در خاک باقی می‌ماند و در دسترس ریشه قرار می‌گیرد (Barker, 2016) که این مورد بر رشد رویشی تریتیکاله تأثیر گذاشته و باعث افزایش وزن خشک در زمان شیری به‌طور جزئی نسبت به سامانه کود شیمیایی شده است. کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به‌مقدار زیاد، موجب افزایش رشد اندام‌های رویشی تریتیکاله می‌شود که این موضوع بر افزایش وزن خشک گیاه در زمان شیری مؤثر است. واکنش مثبت رشد رویشی غلات به کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن را سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند. از جمله، براتی و همکاران (Barati & Ghadiri, 2017) در پژوهشی روی جو (*Hordeum vulgare* L.) دو و شش ردیفه، با کاربرد کود نیتروژن به‌طور کامل (۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار) افزایش ماده خشک اندام‌های رویشی در مرحله گل‌دهی را نسبت به کاربرد نیتروژن به‌مقدار نصف نیاز گیاه (۶۰ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده کردند.

جدول ۳ـ تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، الگوهای کاشت و سامانه کودی بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیری، وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی، انتقال مجدد مواد پرورده، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده و مشارکت مواد پرورده تریتیکاله

Table 3- Analysis of variance for the effect of irrigation regime, cropping system and fertilizer system on grain yield, harvest index, dry weight of the shoots at anthesis, dry weight of the vegetative parts of the shoots at maturity, dry matter remobilization, dry matter remobilization efficiency and contribution of pre anthesis assimilate to grain of triticale

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیری Dry weight of the shoots at milking stage	وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی Dry weight of the vegetative parts of the shoots at maturity	انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization	کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization efficiency	مشارکت مواد پرورده Contribution of pre-anthesis assimilate to grain
تکرار Replication	2	23001^{ns}	1.24^{ns}	357749.53^{ns}	418960.21^{ns}	3988.22^{ns}	6.00^{ns}	12.26^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)	1	82716296**	1108.33*	27680751.56^{ns}	12453252.84**	3032822.25*	89.93**	499.52**
خطای (الف) Error (a)	2	252273	12.30	2326742.24	22953.22	35953.18	0.49	9.31
الگوی کاشت Cropping system (Cs)	1	15000516**	140.77**	24132492.50**	9174941.97**	3513000.49**	122.10**	166.84**
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	5751212**	240.68**	34953126.66**	32746200.08**	1438600.11**	268.51**	352.23**
Ir × Cs	1	1029108*	57.08**	2408652.27^{ns}	817487.22^{ns}	431649.00**	47.38*	55.50*
Ir × Fs	2	5141185**	142.47**	730649.13^{ns}	823071.96^{ns}	440590.34**	52.24**	79.76**
Cs × Fs	2	247121^{ns}	2.03^{ns}	1490615.75^{ns}	921385.12^{ns}	73297.57^{ns}	0.52^{ns}	19.53^{ns}
Ir × Cs × Fs	2	116314^{ns}	5.25^{ns}	299444.04^{ns}	225804.96^{ns}	23858.15^{ns}	4.57^{ns}	7.56^{ns}
خطای (ب) Error (b)	20	139990.1	5.00	1670745.3	553239.9	31887.03	8.42	8.46
ضریب تغییرات CV$^{€}$ (%)		7.40	5.83	13.55	9.48	10.53	16.18	8.51

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌داری، €: ضریب تغییرات

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels respectively, ns: Non significant; €: Coefficient of variation

جدول ٤- اثرات آبیاری، الگوی کاشت و سامانه کودی بر وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله شیری و رسیدگی در تریتیکاله

Table 4- Effects of cropping system and fertilizer system on dry weight of the shoots at the anthesis and dry weight of the vegetative parts of the shoots at the maturity of triticale

تیمار Treatment	وزن خشک اندام‌های هوایی رویشی در مرحله شیری Dry weight of the shoots at the milking stage	وزن خشک اندام‌های هوایی رویشی در مرحله رسیدگی Dry weight of the vegetative parts of the shoots at the maturity stage
رژیم آبیاری Irrigation regimes (Ir)	----------(kg.ha^{-1})----------	
آبیاری مطلوب Normal irrigation	10412^{a}	8429^{a}
کم‌آبیاری Deficit irrigation	8658 ^{a}	7253^{b}
الگوی کاشت Cropping system (Cs)		
کشت خالص Sole cropping	8716^{b}	7336^{b}
کشت مخلوط Inter cropping	10353^{a}	8346^{a}
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)		
£شیمیایی Chemical	10187^{a}	8824^{a}
££ تلفیقی Integrated	10819^{a}	8765^{a}
¥ زیستی –آلی Bio-organic	7898^{b}	5934^{b}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

£: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار) ، ££: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) ، ¥: کود زیستی–آلی (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار، تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Dancan multiple range test.

£: Chemical (50 kg P .ha^{-1} and 150 kg N .ha^{-1}), ££: Integrated (25 kg P .ha^{-1}, 75 kg N .ha^{-1} and 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Bio-Organic (40 tons sheep manure ha^{-1} + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

وزن خشک اندام‌های رویشی هوایی در زمان رسیدگی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رژیم آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان رسیدگی در تیمار آبیاری مطلوب (۸۴۲۹ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که به‌واسطه کم‌آبیاری ۱۴ درصد کاهش یافت و به ۷۲۵۴ کیلوگرم بر هکتار رسید (جدول ۴). براساس نتایج سایر پژوهشگران و برخلاف نتایج آزمایش حاضر، تنش‌های ملایم بعد از مرحله گل‌دهی منجر به افزایش انتقال مجدد مواد پرورده در تریتیکاله می‌شود که به نظر می‌رسد این افزایش میزان انتقال مجدد، منجر به کاهش وزن خشک اندام‌های رویشی تریتیکاله شده است. امّا در آزمایش حاضر به‌علت بروز تنش شدید آبی به‌علت قطع آبیاری پس از مرحله شیری، احتمالاً مقدار فتوسنتز کاهش یافته (داده‌ها نشان داده نشده است) و این کاهش تجمع ماده خشک پس از مرحله شیری را کاسته است.

نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی روی چهار رقم گندم نشان داد که وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی کاهش یافت، امّا میزان کاهش در تیمار تنش آبی بیشتر بود (Ahmadi et al., 2004). بیژن زاده و همکاران (Bijanzadeh et al., 2019) در پژوهشی روی تریتیکاله نشان دادند که تنش آبی انتهای فصل بر تولید ماده خشک تأثیر منفی داشت.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام‌های رویشی در زمان رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک اندام رویشی تریتیکاله در مرحله رسیدگی، در الگوی کشت مخلوط (۸۳۴۶ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که افزایش ۱۳/۸ درصدی نسبت به کشت خالص (۷۳۳۶ کیلوگرم بر هکتار) نشان داد (جدول ۴). گزارش‌های متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد، کشت مخلوط عملکرد ماده خشک را نسبت به کشت خالص افزایش می‌دهد که می‌تواند به‌دلیل استفاده بهتر از منابع باشد.

در کشت مخلوط، به‌دلیل تفاوت در عمق قرارگیری ریشه‌های غلات و حبوبات، بهره‌وری مصرف آب بهبود پیدا می‌کند (Mazaheri, 1998) که به نظر می‌رسد این مزیت کشت مخلوط در آزمایش حاضر تأثیر مثبتی بر روی وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی تریتیکاله با توجه به محدودیت منبع آب به‌ویژه در مرحله پرشدن دانه داشته است. از دیگر مزایای کشت مخلوط غلات و حبوبات، می‌توان به افزایش تثبیت نیتروژن در خاک اشاره کرد که می‌تواند رشد رویشی گیاه همراه با حبوبات را نیز تحریک کند و سبب افزایش عملکرد ماده خشک گیاه همراه در مرحله رسیدگی شود (Mazaheri, 1998).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام رویشی در مرحله رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین مقدار وزن خشک اندام رویشی در مرحله رسیدگی در سامانه کودی شیمیایی (۸۸۲۴ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که با تیمار کود تلفیقی (۸۷۶۵ کیلوگرم بر هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار نیز در تیمار کود زیستی-آلی (۵۹۳۴ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد (جدول ۴). پژوهشگران بی‌شماری از جمله بارکر (Barker, 2016) بیان داشته‌اند که رشد رویشی گیاهان از کاربرد نیتروژن تأثیر مثبت می‌پذیرد. در آزمایش حاضر نیز پاسخ مثبت به کاربرد نیتروژن از منابع مختلف روی رشد رویشی تریتیکاله و در نهایت، افزایش وزن خشک اندام‌های رویشی تریتیکاله در مرحله رسیدگی بر نتایج سایر محققان تأکید می‌کند. همچنین، هم‌روند با نتایج آزمایش حاضر، برتری تأثیر سامانه‌های تلفیقی نسبت به شیمیایی و زیستی بر رشد رویشی را سایر پژوهشگران از جمله نیازی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) گزارش کردند. آن‌ها در پژوهشی روی جو، بیشترین وزن خشک اندام‌های رویشی در مرحله رسیدگی را در تیمار کود تلفیقی (۵۰ درصد کود شیمیایی+ تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم*+ بقایا) مشاهده کردند.

انتقال مجدد مواد پرورده

انتقال مجدد ماده خشک و نیتروژن ذخیره‌شده توسط غلات تا مرحله گل‌دهی در آب‌وهوای با الگوی بارش مدیترانه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا عملکرد دانه تا حد زیادی به انتقال مواد پرورده جذب‌شده قبل از گل‌دهی به‌سمت دانه بستگی دارد (Papakosta & Gagianas, 1991). در آزمایش حاضر، برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت در سطح احتمال یک درصد بر انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقدار انتقال مجدد مواد پرورده در تیمار کشت مخلوط (۲۱۸۸ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که ۲۲/۷ درصد نسبت به کشت خالص (۱۷۸۳ کیلوگرم بر هکتار) افزایش داشت. در شرایط کم‌آبیاری نیز بیشترین مقدار این صفت در کشت مخلوط (۱۸۲۷ کیلوگرم بر هکتار) مشاهده شد که ۸۵/۸ درصد نسبت به کشت خالص (۹۸۳ کیلوگرم بر هکتار) برتری داشت (جدول ۵). نتایج پژوهشی روی کشت مخلوط جو و خلر (*Latyrus sativus* L.) (Biswas et al., 2019) نشان داد که کشت مخلوط جو نسبت به کشت خالص آن در شرایط آبیاری مطلوب منجر به افزایش رشد رویشی و انتقال مجدد مواد پرورده جو شد.

کم‌آبیاری منجر به کاهش ۴۴/۸ و ۱۶/۵ درصدی انتقال مجدد مواد پرورده، به‌ترتیب در تیمار کشت خالص و کشت مخلوط شد (جدول ۵). تنش آبی شدید از طریق کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز سبب کاهش تولید ماده خشک شده و در انتقال مواد پرورده از طریق آوند آبکش اختلال ایجاد می‌کند. برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که انتقال مجدد مواد پرورده در سطوح کاهش‌یافته تنش آبی می‌تواند کاهش کمتری را نسبت به تنش آبی شدید (Movludi et al., 2015) نشان دهد. در آزمایش حاضر نیز کاهش کمتر انتقال مجدد مواد پرورده به‌واسطه تنش آبی (کم‌آبیاری) در شرایط کشت مخلوط تریتیکاله با نخود (۱۶/۵ درصد) نسبت به کشت خالص آن (۴۴/۸ درصد) را می‌توان به تفاوت در نحوه گستردگی و عمق ریشه‌های این دو گیاه در نیم‌رخ خاک نسبت داد. این تفاوت باعث تخلیه کمتر آب از لایه سطحی خاک که عمدتاً با ریشه تریتیکاله اشغال شده است، می‌شود. ازاین‌رو بوته‌های تریتیکاله در شرایط کشت مخلوط، تنش آبی کمتری را تجربه می‌کنند. بنابراین، انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله در کشت مخلوط با نخود نسبت به کشت خالص آن، کاهش کمتری را به‌واسطه تنش آبی نشان می‌دهند. در همین راستا، بیژن زاده و همکاران (Bijanzadeh et al., 2019) در پژوهشی روی تریتیکاله نتیجه گرفتند که تنش آبی منجر به کاهش انتقال مجدد مواد پرورده شد. امّا، پژوهشی که به‌طور مشخص روی اثر کشت مخلوط تریتیکاله و حبوبات بر انتقال مجدد مواد پرورده پرداخته باشد، یافت نشد.

جدول ۵- اثر برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت بر انتقال مجدد مواد پرورده، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از مرحله شیری در دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله

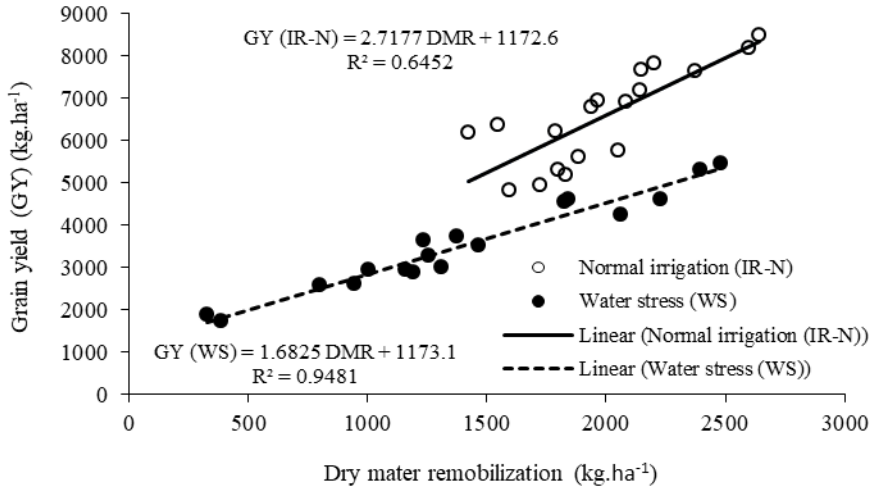
Table 5- Effects of the Ir × Cs interaction on dry matter remobilization, dry matter remobilization efficiency, contribution of pre-milking assimilate to grain, harvest index and grain yield of triticale

Ir × Cs		عملکرد دانه Grain yield	انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization	کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization efficiency	مشارکت مواد پرورده قبل از مرحله شیری در دانه Contribution of pre-milking assimilate to grain	شاخص برداشت Harvest index
		---------- (kg.ha^{-1})----------		----------(%)----------		
مطلوب Normal	کشت خالص Sole cropping	6092^{b}	*1782.6^{b}	18.81^{a}	29.54^{c}	43.18^{a}
	کشت مخلوط Inter cropping	7045^{a}	2188.4^{a}	20.20^{a}	31.36^{c}	44.62^{a}
کم‌آبیاری Deficit irrigation	کشت خالص Sole cropping	2723^{d}	983.1^{c}	13.35^{b}	34.51^{b}	29.57^{c}
	کشت مخلوط Inter cropping	4352^{c}	1826.9^{b}	19.33^{a}	41.30^{a}	36.04^{b}

*میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Dancan multiple range test

برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر انتقال مجدد مواد پرورده معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان انتقال مجدد مواد پرورده در شرایط کاربرد کود تلفیقی و آبیاری مطلوب (۲۲۷۱/۹ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین مقدار در تیمار کود شیمیایی و در شرایط کم‌آبیاری (۸۵۵/۵ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. کم‌آبیاری به‌ترتیب در سامانه‌های کود شیمیایی، تلفیقی و زیستی–آلی منجر به کاهش۵۴/۲، ۱۹/۱ و ۱۶/۰ درصدی شد (جدول ۶) که بیشترین درصد کاهش انتقال مجدد مواد پرورده در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد. کاربرد کود شیمیایی به‌صورت کامل، رشد اندام‌های رویشی تریتیکاله را نسبت به سایر سامانه‌های کودی افزایش بیشتری می‌دهد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). ازآنجاکه افزایش رشد اندام‌های رویشی گیاه به‌ویژه برگ‌ها با میزان تبخیر آب از آن‌ها رابطه مستقیم دارد، در این شرایط افزایش تبخیر آب از سطح گسترش یافته برگ‌ها، رطوبت موجود در خاک را سریع‌تر تخلیه کرده و اثرات منفی تنش آبی روی گیاه بیشتر می‌شود (Barati & Ghadiri, 2016). هر چند تنش‌های ملایم آبی سبب افزایش میزان انتقال مجدد مواد پرورده در غلات می‌شود (Barati & Ghadiri, 2017)، امّا محدودیت شدید آب کاهش انتقال مجدد مواد پرورده را به دنبال خواهد داشت (Bijanzadeh & Emam, 2012). در همین راستا، نتایج حاصل از پژوهش براتی و همکاران (Barati et al., 2021) روی تریتیکاله نشان داد که در شرایطی که از کود شیمیایی نیتروژن به‌مقدار بالا (۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار) استفاده شود، وقوع تنش آبی بعد از مرحله گل‌دهی، با کاهش شدید میزان مواد فتوسنتزی، انتقال مجدد مواد پرورده و در نتیجه، کاهش عملکرد دانه همراه خواهد بود. کاهش کمتر انتقال مجدد مواد پرورده در تیمارهای تلفیقی در مقایسه با تیمار شیمیایی به‌واسطه تنش آبی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب نیز توسط سایر پژوهشگران روی گیاه جو (Niazi Ardakani et al., 2021) گزارش شده است. برتری کود تلفیقی و زیستی–آلی در شرایط تنش آبی را می‌توان به اثرات تعدیل‌کنندگی تنش آبی در این تیمارها به‌واسطه حضور باکتری‌های تنظیم‌کننده رشد و مواد آلی اضافه‌شده به خاک از طریق کود حیوانی نسبت داد. سایر پژوهشگران نیز اثرات مثبت باکتری‌های تنظیم‌کننده رشد و مواد آلی در کاهش سطح تنش آبی را (Niazi Ardakani et al., 2021) گزارش کرده‌اند. عملکرد دانه در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی رابطه خطی مثبت و مستقیم (به‌ترتیب $R^2 = 0.65$ و $R^2 = 0.95$) با انتقال مجدد مواد پرورده نشان داد (شکل ۲). نیازی اردکانی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2021) در پژوهشی دریافتند که عملکرد دانه جو و انتقال مجدد مواد پرورده صرف نظر از تیمارهای کود نیتروژن، رابطه مستقیمی در شرایط تنش آبی نشان دادند.



شکل ۲-رابطه بین عملکرد دانه و انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله

Fig. 2- Relationship between grain yield and dry mater remobilization of triticale

جدول ٦- اثر برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی بر انتقال مجدد مواد پرورده، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده، مشارکت مواد پرورده قبل از گل دهی در دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه تریتیکاله

Table 6- Effects of Ir × Fs interaction on dry matter remobilization, dry matter remobilization efficiency, contribution of pre-milking assimilate to grain, harvest index and grain yield of triticale

Ir × Fs		انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization	کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده Dry matter remobilization efficiency	عملکرد دانه Grain yield	مشارکت مواد پرورده قبل از مرحله شیری در دانه Contribution of pre-milking assimilate to grain	شاخص برداشت Harvest index
		---------- (kg.ha^{-1})----------			----------(%)----------	
مطلوب Normal	£شیمیایی Chemical	1870.50^{b}	16.81^{b}	6970^{b}	26.68^{d}	43.00^{a}
	££ تلفیقی Integrated	2271.90^{a}	18.98^{ab}	7449^{a}	30.40^{c}	43.48^{a}
	¥ زیستی-آلی Bio-organic	1814.25^{b}	22.71^{a}	5287^{c}	34.28^{b}	45.23^{a}
کم‌آبیاری Deficit irrigation	£شیمیایی Chemical	855.50^{d}	8.85^{c}	2758^{f}	29.21^{cd}	24.23^{d}
	££ تلفیقی Integrated	1836.05^{b}	18.53^{b}	4190^{d}	43.21^{a}	34.38^{c}
	¥ زیستی -آلی Bio-organic	1523.60^{c}	21.65^{ab}	3663^{e}	41.28^{a}	39.80^{b}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

£: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار) ، ££: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) ، ¥: کود زیستی -آلی (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار، تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using Dancan multiple range test.

£: Chemical (50 kg P ha^{-1} and 150 kg N ha^{-1}), ££: Integrated (25 kg P ha^{-1}, 75 kg N ha^{-1} and 20 tons ha^{-1} of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Bio- organic (40 tons sheep manure ha^{-1} + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده

برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت در سطح احتمال پنج درصد بر کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده در الگوی کشت خالص (۱۸/۸۱ درصد) و کشت مخلوط (۲۰/۲۰ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشتند. امّا در شرایط کم‌آبیاری، کارآیی انتقال مجدد در

الگوی کشت مخلوط (۱۹/۳۳ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از الگوی کشت خالص (۱۳/۳۵ درصد) بود (جدول ۵). بررسی بیشتر این برهم‌کنش نشان داد که کم‌آبیاری منجر به کاهش ۲۹/۰ و ۴/۳ درصدی کارآیی انتقال مجدد به‌ترتیب در تیمار کشت خالص و کشت مخلوط شد (جدول ۵). در الگوی کشت مخلوط، به‌دلیل اینکه وزن خشک اندام‌های رویشی تریتیکاله در زمان شیری نسبت به کشت خالص بیشتر بود، کارآیی انتقال مجدد نیز تحت شرایط کم‌آبیاری کاهش کمتری پیدا کرد. محاویه اسعدی و بیژن‌زاده (Mohavieh Asadi & Bijanzadeh, 2021) در پژوهشی بر روی کشت مخلوط جو/ نخود، بیشترین درصد کارآیی انتقال مجدد جو را در شرایط تنش آبی و تیمار کشت مخلوط به دست آوردند.

برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده معنی‌دار بود (جدول ۳). در آبیاری مطلوب و کم‌آبیاری، بیشترین کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده، با کاربرد کود زیستی–آلی (به‌ترتیب ۲۲/۷۱ و ۲۱/۶۵ درصد) به دست آمد (جدول ۶). در آزمایش حاضر، کم‌آبیاری موجب کاهش میزان کارآیی انتقال مجدد در همه تیمارهای کودی شد، امّا مقدار کاهش‌ها متفاوت بود. کم‌آبیاری منجر به کاهش ۴/۶، ۲/۳ و ۴۷/۳ درصدی کارآیی انتقال مجدد به‌ترتیب در تیمارهای زیستی–آلی، تلفیقی و شیمیایی شد (جدول ۶). بیشترین درصد کاهش کارآیی انتقال مجدد به‌واسطه کم‌آبیاری در تیمار کاربرد کود شیمیایی (۴۷/۳ درصد) مشاهده شد. کمترین کاهش مقدار انتقال مجدد به‌واسطه کم‌آبیاری در تیمار کود تلفیقی (۲/۳ درصد) به دست آمد. براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2017) در پژوهشی روی جو دو ردیفه و شش ردیفه نتیجه گرفتند که با کاربرد سطح بالای کود نیتروژن، کارآیی انتقال مجدد مواد پرورده کاهش می‌یابد. همچنین، در راستای نتایج پژوهش حاضر، پژوهش دیگری (Barati et al., 2021) نشان داد که تنش آبی، کارآیی انتقال مجدد ماده خشک را در تمام سطوح کاربرد کود نیتروژن کاهش می‌دهد. در این پژوهش نشان داده شد که بیشترین و کمترین کاهش به‌ترتیب در تیمارهای کود شیمیایی نیتروژن و کود تلفیقی (۵۰ درصد کود شیمیایی+ تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*+ کود حیوانی) مشاهده شد.

مشارکت مواد پرورده انتقال‌مجددیافته در دانه

برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت در سطح احتمال پنج درصد بر مشارکت مواد پرورده تریتیکاله معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین میزان مشارکت مواد پرورده در کشت مخلوط (۳۱/۳۶ درصد) به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با کشت خالص (۲۹/۵۴ درصد) نداشت (جدول ۵). همچنین، در شرایط کم‌آبیاری، بیشترین مشارکت مواد پرورده در تیمار کشت مخلوط (۴۱/۳۰ درصد) به دست آمد که تفاوت معنی‌داری را با کشت خالص (۳۴/۵۱ درصد) نشان داد. بررسی برهم‌کنش از زاویه‌ای دیگر نشان داد که کم‌آبیاری سبب افزایش میزان مشارکت مواد پرورده در هر دو الگوی کشت خالص (۱۶/۸ درصد) و مخلوط (۳۱/۷ درصد) نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد (جدول ۵). هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، برخی دیگر از پژوهشگران نیز نشان داده‌اند که الگوی کشت مخلوط سبب کاهش رقابت درون گونه‌ای شده و ملایم شدن سطح تنش آبی انتهای فصل را به دنبال دارد (Mazaheri, 1998). تنش آبی شدید به‌دلیل تأثیر منفی بر انتقال مواد پرورده در آوند آبکش، سبب کاهش مشارکت آن در دانه می‌شود. در پژوهشی مشابه (Mohavieh Asadi & Bijanzadeh, 2021)، بیشترین درصد مشارکت مواد پرورده جو در تیمار کشت مخلوط با نخود تحت تنش آبی به دست آمد. در این راستا براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2017) بر روی ارقام جو، افزایش مشارکت ماده پرورده در مرحله گل‌دهی را با کاهش شدت تنش آبی مشاهده کردند.

برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی در سطح احتمال یک درصد بر مشارکت مواد پرورده تریتیکاله معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طور کلی، دسترسی بیشتر به نیتروژن که در آزمایش حاضر با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن وجود داشت سبب کاهش میزان مشارکت در هر دو شرایط رطوبتی شد (جدول ۶). در همین راستا، پژوهش‌های انجام‌شده روی گیاه جو در سامانه‌های کودی و سطوح آبیاری مختلف نشان داد که با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، مشارکت مواد پرورده نسبت به عدم استفاده از کود نیتروژن (تیمار زیستی) کاهش می‌یابد (Barati & Ghadiri, 2016). در شرایط کم‌آبیاری، بیشترین مشارکت مواد پرورده در تیمار کود تلفیقی (۴۳/۲۱ درصد) مشاهده شد که با تیمار زیستی–آلی (۴۱/۲۸ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقدار مشارکت مواد پرورده در تیمار زیستی–آلی (۳۴/۲۸

درصد) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای تلفیقی و شیمیایی بود. کم‌آبیاری منجر به افزایش ۲۰/۴، ۴۲/۱ و ۹/۴ درصدی میزان مشارکت مواد پرورده به‌ترتیب در سامانه‌های کود زیستی–آلی ، تلفیقی و شیمیایی شد (جدول ۶). نیازی اردکانی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) نیز در پژوهشی روی گیاه جو، بیشترین مشارکت مواد پرورده را در تیمار تنش آبی و عدم کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به دست آوردند. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که کاربرد باکتری *آزوسپیریلوم* به‌صورت تلفیقی با کود نیتروژن، در کاهش اثرات منفی تنش آبی موفق بوده و منجر به افزایش مشارکت مواد پرورده شده است. در آزمایش حاضر، کمترین میزان افزایش مشارکت مواد پرورده به‌واسطه تنش آبی نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی در سامانه کود شیمیایی (۹/۴ درصد) مشاهده شد. می‌توان گفت که کاربرد کود شیمیایی در شرایط تنش آبی منجر به افزایش شدت تنش آبی و در نتیجه، کاهش انتقال مجدد و مشارکت ماده پرورده می‌شود.

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. کم‌آبیاری سبب کاهش ۵۵/۳ و ۳۸/۲ درصدی عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط شد (جدول ۵). در تیمار آبیاری مطلوب، عملکرد دانه تریتیکاله در کشت مخلوط (۷۰۴۵ کیلوگرم بر هکتار) به‌طور معنی‌دار و به‌میزان ۱۵/۶ درصد بیشتر از کشت آن به‌صورت خالص (۶۰۹۲ کیلوگرم برهکتار) بود. در شرایط کم‌آبیاری نیز الگویی مشابه با شرایط آبیاری مطلوب برای تریتیکاله وجود داشت و بیشترین عملکرد دانه تریتیکاله در تیمار کشت مخلوط (۴۳۵۲ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد که به‌طور معنی‌داری و به‌میزان ۵۹/۸ درصد بیشتر از کشت خالص تریتیکاله (۲۷۲۳ کیلوگرم بر هکتار) بود (جدول ۵).

با توجه به اینکه در هر دو شرایط آبیاری (مطلوب و تنش)، عملکرد تریتیکاله در تیمار کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص بوده است، به نظر می‌رسد که این امر به‌دلیل جوانه‌زنی سریع‌تر تریتیکاله نسبت به نخود بوده که سبب برتری رقابتی در مراحل ابتدایی زندگی تریتیکاله نسبت به نخود و غالبیت این گیاه در سایر مراحل زندگی آن‌ها شده است. در این شرایط، تریتیکاله در استفاده از آب و عناصر غذایی خاک، از نخود پیشی گرفته و این اختلاف فاز در رشد دو گیاه سبب تولید سطح برگ بیشتر، استفاده کاراتر از نورخورشید و بنابراین فتوسنتز، زیست‌توده و در نهایت ،عملکرد دانه بیشتر تریتیکاله شده است.

همچنین در تأیید این بحث، برخی دیگر از پژوهشگران (Pelzer et al., 2014) نیز اثبات کرده‌اند که کاهش رقابت درون گونه‌ای غلات در شرایط کشت مخلوط با حبوبات، در کنار برتری رقابتی غلات نسبت به حبوبات (کمتر بودن رقابت بین گونه‌ای) سبب افزایش عملکرد غلات در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن شده است. براساس نتایج آزمایش حاضر، اعمال تنش آبی (کم‌آبیاری) عملکرد دانه تریتیکاله را کاهش داد، امّا این کاهش در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط آن بیشتر بود (به‌ترتیب ۵۵ و ۳۸ درصد) (جدول ۵). این نتیجه به‌طور عمومی نشان می‌دهد که در شرایط تنش آبی به‌دلیل افزایش سطح رقابت در مزرعه بر سر یک محدودیت جدی (کمبود آب) نسبت به شرایط مطلوب، کاهش عملکرد دانه را خواهیم داشت، امّا چون در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود ریشه‌های تریتیکاله افشان و سطحی بوده و ریشه‌های نخود در عمق پروفایل خاک فرو رفته‌اند (Mazaheri, 1998)، عملاً به‌دلیل جذب آب از دو عمق متفاوت، سطح رقابت نسبت به کشت خالص کاهش خواهد یافت و این کاهش میزان رقابت سبب کاهش کمتر عملکرد دانه تریتیکاله به‌واسطه تنش آبی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمار - کود تلفیقی (۷۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار) و شیمیایی (۶۹۷۰ کیلوگرم بر هکتار) به دست آمد. امّا در شرایط کم‌آبیاری، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمار کود تلفیقی (۴۱۹۰ کیلوگرم بر هکتار) و زیستی–آلی (۳۶۶۳ کیلوگرم برهکتار) به دست آمد (جدول ۶). نیازی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) نیز در پژوهشی نتیجه گرفتند که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، بیشترین عملکرد جو در تیمار کود تلفیقی (تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم* و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) مشاهده شد.

بررسی این برهم‌کنش از منظری دیگر نشان داد که کم‌آبیاری منجر به کاهش ۶۰/۴ ، ۴۳/۷ و ۳۰/۷ درصدی عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمارهای شیمیایی، تلفیقی و زیستی–آلی نسبت به شرایط

مطلوب رطوبتی شد (جدول ۶). با توجه به کاهش کمتر عملکرد دانه به‌واسطه کم‌آبیاری در تیمار زیستی–آلی نسبت به آبیاری مطلوب (۳۰/۷ درصد)، می‌توان نتیجه گرفت که حضور باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد در تیمار زیستی–آلی سبب تحریک رشد ریشه‌ها و بنابراین، جذب بیشتر آب در شرایط تنش آبی و کاهش پیامدهای تنش آبی از جمله محدودیت عملکرد دانه شده است. از طرفی، وجود کود دامی در تیمار زیستی–آلی به‌واسطه ایجاد تخلل بیشتر و در نتیجه، ایجاد شرایط هوازی برای فعالیت این باکتری‌ها و همچنین به‌عنوان منبع کربوهیدرات برای تغذیه آن‌ها سبب افزایش اثرات مثبت باکتری‌ها در رشد ریشه‌ها شده است. علاوه‌بر این، کود دامی به‌عنوان ماده آلی سبب افزایش پتانسیل ماتریک و بنابراین، افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک شده و اثرات تنش آبی را برای گیاه و باکتری‌ها کاهش داده است (Singh et al., 2011).

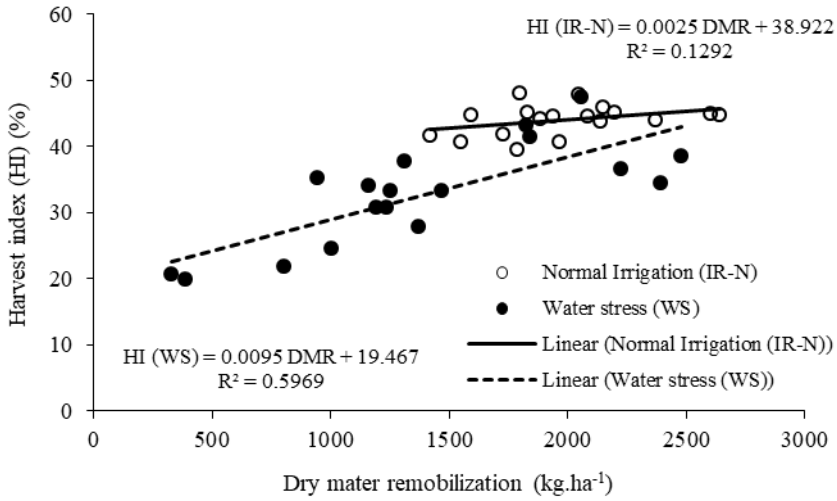
در مقابل، بیشترین کاهش عملکرد دانه به‌واسطه کم‌آبیاری، در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد (جدول ۶). کاهش بیشتر عملکرد دانه تحت تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب در تیمار کود شیمیایی را می‌توان به پدیده "Haying-off" نسبت داد (Van Herwaarden, 1996). چنین به نظر می‌رسد که در شرایطی که از کود شیمیایی به‌مقدار زیادی استفاده شود، به‌دلیل تولید بیشتر زیست‌توده و افزایش سطح برگ، میزان تعرق از سطح برگ افزایش یافته و نیم‌رخ خاک سریع‌تر از رطوبت تخلیه می‌شود، و گیاه در انتهای فصل با تنش آبی شدیدتری مواجه می‌شود. در نتیجه، فتوسنتز کاهش یافته و به‌دنبال آن عملکرد دانه نیز کاهش می‌یابد (Barati & Ghadiri, 2016). برخی دیگر از آزمایشات در مورد تریتیکاله (Barati & Bijanzadeh., 2020) و جو (Niazi Ardakani et al., 2020) نیز یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند.

شاخص برداشت

شاخص برداشت در شرایط مطلوب رطوبتی و کم‌آبیاری (تنش آبی) رابطه خطی مثبت و مستقیم (به‌ترتیب $R^2 = 0.13$ و $R^2 = 0.60$) با انتقال مجدد مواد پرورده نشان داد (شکل ۳). برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت بر شاخص برداشت تریتیکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت تریتیکاله (۴۴/۶ درصد) در شرایط آبیاری مطلوب و کشت مخلوط به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کشت خالص تریتیکاله (۴۳/۱ درصد) نداشت. کمترین میزان شاخص برداشت نیز در تیمار کشت خالص تریتیکاله تحت شرایط کم‌آبیاری (۲۹/۵ درصد) به دست آمد (جدول ۵). کم‌آبیاری، شاخص برداشت تریتیکاله را در هر دو الگوی کاشت تغییر داد، امّا این کاهش متفاوت بود. بیشترین کاهش شاخص برداشت در تیمار کشت خالص (۳۱/۵ درصد) و کمترین میزان کاهش در تیمار کشت مخلوط (۱۹/۲ درصد) مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی روی کشت مخلوط نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) با بقولات نشان داد که بیشترین شاخص برداشت نیشکر در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی و کمترین میزان شاخص برداشت آن، در کشت خالص نیشکر به دست آمد (Ehsani Pour et al., 2020).

برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی بر شاخص برداشت تریتیکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت تریتیکاله، تحت آبیاری مطلوب و تیمار کود زیستی به‌میزان ۴۵/۲ درصد به دست آمد. کمترین مقدار آن نیز در شرایط کم‌آبیاری و کاربرد کود شیمیایی به‌مقدار۲۸/۱ درصد مشاهده شد (جدول ۶). برخی از پژوهشگران (Bahari Saravi & Pirdashti, 2013)، بیشترین شاخص برداشت را در مطالعه‌ای بر روی گندم و با کاربرد کود زیستی نیتروکسین و برخی دیگر از پژوهشگران (Nasiri et al., 2019) با کاربرد کود تلفیقی (شیمیایی + زیستی) در این گیاه به دست آوردند. کم‌آبیاری شاخص برداشت را در تیمارهای کودی زیستی–آلی، تلفیقی و شیمیایی به‌ترتیب به‌مقدار ۱۶/۳، ۲۰/۹ و ۳۴/۶ درصد نسبت به آبیاری مطلوب کاهش داد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش براتی و غدیری (Barati & Ghadiri, 2016) در شرایط تنش آبی و دسترسی بالا به کود نیتروژن، شاخص برداشت جو نسبت به آبیاری مطلوب کاهش بیشتری را نسبت به سایر مقادیر نیتروژن، نشان داد. نتایج پژوهشی روی گیاه جو زمستانه نشان داد که کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن، پنجه‌زنی جو را افزایش می‌دهد، امّا این پنجه‌ها تعداد دانه کمتری نسبت به ساقه اصلی تولید می‌کنند که این موضوع در نهایت، باعث کاهش در شاخص برداشت جو می‌شود (Sieling et al., 1998). در این مورد، ون هروردن (Van Herwaarden, 1996) استفاده از ارقامی که پنجه زنی کمتری دارند را پیشنهاد کرده است. دسترسی زیاد به نیتروژن منجر به رشد سریع و تولید زیاد زیست‌توده غلات می‌شود و درصورتی‌که غلات با تنش آبی پس از گل‌دهی مواجه شوند، در معرض خطر "Haying-off" قرار

می‌گیرند که در این شرایط پرشدن دانـه غـلات به‌صـورت نـاقص در شرایط کاربرد سطوح بالای کود نیتروژن و وقوع تنش آبی سبب افـت شاخص برداشت خواهد شد (Van Herwaarden et al. 1998).



شکل ۳- رابطه بین شاخص برداشت و انتقال مجدد مواد پرورده تریتیکاله

Fig. 3- Relationship between harvest index and dry mater remobilization of triticale

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که کم‌آبیـاری (تـنش آبی)، عملکرد دانه را در همه تیمارهای کودی کاهش داد، امّا کمترین درصد کاهش عملکرد دانه تریتیکاله، با کاربرد کود زیستی–آلی (۳۰/۷ درصد) به دست آمد. کم‌آبیاری، انتقال مجدد مـواد پـرورده و کـارآیی انتقال مجدد تریتیکاله را نیز کاهش داد، که کمتـرین میـزان کـاهش به‌ترتیب (۱۶/۵ و ۴/۳ درصد) در الگوی کشت مخلوط مشـاهده شـد. همچنین کمترین میزان کـاهش انتقـال مجـدد تریتیکالـه در شـرایط کم‌آبیاری نسبت به آبیاری مطلوب با کاربرد کود زیسـتی–آلـی (۱۶/۰ درصد) و همچنین در مورد کارآیی انتقال مجدد با کاربرد کود تلفیقـی (۲/۳ درصد) به دست آمد. کم‌آبیاری باعث افـزایش میـزان مشـارکت مواد پرورده تریتیکاله در همه تیمارها شـد، کـه بیشـترین افـزایش در تیمار الگوی کشت مخلوط (۴۱/۳ درصد) و در بین سامانه‌های کودی، با کاربرد کود تلفیقی (۴۲/۱ درصد) بـه دسـت آمـد. بنـابراین، کـاربرد سامانه‌های کود زیستی–آلی و تلفیقـی در شـرایط کم‌آبیـاری انتهـای فصل برای مناطق جنوبی ایران با آب و هوای گرم وخشـک پیشـنهاد می‌شود.

References

1. Ahmadi, A., Siosemardeh, A., & Zali, A.A. (2004). Comparison of storage capacity and transfer of photosynthetic materials and their contribution to yield in four wheat cultivars under optimal irrigation conditions and drought stress. *Agricultural Science of Iran*, *35*(4), 921-931. (In Persian with English abstract).
2. Arseniuk, E. (2015). Triticale abiotic stresses—An overview. Triticale, p. 69-81.
3. Bahari Saravi, S.H., & Pirdashti, H.A. (2013). Evaluation of application of plant growth promoting bacteria (PGPR) and phosphate solvent (PSM) on yield and yield components of wheat (cultivar N80) at different levels of nitrogen and phosphorus in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(4), 681-689. (In Persian with English abstract).
4. Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). Grain yield and its components of triticale as affected by silicon foliar application, nitrogen fertilizer and water stress in reproductive phase. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *18*(4), 435-449. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.88386

5. Barati, V., & Ghadiri, H. (2016). Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and grain protein content of two barley cultivars. *Journal of Crop Production and Process*, *6*(20), 191-207. (In Persian with English abstract). http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.191
6. Barati, V., & Ghadiri, H. (2017). Assimilate and nitrogen remobilization of six-rowed and tworowed winter barley under drought stress at different nitrogen fertilization. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *63*(6), 841-855. https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1238075
7. Barati, V., Bijanzadeh, E., & Zinati, Z. (2020). Nitrogen source and deficit irrigation influence on yield and nitrogen translocation of triticale in an arid mediterranean agroecosystem. *Journal of Agricultural Science and Technology, 22*(5), 1295-1311. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2020.22.5.13.7
8. Barker, A.V. (2021). *Science and Technology of Organic Farming*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
9. Bhattacharyya, P.N., & Jha, D.K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28*(4), 1327-1350. https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-011-0979-9#citeas
10. Bijanzadeh, E., & Emam, Y. (2012). Evaluation of assimilate remobilization and yield of wheat cultivars under different irrigation regimes in an arid climate. *Archive of Agronomy and Soil Science, 58*(11), 1243-1259. https://doi.org/10.1080/03650340.2011.584215
11. Bijanzadeh, E., Barati, V., Emam, Y., & Pessarakli, M. (2019). Sowing date effects on dry matter remobilization and yield of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) under late season drought stress. *Journal of Plant Nutrition, 42*(7), 681-695. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1568463
12. Biswas, S., Jana, K., Khan, R., Agrawal, R.K., & Puste, A.M. (2019). Periodic dry matter accumulation and crop growth rate of oat and *Lathyrus* as influenced by integrated nutrient management in intercropping systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 8*(8), 2675-2686. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.808.310
13. Ehsani Pour, A., Abbasdokht, H., Gholipoor, M., & Abdali Mashhadi, A. (2020). Effect of biofertilizers on crop yield in intercropping of sugarcane and legumes. *Iranian Journal of Field Crop Science, 51*(4), 85-99. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.283922.654619
14. Figueiredo, M.V.B., Burity, H.A., Martinez, C.R., & Chanway, C.P. (2008). Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. *Applied Soil Ecology, 40*(1), 182-188. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.04.005
15. Forsatian, S.A., Majnoun Hosseini, N., Hosseini, S.M.B., & Mohammadi, V.A. (2010). A study of the effect of sorghum intercropping with cowpea and soybean on yield of fodder sorghum. *Iranian Journal of Field Crop Science, 3*(40), 143-150. (In Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1388.40.3.14.0
16. Mazaheri, D. (1998). *Intercropping*. Tehran University Publications, Tehran, Iran.
17. Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2019). Evaluation of seed yield and competitive indices in relay intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under late season water stress. *Journal of Agroecology*, *11*(3), 1169-1182. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.79532
18. Mohavieh Assadi, N., & Bijanzadeh, E. (2021). Evaluation of biochemical traits and dry matter remobilization of barley (*hordeum vulgare* l.) in relay intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under deficit water stress conditions. *Journal of Crop Prodoction and Process, 11*(2), 65-78. (In Persian with English abstract). http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.11.2.32412
19. Movludi, A., Ebadi, A., & Davari, M. (2015). Effect of nitrogen application on dry matter and nitrogen remobilization of spring barley under water deficit conditions. *Journal of Crop Production, 7*(4), 123-142. (In Persian with English abstract).
20. Nasiri, Y., Musavi Zadeh, S.A., & Asadi, M. (2019). Effect of application of livestock, biological and chemical fertilizers on yield, yield components and some morphological characteristics of wheat. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(1), 313-328. (In Persian with English abstract).
21. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). The effect of application of nitrogen fixation bacteria and plant residues on dry matter remobilization and yield of barley under water stress after anthesis. *Environmental Stresses in Crop Science, 14*(1), 47-62. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2500.1656

22. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2021). Uptake and nitrogen remobilization of barley under deficit irrigation in presence of plant residue and *Azospirillum* bacteria. *Journal of Plant Production Research*, *28*(1), 45-64. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2020.17071.2566
23. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2020). Effects of different nitrogen fertilizer sources and crop residues on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season water stress. *Journal of Agroecology*, *14*(1), 41-62. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v12i1.79989
24. Papakosta, D.K., & Gagianas, A.A. (1991). Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal*, *83*(5), 864-870. https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050018x
25. Pelzer, E., Hombert, N., Jeuffroy, M.H., & Makowski, D. (2014). Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal-legume intercrop production. *Agronomy Journal*, *106*(5), 1775-1786. https://doi.org/10.2134/agronj13.0590
26. Rashidipour, I., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2023). Evaluation of competitive indices and grain yield of triticale (*X Triticosecale* Wittmack) – chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping as affected by bio-organic fertilizer and water stress. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 403-425. https://doi.org/10.22067/agry.2022.76290.1107
27. Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S.C. (2021). Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(1), 49-68. https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-020-00342-7#citeas
28. Risse, L.M., Cabrera, M.L., Franzluebbers, A.J., Gaskin, J.W., Gilley, J.E., Killorn, R., Radcliffe, D.E., Tollner, W.E., & Zhang, H. (2006). Land application of manure for beneficial reuse. *Biology Systems Engineering*, pp. 283-316. https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/65
29. Sieling, K., Schroder, H., Finck, M., & Hanus, H. (1998). Yield, N uptake and apparent N use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. *Journal of Agricultural Science*, *13*, 375-387. https://doi.org/10.1017/S0021859698005838
30. Singh, J.S., Pandey, V.C., & Singh, D.P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture Ecosystems and Environment*, *140*(3-4), 339-353. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017
31. Van Herwaarden, A.F. (1996). Haying-off in wheat, enduring myth or current problem. In Proceedings of the 8th Australian Agronomy Conference. CSIRO. ASA, Australia.
32. Van Herwaarden, A.F., Farquhar, G.D., Angus, J.F., Richards, R.A., & Howe, G.N. (1998). Haying-off, the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research*, *49*, 1067-1081. https://doi.org/10.1071/A97039
33. Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & SkZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiology Research*, *184*, 13-24. https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003
34. Zadoks, J.C., Chang, T.T., & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, *14*, 415-421. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x