تأثير التلقيح بالمايكوريزا والسماد الفوسفاتي تحت ظروف الإجهاد المائي في محتوى أوراق الفول السوداني *(Arachis hypogaea L.)* من بعض العناصر الغذائية الكبرى

هبه شمس الدين [1] سمير شمشم[2] فادي عباس [3]

(1). طالبة دكتوراه في قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص. حمص، سورية. Lamar.shamss@gmail.com

(2). أستاذ في قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص. حمص، سورية.

(3). مدير بحوث في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، مركز بحوث حمص. سورية.fadiab77@gmail.com

الملخص:

نفذ البحث خلال موسمي النمو 2023، 2024 في مركز البحوث العلمية الزراعية في حمص – سورية، التابع للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية على صنف الفول السوداني ساحل، بهدف دراسة تأثير التلقيح بالمايكوريزا والتسميد الفوسفاتي في محتوى أوراق نبات الفول السوداني من العناصر الغذائية NPK تحت ظروف الإجهاد المائي خلال مرحلتي الإزهار وتشكل القرون.

أظهرت النتائج أن التلقيح بالمايكوريزا أدى إلى زيادة معنوية في محتوى الأوراق من NPK خلال موسم 2024، بينما اقتصر تأثيره في موسم 2023 في زيادة محتوى النتروجين فقط. أما التسميد الفوسفاتي فقد كان تأثيره غير معنوي في موسم 2023، بينما ظهر تأثير معنوي في موسم 2024 حيث حققت المعاملات المختلفة أفضل النتائج لكل من النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم على التوالي.

وكانت المعاملات المثلى كما يلي:

P3 (120كغ/هـ): أفضل محتوى للنتروجين.

P2 (60كغ/هـ): أعلى محتوى للفوسفور.

P1(0-كغ/هـ): أعلى محتوى للبوتاسيوم.

أظهرت معاملات الإجهاد المائي تأثيرًا معنويًا في زيادة محتوى الأوراق من النتروجين خلال موسم2024، في حين لم تسجل فروق معنوية في باقي العناصر ولا في موسم 2023.

تشير هذه النتائج إلى فعالية التلقيح بالمايكوريزا والتسميد الفوسفاتي المتوازن في تعزيز تغذية النبات وتحسين مقاومته للإجهاد المائي.

الكلمات المفتاحية: المايكوريزا، السماد الفوسفاتي، الإجهاد المائي، الفول السوداني، NPK.

Effect of Mycorrhizal Inoculation and Phosphorus Fertilization Under Water Stress Conditions on the Nutrient Content (NPK) in Leaves of Peanut (*Arachis hypogaea L.)*

Abstract:

The study was conducted during the 2023 and 2024 growing seasons at the Agricultural Scientific Research Center in Homs, Syria, affiliated with the General Commission for Scientific Agricultural Research. The experiment was carried out on the peanut cultivar "Sahel" with the aim of investigating the effect of mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization on the nutrient content (NPK) in peanut leaves under water stress conditions during the flowering and pod formation stages.

The results showed that mycorrhizal inoculation led to a significant increase in leaf NPK content during the 2024 season, whereas in 2023, its effect was limited to an increase in nitrogen content only. On the other hand, phosphorus fertilization had no significant effect in 2023, while in 2024, it showed a significant impact, achieving the best results for nitrogen, phosphorus, and potassium content, respectively.

The optimal treatments were as follows:

P3 (120 kg/ha): Highest nitrogen content

P2 (60 kg/ha): Highest phosphorus content

P1 (0 kg/ha): Highest potassium content

Water stress treatments had a significant effect on increasing leaf nitrogen content during the 2024 season, whereas no significant differences were recorded for the other nutrients or in the 2023 season.

These findings indicate the effectiveness of mycorrhizal inoculation and balanced phosphorus fertilization in enhancing plant nutrition and improving tolerance to water stress.

Keywords
Mycorrhiza, Phosphorus Fertilization, Water Stress, Peanut, NPK.

المقدمة والدراسة المرجعية:

يُعد الفول السوداني *Arachis hypogaea* L. الذي ينتمي للفصيلة البقولية Fabaceae أو Leguminosae من المحاصيل الزيتية والغذائية التي نشأت في أمريكا الجنوبية، خاصة في البرازيل، وينمو ضمن نطاق بيئي واسع في مختلف أنحاء العالم (Abady *et al*., 2021). وتتجلى أهمية محصول الفول السوداني في استخدام بذوره وزيته في تغذية الإنسان، إذ يُقارَب بروتينه بالبروتين الحيواني لاحتوائه على جميع الأحماض الأمينية الضرورية للإنسان، كما تُعد الكسبة الناتجة عن عصر البذور علفاً مركزاً للحيوان، وله أيضاً أهمية زراعية، إذ يُسهم في الدورة الزراعية من خلال تحسين خواص التربة واستعادة خصوبتها المستنفدة، نتيجة تثبيت الآزوت الجوي بواسطة العقد البكتيرية الموجودة على جذوره (مهنا والشباك، 2010). وعلى الرغم من هذه الأهمية، تعاني زراعة الفول السوداني من عدة مشكلات، أبرزها انخفاض الإنتاجية في وحدة المساحة وتراجع نوعية البذور، وذلك رغم وجود دراسات محلية عديدة تناولت هذا المحصول (عبد العزيز، 2006؛ عبد العزيز، 2007؛ مهنا وآخرون، 2009؛ Abd Elaziz *et al*., 2013).

يحتل الفول السوداني المركز الرابع عالمياً بين المحاصيل البذرية الزيتية من حيث المساحة والإنتاج، ويأتي في المرتبة الرابعة بين مصادر إنتاج الزيت بعد فول الصويا والقطن والكانولا (اللفت الزيتي) وفقاً لتقارير وزارة الزراعة الأميركية (USDA, 2023). وتُعد قارة آسيا أكبر منتج لهذا المحصول إذ تسهم بنحو نصف الإنتاج العالمي (FAO, 2019). بلغت المساحة المزروعة في سورية بالفول السوداني عام 2022 حوالي 6494 هكتار، أعطت 19008 أطنان من القرون الجافة، بمردودية بلغت 2927 كغ/هـ، وقد بلغت مساحة زراعة الفول السوداني في محافظة

حمص 420 هكتار، بإنتاج قدره 797 طناً من القرون، ومردودية بلغت 1898 كغ/هـ، وهي الأدنى مقارنةً بالمناطق الرئيسة لزراعة الفول السوداني في سورية (الغاب وطرطوس)، (المجموعة الإحصائية الزراعية السورية، 2022). ويعود ذلك إلى عوامل عديدة من أهمها تعرض حمص لموجات من الجفاف وقلة مياه الري في الأعوام الأخيرة.

يُعد الفوسفور من العناصر الأكثر أهمية للمحاصيل البقولية، ومنها الفول السوداني، وتبرز أهميته لدوره الحيوي في عملية تثبيت الآزوت الجوي التي تتطلب طاقة ATP. لذا، في الترب الفقيرة بالفوسفور، يكون تشكل العقد الجذرية ضعيفاً، مما يؤدي إلى تراجع حيوية النبات وقدرته، وقد ينعدم تشكل العقد نهائياً في حال نقص الفوسفور (Islam *et al*., 2012 ;العيسى 2006). تحتاج المحاصيل البقولية إلى كميات من الفوسفور تفوق ما تحتاجه المحاصيل الأخرى، وذلك لتحقيق نمو مثالي وإنتاجية أعلى (Gitari and Mureithi, 2003). ويعد انخفاض مستوى الفوسفور المتاح في التربة من أبرز معوّقات نمو والتطور المحاصيل البقولية (Wally *et al*., 2005). إذ تعاني البقوليات عندما تزرع في تربة فقيرة بالفوسفور المتاح، لذا، فإن توفير كميات كافية منه يسهم في رفع الإنتاجية. ويتمثل دور الفوسفور في تحفيز تشكل العقد الآزوتية على الجذور، والمساهمة في تثبيت الآزوت الجوي، إلى جانب زيادة كفاءة امتصاص العناصر المغذية، وتعزيز فعالية نقل نواتج التمثيل الضوئي من المصدر إلى المصب، مما يؤدي زيادة كمية المادة الجافة (الكتلة الحيوية) (Ogola *et al*., 2012).

يتمتع الفول السوداني بقدرة عالية على تثبيت الآزوت الجوي، ما يساهم في خفض تكاليف الإنتاج عن طريق تقليل الإضافات السمادية (Taurian *et al*., 2006).

أشار Muhammad وآخرون (2023) إلى أن التسميد الفوسفاتي يعزز نمو الجذور والعقد الجذرية مما يتيح للنبات البحث في مساحة أوسع من التربة للحصول على الرطوبة والعناصر الغذائية ومناطق توافر النتروجين،

أظهرت دراسة

كما أوضح Tekulu[1] وآخرون (2020) في تجربتهم حول تأثير معدلات الأسمدة الآزوتية والفوسفاتية في محصول الفول السوداني ومحتوى النتروجين المتبقي في التربة. أن التطبيق المشترك ل 15 كغ /هـ من النتروجين و46 كغ /هـ من P_2O_5 أدى إلى زيادة في إنتاجية القرون

بنسبة 85.4% مقارنة بالمعاملة بدون تسميد، وأظهرت النتائج أن التسميد الفوسفاتي والآزوتي ساعدا على زيادة إنتاجية بذور الفول السوداني وتحسين نوعيتها، بالإضافة إلى تحسين محتوى التربة من النترات بعد الحصاد.

وجد الحسن وآخرون (2013) في دراستهم حول تأثير التسميد العضوي على إسهام المايكوريزا في امتصاص نبات الذرة الصفراء لبعض العناصر المغذية، أن التسميد الفوسفاتي زاد من محتوى النبات من الفوسفور بغض النظر عن نوع التربة. كما أن التداخل بين التسميد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا أدى إلى زيادة معنوية في محتوى النبات من البوتاسيوم K والنتروجين N، وكذلك في الكمية الكلية المتراكمة في المجموع الخضري.

لاحظ Rakshitو Bhadoria (2010) في دراستهما على نبات الذرة الصفراء أن محتوى الأوراق من الفوسفور ارتفع في الترب المسمدة بمعدلات عالية من الفوسفور والملقحة بالمايكوريزا مقارنةً بالترب المسمدة بمعدلات منخفضة وغير الملقحة.

يعد التسميد الحيوي باستخدام الفطريات الجذرية mycorrhizal أحد البدائل المستدامة للأسمدة الكيماوية، إذ يسهم في زيادة إتاحة الماء والعناصر الغذائية للنبات، وخاصة الفوسفور (العيسى، 2007؛ Popescu and Popescu., 2022)

تُقيم المايكوريزا Mycorrhizae علاقة تعايشية مع جذور العديد من النباتات الوعائية في الظروف الطبيعية، وهي علاقة مفيدة تُحسّن من نمو النبات العائل وصفاته الفسيولوجية، وتزيد من مقاومته للأمراض والإجهادات البيئية مثل الصقيع والجفاف والملوحة. وتبقى هذه العلاقة قائمة طيلة حياة النبات (العيسى، 2007؛ Smith and Read,2008) إذ تُساعد المايكوريزا النبات على امتصاص الماء وبعض العناصر المغذية كالفوسفور، بينما يمدُّها النبات بالكربوهيدرات، والأحماض الأمينية، ومواد معقدة أخرى(Morton *et al*.,2001 ; العيسى، 2007)

تؤدي فطريات المايكوريزا دوراً مهماً في تحسين الخصائص البيولوجية والكيميائية للنباتات في بيئة مجهدة. وتشير معظم التقارير إلى وجود تأثير إيجابي للتلقيح المايكوريزي في نمو النباتات في التربة الملوثة بالمعادن (Khosro *et al*., 2011; Rodríguez-Echeverría *et al*., 2023)

تساهم المايكروريزا بشكل ملحوظ في زيادة مقاومة النبات للإجهاد المائي من خلال تعزيز قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء وتحسين نقل العناصر المغذية إلى الجذور (Toro *et al.*, 1997; Pozo *et al.*, 1999;).

تتميز النباتات الملقحة بالمايكوريزا بكفاءتها في استخدام المياه (Popesc and Popescu.,2022)، كما تسهم فطريات المايكوريزا في زيادة امتصاص العناصر المغذية من التربة وخاصة الآزوت والفوسفور، مما يعزز النمو الفسيولوجي للنبات وتراكم المادة الجافة (Li *et al.*, 2015; Popesc and Popescu, 2022; Li *et al.*, 2023) حيث أن الدراسات الحديثة أكدت أن معدل التمثيل الضوئي يزيد عند تلقيح النباتات بالمايكوريزا، مما يعزز من نموها وتراكم المادة الجافة (Sharif *et al.*, 2011;).

أكد الحمداني (2000) أن التلقيح بالمايكوريزا يساهم في زيادة محتوى النبات من النتروجين.

وجد Smith وآخرون (2003) أن انخفاض معدل تزويد النبات للمايكوريزا بنواتج التمثيل الضوئي يؤدي إلى انخفاض كمية الفوسفور الممتصة من قبل النبات.

لاحظ Ryan وAngus (2003) زيادةً في الكمية المتراكمة من الفوسفور في المجموع الخضري في نباتي القمح والبازلاء المزروعين في تربة فقيرة بالفوسفور وذلك بتأثير التسميد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا.

أكد Grant وآخرون (2005) أن تأثير المايكوريزا يكون أكثر بروزاً في النظم الزراعية ذات الإضافات السمادية المنخفضة، حيث يمكن أن يعمل الإستخدام المكثف للأسمدة الفوسفاتية على الحد من نمو المايكوريزا واستعمارها للجذور النباتية، على الرغم أن ارتفاع محتوى التربة من الفوسفور المتاح يزيد من تركيز الفوسفور في أنسجة النبات، إلا أنه يؤثر سلبا في نشاط المايكوريزا ويقلص دورها في تغذية النبات.

وجد شلاش (2008) في دراسته على نبات القمح أن زيادة معدل التسميد الفوسفاتي أدى إلى خفض النسبة المئوية لمكرزة الجذور، مما أثر سلبا في محتوى النبات من العناصر الغذائية.

لاحظ عودة وآخرون (2011) في دراستهم حول تأثير التسميد العضوي والتلقيح بالمايكوريزا في كفاءة امتصاص نبات الذرة الصفراء للفوسفور وإنتاجه للمادة الجافة، أن التلقيح بالمايكوريزا سبب انخفاضاً في محتوى النبات من الفوسفور وإنتاجية النبات من المادة الجافة، وذلك بغض النظر عن نوع التربة المستخدمة وخصائصها (الفقيرة والغنية والمتوسطة المحتوى من الكربونات الكلية)

حيث كان محتوى التربة من الفوسفور المتاح في التربة الفقيرة بالكربونات الكلية 97.6 ppm وفي التربة متوسطة المحتوى من الكربونات 59.2 ppm وفي التربة الغنية بالكربونات 47 ppm

لاحظ الحسن وآخرون (2013) في دراستهم حول تأثير التسميد العضوي على إسهام المايكوريزا في امتصاص نبات الذرة الصفراء لبعض العناصر المغذية، أن التلقيح بالمايكوريزا أدى إلى انخفاض غير معنوي في محتوى أوراق نبات الذرة من الفوسفور في التربة الغنية بكربونات الكلية والكلس الفعال، وهي التربة التي تحتوي بشكل أساسي على الفوسفور47 ppm وذلك بخلاف التربة ذات المحتوى الأقل من الكربونات الكلية والكلس الفعال ذات المحتوى من الفوسفور المتاح 59.2 ppm و97.6 ppm. كما أن التداخل بين المايكوريزا والتسميد الفوسفاتي أدى إلى رفع محتوى الأوراق من الفوسفور.

أوضحت الدراسة التي أجراها Adinuraniوآخرون (2021) حول تأثير التلقيح بالمايكوريزا والريزوبيوم في إنتاجية نبات الفول السوداني، أن تطبيق الريزوبيوم مع المايكوريزا معاً كان له تأثير كبير في ارتفاع النبات، وعدد الأوراق، ومحتوى الأوراق من NPK، وعدد العقد الجذرية، ووزن القرون الطازجة للنبات. وأكد إلى أن هذا التطبيق يمكن أن يعزز من امتصاص. NPK

أثبتت التجارب التي قام بها كلا من Bouskout وآخرون (2022) في دراستهم حول دور التلقيح بالمايكوريزا في تحسين نمو وتطور نبات القبار الشائك تحت ظرف الاجهاد المائي، أن التلقيح بالمايكوريزا حسن من الصفات المورفولوجية للنبات، كما زادت من قدرته على امتصاص العناصر الغذائية من التربة، خاصةً (P و K + و Mg2 + و Fe2 + Zn2) و وذلك في ظروف الإجهاد المائي المعتدل والشديد. وأكدت الدراسة على أن التلقيح بفطر المايكوريزا يعد استراتيجية بيئية فعالة لتحسين معدل نمو شتلات القبار وتحملها للجفاف في البيئات القاسية.

أشار Badranو Kbibo (2023) إلى أن أن التداخل بين التلقيح بالمايكوريزا ومسحوق الصخر الفوسفاتي زاد من امتصاص العناصر المغذية، وبالتالي ازداد المحتوى الكلي من الفوسفور في نباتات الذرة الصفراء.

يتعرض محصول الفول السوداني في مناطق إنتاجه للعديد من الإجهادات اللاحيوية، خاصة نقص المياه، مما يتسبب في خسائر في الإنتاج، وتتباين هذه الخسارة حسب شدة وطول فترة الإجهاد وحسب مرحلة نمو النبات (Alexander *et al.*, 2021).

يتوقف تأثير الجفاف في النبات على شدة الإجهاد، ووقت حدوثه وطول مدة تعرض النبات له، وكذلك بحسب مرحلة نمو النبات (Sinhababu and Rup Kumar, 2003). وعادةً ما يتم دراسة نوع واحد من الإجهادات في البحوث التقليدية وتأثيره على النبات، إلا أن الإجهاد المائي في الفول السوداني يؤثر ويتأثر بالمجهدات البيئية الأخرى والمجهدات الحيوية (Choudhary *et al.*, 2017).

عندما يتعرض نبات الفول السوداني للإجهاد المائي بعد 45-30 يوماً من الزراعة، فإن الأزهار التي تتشكل في الإزهار الأول للنبات لا تعقد. لكن الأزهار التي تتشكل بعد زوال عامل الإجهاد فإنها تعوض عن الخسارة التي تحدث. أما عندما يتعرض الفول السوداني للإجهاد خلال مرحلة تشكل القرون فإن ذلك يؤدي إلى خسارة كبيرة في الغلة، كما تنخفض نوعية الزيت الناتج عنه (Jogloy *et al.*, 1996).

وجد مهنا وصقر(2016) أن نبات الفول السوداني يتحمل الجفاف في المراحل الأولى للنمو وكذلك في المراحل المتأخرة من النضج، إلا أنه لا يتحمل نقص المياه في مراحل الإزهار وتشكل القرون. كما يؤدي الإجهاد المائي إلى تخفيض المحتوى المائي النسبي في الأوراق ويتراجع معدل ظهور الأوراق وينخفض عددها (Kawakami *et al.*, 2006). كما وجدت عرب وآخرون (2021) أن أكثر مراحل الفول السوداني حساسية لنقص الماء كانت مرحلتي الإزهار وتشكل القرون، وأقل المراحل حساسية التفرع وتشكل البذور.

اختبر Htoonوآخرون (2014) أثر الإجهاد في نهاية موسم النمو في امتصاص طرز من الفول السوداني للعناصر المغذية، وأظهرت النتائج أن الإجهاد في نهاية مرحلة النمو قد خفض وبشكل معنوي من امتصاص العناصر المغذية، خاصةً الفوسفور مما أثر سلباً في الغلة، كما لوحظ وجود علاقة ارتباط إيجابية ومعنوية بين امتصاص العناصر المغذية وكل من الغلة الحيوية وغلة القرون تحت الظروف المجهدة والظروف غير المجهدة، وفي هذا السياق أكد Kolay (2008) أن الإجهاد المائي في فترات الإزهار وتشكل القرون وتطورها يسبب انخفاضاً في غلة القرو

ن، ويؤثر أيضاً في امتصاص العناصر المغذية خاصة الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم.

وجد El-Boraie وآخرون (2009) أن الإجهاد المائي أثر بشكل سلبي في نمو الفول السوداني، وخاصة في مراحل الإزهار وتشكل القرون، مما أدى إلى خسارة في الإنتاج.

مبرارات وأهداف البحث:

تعد إنتاجية الفول السوداني في سورية منخفضة مقارنةً بدول العالم ويعود ذلك إلى العديد من الأسباب وأهمها على الإطلاق الجفاف وما ينتج عنه من انخفاض كمية المياه المخصصة للري. ومع وجودالعديد من الدراسات التي تفيد أنه يمكن تحسين تحمل الفول السوداني للإجهاد من خلال تطبيق بعض الملقحات الحيوية كالمايكوريزا، فضلاً عن دورها في تحسين خصوبة التربة وتقليل الاحتياجات السمادية من الفوسفور للمحصول مما يسهم في التخفيض من تكاليف الإنتاج.

تتجلى أهمية هذه الدراسة بأنها تتماشى مع التوجه العام الداعي إلى تحقيق التنمية المستدامة من خلال المحافظة على المياه كأحد أهم الموارد الطبيعية التي ترتكز عليها مساعي تحقيق التنمية الزراعية.

بناءً على ما سبق هدف البحث إلى:

دراسة تأثير التلقيح المايكوريزا والسماد الفوسفاتي والإجهاد المائي في محتوى أوراق نبات الفول السوداني من الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم.

مواد البحث وطرائقه:Materials and Methods

نفذ البحث خلال العام 2023 – 2004 في مركز البحوث العلمية الزراعية في حمص التابع للهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية على صنف الفول السوداني ساحل، وهو صنف مائدة ساقه نصف مفترشة، قرنه متوسط ذو بذرتين متوسطتي الحجم، بلون وردي، متوسط إنتاجيته من القرون 4550 كغ/هـ.

يقع مركز بحوث حمص على خط عرض 33.44 وخط طول 36.42 ويرتفع عن سطح البحر 485 م. ويبين الجدول (1) متوسط درجات الحرارة العظمى والصغرى وكمية الهطول المطري خلال موسمي الزراعة 2023 – 2004.

جدول (1). الظروف المناخية السائدة في موقع الزراعة خلال الموسمين 2023، 2024

الأشهر	2023			2024		
	متوسط الحرارة العظمى مْ	متوسط الحرارة الدنيا مْ	مجموع الهطول الشهري مم	متوسط الحرارة العظمى مْ	متوسط الحرارة الدنيا مْ	مجموع الهطول الشهري مم
نيسان	21.16	9.79	32.0	25.46	13.05	22.0
أيار	27.24	13.64	3.2	26.33	15.30	20.6
حزيران	30.30	18.86	0	35.80	21.45	0
تموز	34.70	22.20	0	33.56	23.38	0
أب	34.97	23.00	0	33.41	23.03	0
أيلول	32.70	20.36	0.7	32.32	19.85	0
تشرين الأول	28.29	16.73	22.3	27.98	17.52	0

تم تحليل خصائص التربة قبل الزراعة في موسمي 2023 – 2004، ويبين الجدول (2) أبرز خواصها.

أظهرت النتائج أن التربة في موسم 2023 كانت طينية، متوسطة المحتوى من المادة العضوية، خفيفة القلوية. فقيرة بكربونات الكالسيوم، ومتوسطة المحتوى من البوتاسيوم وجيدة المحتوى من الآزوت، وفقيرة بالفوسفور المتاح.

أما في موسم 2024 فقد كانت التربة طينية أيضاً، جيدة المحتوى من المادة العضوية، خفيفة القلوية، منخفضة المحتوى من كربونات الكالسيوم، غنية بالآزوت المعدني، ذات محتوى جيد من الفوسفور والبوتاسيوم المتاحين.

الجدول (2) التحليل الميكانيكي والكيميائي لتربة الموقع في الموسمين 2023، 2024

	2023	2024
رمل %	22.0	23.3
سلت %	20.4	18.0

طين %	57.6	58.7
Nمعدنيppm	18.6	26.23
Pمتاحppm	8.6	11.4
K متاح ppm	178.0	260.25
B متاح ppm	0.41	0.3
pH	7.45	7.48
EC1:5Mmos/cm	0.14	0.1
$\%CaCO_3$	0.42	4.61
% OM	1.2	2.41

معاملات التجربة:

العامل الأول: الإجهاد المائي (S) وتمثلت هذه المعاملة بقطع مياه الري مدة ثلاثة أسابيع خلال مرحلتي الإزهار (S2) وتشكل القرون (S3) بحيث تم الري عند هاتين المرحلتين عند الوصول لرطوبة 60% من السعة الحقلية بالإضافة إلى شاهد تم ريه طيلة موسم النمو (S1) عند مستوى الرطوبة 80% من رطوبة السعة الحقلية.

العامل الثاني: التسميد الفوسفاتي(P): بثلاثة مستويات حيث تم باستخدام سماد سوبر فوسفات ثلاثي 46% P_2O_5 بثلاثة معدلات P1: 0، P2: 60 كغ/هكتار، P3: 120 كغ/هكتار. وتمت الإضافة بحساب الكمية المقابلة لهذه المعدلات لكل قطعة تجريبية قبل تخطيط التجربة دفعة واحدة.

العامل الثالث: التلقيح بالمايكوريزا (M): وتمثلت هذه المعاملة بتلقيح بذار الفول السوداني (M2) باستخدام الفطر *Glomus* (منتج مرخص من وزارة الزراعة) بمعدل 100غ لقاح مع كل 1 كغ من البذار إذ تمّ التلقيح بخلط بذور الفول السوداني مع اللقاح بالماء المقطر وإضافة السكر لضمان التصاق اللقاح بالبذور وتركت لمدة نصف ساعة قبل الزراعة (Brundrett and Juniper, 1995)، بالإضافة لمعاملة الشاهد المتمثلة بزراعة بذور معقمة وغير ملقحة (M1).

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي:

صممت التجربة وفق تصميم القطاعات المنشقة لمرتين حيث توضعت معاملات الإجهاد في القطع الرئيسة، ومعاملات التسميد الفوسفاتي في القطع المنشقة من الدرجة الأولى، ومعاملات التلقيح بالمايكوريزا في القطع المنشقة من الدرجة الثانية.

عدد المعاملات:3 مستويات ري ×3 مستويات تسميد × معاملتي تلقيح= 18 معاملة، وكل معاملة تكرر ثلاث مرات فيكون عدد القطع التجريبية 18 × 3 = 54 قطعة تجريبية.

المسافة بين الخطوط 70 سم، وبين النباتات على الخط نفسه 30 سم، عدد الخطوط في القطعة التجريبية 4 خطوط، طول الخط 3 م، مساحة القطعة التجريبية 8.4 م^2، ومساحة التجربة المزروعة فعلياً 54 × 8.4 = 453.6 م^2 بدون المسافات الفاصلة.

تم تحليل مصادر التباين (ANOVA) للعوامل الأساسية والتفاعل بينها، لكافة الصفات التي شملتها الدراسة وتقدير أقل فرق معنــوي (L.S.D) عند مستوى المعنوية 5%، وكذلك حســاب معامل الاخــتلاف (C.V)%، باستخدام البرنامج الإحصائي Gen.Stat v.12.

العمليات الزراعية:

تمَّ تجهيز الأرض للزراعة بإجراء حراثة خريفية رئيسية، تلتها حراثة ثانية في فصل الربيع، أضيفت الأسمدة الفوسفاتية وفقاً مخطط التجربة، والأسمدة البوتاسية وفقاً للتوصية السمادية الخاصة بمحصول الفول السوداني. بعد ذلك، تم تخطيطُ التربة (الزراعة على خطوط)،

نفذت الزراعة في أواخر شهر آذار خلال كلا الموسمين، حيث وضعت بذرتين في كل جورة ثم تم الترقيع والتفريد حسب الحاجة خلال أسبوع بعد الإنبات.

أجريت عملية الري بطريقة الراحة على خطوط بعد طَمر البذار بشكلٍ جيّد، وتم تنظيم عدد ومواعيد الريات وفقاً لمعاملات التجربة المعتمدة. تم الحصاد عند ظهور علامات النضج والتي تمثلت باصفرار الأوراق السفلية وتحول لون القرون إلى البني، وذلك في نهاية الشهر العاشر، أي بعد مرور 7 أشهر تقريباً من الزراعة.

التحاليل الكيميائية للعينات النباتية:

تم جمع العينات النباتية من المجموع الخضري من خمس نباتات من كل قطعة تجريبية في بداية مرحلة النضج، وتم تجفيفها في الفرن على درجة حرارة 60–70 م° حتى ثبات الوزن ثم تم طحنها وتحليلها لتقدير مايلي:

- محتوى أوراق نبات الفول السوداني من الآزوت الكلي N بطريقة كلداهل . (Walsh and Beaton.,1973)
- محتوى أوراق نبات الفول السوداني من الفوسفور الكلي بجهاز سبكتروفوتومتر باستخدام كاشف بارتون (Walsh and Beaton.,1973).
- محتوى أوراق نبات الفول السوداني من البوتاسيوم الكلي بواسطة جهاز التحليل الطيفي باللهب (Tandon,2005).

النتائج والمناقشة:

تأثير التلقيح بالمايكوريزا ومعدل السماد الفوسفات والإجهاد المائي في محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت والفوسفور والبوتاس:

تحليل التباين المشترك:

يبين الجدول رقم (3) تأثير العوامل المدروسة في محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت والفوسفور والبوتاس في كل من الموسمين الزراعيين2023 ، 2004 بالإضافة إلى متوسط الموسمين.

في الموسم الأول 2023:

لم يكن للإجهاد المائي تأثير معنوي في محتوى أوراق الفول السوداني من العناصر الغذائية NPK، ولم يكن لمعدل السماد الفوسفاتي تأثير معنوي في محتوى أوراق الفول السوداني من العناصر الغذائية NPK، في حين أثرت معاملة التلقيح بالمايكوريزا تأثير معنوي ($P\leq0.05$) في زيادة محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت Nمن 0.87% عند التلقيح بالمايكوريزا إلى 1.04% عند عدم التلقيح (الجدول4) ولكن لم يكن لها تأثير معنوي في محتوى أوراق الفول السوداني من البوتاسيوم K والفوسفور P.

أظهرت بعض التداخلات بين المعاملات تأثيراً معنوياً ($P\leq0.05$) في زيادة محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت N مثل التداخل بين معاملة الإجهاد ومعدل السماد الفوسفاتي حيث بلغت أعلى قيم لها عند الإجهاد في مرحلة تشكل القرون ومعدل التسميدP1 وP3(1.38%–1.39%) (الجدول 7). وبالنسبة للتداخل الثلاثي المشترك S*P*M، حيث سجلت أعلى قيمة لها عند المعاملة (التسميد P3 و والتلقيح بالمايكوريزا وإجهاد في مرحلة تشكل القرون) 1.39%، وعند المعاملة (التسميد P1 و والتلقيح بالمايكوريزا وإجهاد في مرحلة تشكل القرون)1.38%

(الجدول7)، في حين كان تأثير التداخل الثنائي (التلقيح× الإجهاد) عالي المعنوية ($P\leq0.01$) حيث تفوقت معاملات التلقيح بالمايكوريزا عند الإجهاد في مرحلتي الإزهار وتشكل القرون عن معاملات عدم التلقيح عند نفس مراحل الإجهاد حيث تراوحت قيمها بين(1.39%−1.08%) (الجدول7)، ولم يكن للتداخل الثلاثي المشترك بين المعاملات أي تأثير معنوي في محتوى أوراق نبات الفول السوداني من الفوسفور P والبوتاسيوم K في هذا الموسم.

في الموسم الثاني 2024:

أما في موسم 2024 كان لمعاملة الإجهاد المائي تأثير عالي المعنوية ($P\leq0.01$) في زيادة محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت N، حيث ارتفع من 1.32% في معاملة الشاهدS1 إلى 1.64% و1.68% في معاملتي الإجهاد خلال مرحلتي الإزهار S2 وتشكل القرون S3على التوالي (الجدول 5) بينما لم تسجل فروق معنوية في محتوى الأوراق من الفوسفور Pوالبوتاسيوم K.

أثر معدل السماد الفوسفاتي معنوياً ($P\leq0.05$) في زيادة محتوى الأوراق من الآزوت N حيث بلغ أعلى تركيز له في المعاملة P3 (1.64%) مقارنةً ب P2 (1.48%) و (1.35%) عند P1(الجدول 5)، كما أدى إلى نقصان محتوى الأوراق من البوتاسيوم K ليكون الأدنى في المعاملة P2(0.62%) مقابل (0.65%) في P1 و(0.64%) في P3، كما كان تأثيره عالي المعنوية ($P\leq0.01$) في زيادة محتوى الأوراق من الفوسفور P ولكن إلى حد معين حيث سجل أعلى تركيز للفوسفور في P1 (0.14%) ثم انخفض في P3 إلى (0.11%).

أثرت معاملة التلقيح بالمايكوريزا تأثيراً معنوياً ($P\leq0.05$) في زيادة محتوى الأوراق من الآزوت N من (1.52%) بدون تلقيح بالمايكوريزا إلى (1.57%)، والفوسفور P من (0.12%) إلى (0.14%)، كما كان تأثيرها عالي المعنوية ($P\leq0.01$) في زيادة محتوى الأوراق من البوتاسيوم K. من (0.62%) إلى (0.65%) (جدول 5).

كان للتداخل بين معاملتي الإجهاد والفوسفور تأثيراً معنوياً في زيادة محتوى الأوراق من الآزوت N حيث سجلت معاملة الإجهاد في مرحلة الإزهار مع التسميدP2 أعلى قيمة (1.94%)، كما أظهر التأثير المعنوي ذاته في الفوسفور والبوتاسيوم حيث بلغت القيم 0.15% و0.68% على التوالي في معاملة الإجهاد عند الإزهار مع التسميد P3والتلقيح (جدول5 و9). في حين كان تأثير

التداخل بين معاملتي التلقيح والإجهاد معنوياً في زيادة محتوى الأوراق من الآزوت Nحيث بلغت أعلى قيمة عند عدم التلقيح عند الإجهاد في مرحلتي الإزهار وتشكل القرون تراوحت بين (1.88%و1.94%)، وعند الإجهاد في مرحلة تشكل القرون والإزهار عند التلقيح بالمايكوريزا وتراوحت بين (1.64% و1.80%) (جدول 5)، بينما لم يكن لهذا التدخل تأثير معنوي في محتوى الأوراق من الفوسفور. وكان التداخل الثلاثي (S*P*M) تأثير عالي المعنوية في زيادة محتوى الأوراق من الآزوت N وحيث سجلت أعلى قيمة 1.94% في معاملة (بدون تلقيح وتسميدP2 وإجهاد في مرحلة الإزهار) كما كان تأثيره معنوياً في زيادة محتوى الأوراق من الفوسفورP إلى 0.17% (معاملة التلقيح والتسميد P1 وري كامل)، وفي زيادة البوتاسيوم إلى 0.68% (معاملة التلقيح وp3 وإجهاد في مرحلة الإزهار) (جدول 7و8 و9).

متوسط الموسمين 2023، 2024:

بنتيجة متوسط الموسمين كان للإجهاد المائي تأثير معنوي ($P\leq0.05$) في زيادة محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت، حيث ارتفع من 1.10% في الشاهد إلى 1.34% في الإجهاد بمرحلة الإزهار و1.31% في مرحلة تشكل القرون (جدول 6)، بينما لم يكن له تأثير معنوي في الفوسفور أو البوتاسيوم.

كذلك الأمر بنتيجة متوسط الموسمين، كان لمعدل السماد الفوسفاتي تأثير معنوي ($P\leq0.05$) في محتوى الأوراق من الفوسفورP فقط حيث سجل أعلى تركيز عند P1 (0.16%) ، وانخفض تدريجياً عند P2 إلى 0.15 %ووصل إلى أدنى قيمة عند 0.14% عندP3(جدول6).

كما كان تأثير معاملة التلقيح بالمايكوريزا معنوياً ($P\leq0.05$) في زيادة محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت من 1.20% (بدون التلقيح بالمايكوريزا) إلى 1.31% (مع التلقيح) في متوسط الموسمين (جدول 6)، دون تأثير معنوي في محتوى الفوسفور أو البوتاسيومN .

بالنسبة لمتوسط تأثير التداخل بين المعاملات في محتوى أوراق نبات الفول السوداني فقد كان للتداخل (S*P*M) تأثير معنوي في زيادة محتوى الأوراق من الآزوت N حيث بلغ أعلى تركيز 1.59% في معاملة (تلقيح ومعدل تسميد P1 وإجهاد في مرحلة تشكل القرون)، مقابل أدنى تركيز 0.88% في معاملة (بدو تلقيح و P2 و إجهاد في مرحلة تشكل القرون) (جدول7)، بينما لم يكن لبقية . التداخلات بين المعاملات أي تأثير معنوي في محتوى أوراق نبات الفول السوداني من

العناصر الغذائية NPK. مما يشير إلى أن تأثير أحد العوامل يعتمد على مستوى تغير العامل الآخر.

جدول (3) تحليل التباين للمؤشرات المدروسة في الموسمين 2023، 2024

مصدر التباين		N	P	K
الموسم الأول 2023	الإجهاد S	NS	NS	NS
	السماد الفوسفاتيP	NS	NS	NS
	المايكوريزاM	*	NS	NS
	S*P	*	NS	NS
	S*M	**	NS	NS
	P*M	NS	NS	NS
	S*P*M	*	NS	NS
مصدر التباين		N	P	K
الموسم الثاني 2024	الإجهاد S	**	NS	NS
	السماد الفوسفاتيP	*	**	*
	المايكوريزاM	*	*	**
	S*P	*	*	**
	S*M	*	NS	*
	P*M	NS	NS	NS
	S*P*M	**	*	*
مصدر التباين		N	P	K
متوسط الموسمين 2023، 2024	الإجهاد S	*	NS	NS
	السماد الفوسفاتيP	NS	*	NS
	المايكوريزاM	*	NS	NS
	S*P	NS	NS	NS

	S*M	NS	NS	NS
	P*M	NS	NS	NS
	S*P*M	*	NS	NS

تأثير العوامل المستقلة:

في الموسم الأول 2023:

يوضح الجدول رقم (4) تأثير الإجهاد المائي ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا بشكل مستقل في محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم في الموسم الأول.

1. تأثير الإجهاد المائي (S):

لم تكن هناك فروق معنوية بين معاملات الإجهاد المائي بالنسبة لمحتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت N حيث تراوحت بين 0.89 و1.03 %، والفوسفور التي تراوحت بين 0.17 و0.18 %، والبوتاس 0.77− 0.99%.

2. تأثير معدل السماد الفوسفاتي:

لم تكن هناك فروق معنوية بين معدلات السماد الفوسفاتي بالنسبة لمحتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت N حيث تراوحت بين 0.90 و0.97 %، والفوسفور التي تراوحت بين 0.17 و0.18 %، والبوتاس 0.77− 0.99%.

3. تأثير التقيح بالمايكوريزا:

تفوقت معاملة التلقيح بالمايكوريزا مقارنةً بمعاملة الشاهد (بدون تلقيح) في تأثيرها في محتوى أوراق نبات الفول السوداني من الآزوت فقط حيث بلغت (1.04%) في حين كانت المعاملة بدون تلقيح (0.87%)، وهذا يخالف ما وصل إليه الحسن وآخرون (2013) الذي لاحظ أن التلقيح بالمايكوريزا لم يكن له تأثير ملموس في محتوى أوراق نبات الذرة الصفراء من الآزوت، في حين تتفق النتائج مع (Duadas et al.,2022) الذي أكد أن التلقيح بالمايكوريزا يؤدي دوراً في التأثير على عمليات النترجة الجارية في التربة حيث تسهم المايكوريزا في زيادة الآزوت المعدني المتاح، مما يحسن من قدرة النبات على امتصاصه وبالتالي ينعكس إيجاباً على محتوى الأوراق من الآزوت.

في المقابل لم يكن للتلقيح بالمايكوريزا أي تأثير ملموس في محتوى الأوراق من كلاً من الفوسفور والبوتاسيوم (جدول، 4).

جدول (4) تأثير العوامل المستقلة (الإجهاد ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا) في محتوى الأوراق من الآزوت والفوسفور والبوتاس % في الموسم الأول 2023

المعاملات	N	P	K
معاملة الإجهاد المائي			
S1: شاهد	0.89	0.17	0.77
S2: مرحلة الإزهار	1.03	0.18	0.79
S3: مرحلة القرون	0.94	0.18	0.78
$LSD_{0.05}$	0.144NS	0.018NS	0.017NS
معدل السماد الفوسفاتي			
P1 : 0 كغ/هكتار	0.99	0.18	0.79
P2 : 60 كغ/هكتار	0.90	0.17	0.77
P3: 120 كغ/هكتار	0.97	0.17	0.78
$LSD_{0.05}$	0.144NS	0.018NS	0.017NS
التلقيح بالمايكوريزا			
M - شاهد	0.87^{b}	0.17	0.78
M + تلقيح	1.04^{a}	0.17	0.78
$LSD_{0.05}$	0.117	0.015NS	0.014NS

في الموسم الثاني 2024:

يوضح الجدول رقم (5) تأثير الإجهاد المائي ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا بشكل مستقل في محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم في الموسم الثاني.

1. تأثير الإجهاد المائي (S):

تبين وجود تأثير معنوي للإجهاد المائي في محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت N حيث تفوقت معاملات الإجهاد المائي في مرحلة الإزهار ومرحلة تشكل القرون (1.64%، 1.68%)

مقارنةً بمعاملة الشاهد المروي (1.32%)، وهذا يتفق مع (Kawakami *et al*., 2006) الذي أكد أن الإجهاد المائي يؤدي إلى تخفيض المحتوى المائي النسبي في الأوراق وبالتالي يزيد من تركيز بعض العناصر مثل الآزوت. أو بسبب أن الإجهاد قد يؤدي إلى تعطيل بعض عمليات التمثيل الغذائي (Saleh *et al*., 2017) مما يؤدي إلى تراكم بعض المركبات الآزوتية في الأوراق مثل الأحماض الأمينية وهذا يتفق مع (Ranganayakulu and Sivakumar, 2015) الذي أكد أن النبات يزيد من تركيز الآزوت عند مقاومة الإجهاد من خلال تراكم مركبات الأمونيوم في الأوراق والتي ساهمت في الحفاظ على محتوى مائي للورقة وثبات في محتوى الكلوروفيل خلال فترة الإجهاد المائي. ويعد تراكم الأحماض الأمينية الحرة في الأوراق أحد طرق التعديل الحلولي التي يقاوم النبات من خلالها الإجهاد (الرجو، 2020). بالمقابل لم يكن للإجهاد المائي أي تأثير معنوي في محتوى أوراق الفول السوداني من الفوسفور P والبوتاسيوم K.

2. تأثير معدل التسميد الفوسفاتي (P):

أظهرت النتائج تأثيراً معنوياً لمعدل التسميد الفوسفاتي في محتوى الأوراق من العناصر الغذائيةNPK، حيث تفوقت المعاملة P3 (120 كغ/هـ) في محتوى الأوراق من الآزوت 1.64% بفارق غير معنوي مع المعاملة P1 (0 كغ/هـ) 1.53%، ومعنوي مقارنةً بالمعاملة P2 (60 كغ/هـ)1.48%. وقد يعود سبب ذلك إلى دور الفوسفور في المحاصيل البقولية بتحريض تشكل العقد الآزوتية على الجذور، والمساهمة في عملية تثبيت الآزوت الجوي التي تحتاج إلى طاقة ATP إضافة إلى زيادة كفاءة امتصاص العناصر الغذائية (Ogola *et al*., 2012).

بالنسبة لتأثير معدل التسميد الفوسفاتي في محتوى أوراق الفول السوداني من الفوسفور P فقد كان تأثير المعاملة P3 (120كغ/هـ) الأدنى معنوياً في محتوى الأوراق من الفوسفور وبلغت 0.11 % مقارنةً بباقي معاملات التسميد الفوسفاتيP1 (0 كغ/هـ) 0.13%، وP2 (60 كغ/هـ) 0.14%. وربما يعزى ذلك إلى أن زيادة مستوى الفوسفور في التربة يمكن أن يؤثر في امتصاص عناصر أخرى مثل الزنك والحديد والكالسيوم والمغنيزيوم وقد يؤدي هذا الخلل في توازن العناصر الغذائية إلى تقليل امتصاص الفوسفور من قبل نبات الفول السوداني (عودة وشمشم ،2008) حيث أن التركيز العالي من الفوسفات في خلايا النبات يقلل من الجهد الأسموزي (Kandil, 2007). وبالنسبة لمحتوى الأوراق من البوتاسيوم فقد حقق معدل السماد الفوسفاتي0 كغ/هـ أعلى

القيم 0.65%، بفروق غير معنوية مع المعدل الثالث 120 كغ/هـ 0.64%، ومعنوية مع المعدل الثاني 60 كغ/هـ 0.62%. وقد يعود ذلك إلى أنه عند معدل التسميد P1 (0 كغ/هـ) قد ارتفع محتوى الأوراق من البوتاسيوم بسبب امتصاصه من قبل النبات حيث أنه يزيد امتصاص البوتاسيوم في النبات عند انخفاض تركيز الفوسفور المتاح في التربة نتيجة علاقة التضاد بين عنصري البوتاسيوم والفوسفور (عودة وشمشم، 2008). أما عند معدل التسميد الفوسفاتي الأعلى فقد يعود ذلك إلى اختلال التوازن الغذائي للنبات وضعف امتصاص النبات للفوسفور وبالتالي إتاحة امتصاص البوتاسيوم من قبل النبات وهذا يتفق مع ماجاء به (Sun et al.,2022) حيث لاحظ أن الإضافات الفوسفاتية المفرطة تؤدي إلى خلل واضح في نسب C:N:P في النظام البيئي الأرضي مما يخل بتوازن التغذية النباتية.

3. تأثير التلقيح بالمايكوريزا:

كان للمايكوريزا تأثير معنوي في محتوى أوراق الفول السوداني من NPK حيث تفوقت معاملة التلقيح على الشاهد (بلا تلقيح) حيث كان تركيز الآزوت في الأوراق (1.57%) وتركيز الفوسفور (0.14%) وتركيز البوتاسيوم (0.65%) وقد يعزى ذلك إلى زيادة قابلية امتصاص النبات للعناصر الغذائية عند التلقيح بالمايكوريزا وهذا يتفق مع (Muhammad *et al*., 2021; Sukmawati *et al*., 2021) الذين أكدوا أن المايكوريزا تساهم مساهمة أساسية في خصوبة التربة وفي زيادة نسبة العناصر المغذية القابلة للامتصاص وتحسين قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية خاصةً الآزوت والفوسفور.

جدول (5) تأثير العوامل المستقلة (الإجهاد ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا) في محتوى الأوراق من الآزوت والفوسفور والبوتاس في الموسم الثاني 2024

المعاملات	N	P	K
معاملة الإجهاد المائي			
S1: شاهد	1.32^{b}	0.13	0.63
S2: مرحلة الإزهار	1.64^{a}	0.13	0.63
S3: مرحلة القرون	1.68^{a}	0.13	0.64
$LSD_{0.05}$	0.125	0.014NS	0.016NS

معدل السماد الفوسفاتي			
P1 : 0 كغ/هكتار	1.53^{ab}	0.14^{a}	0.65^{a}
P2 : 60 كغ/هكتار	1.48^{b}	0.13^{a}	0.62^{b}
P3: 120 كغ/هكتار	1.64^{a}	0.11^{b}	0.64^{a}
$LSD_{0.05}$	0.125	0.014	0.016
التلقيح بالمايكوريزا			
M - شاهد	1.52^{b}	0.12^{b}	0.62^{b}
M + تلقيح	1.57^{a}	0.14^{a}	0.65^{a}
$LSD_{0.05}$	0.010	0.011	0.013

تأثير الإجهاد المائي ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا كل على حدة في محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم في موسمي الزراعة.

1. تأثير الإجهاد المائي (S):

بالنسبة لمتوسط الموسمين فقد زاد محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت عند معاملتي الإجهاد في مرحلة الإزهار وبلغ 1.34%، وفي مرحلة تشكل القرون 1.31%، بفروق معنوية مقارنةً مع اشاهد المروي 1.10%. ولم يكن للإجهاد المائي أي تأثير معنوي في محتوى أوراق الفول السوداني من الفوسفور P (الذي بلغ 0.15% عند معاملات الإجهاد الثلاث) والبوتاسيوم K (الذي تراوح بين 0.70 و0.71%). الجدول (6)

2. تأثير معدل التسميد الفوسفاتي (P):

أظهرت النتائج تأثيراً معنوياً لمعدل التسميد الفوسفاتي في محتوى الأوراق من الفوسفور فقط، حيث تفوقت المعاملة P1 (0 كغ/هـ) وبلغت 0.16 % بفروق غير معنوية مع المعدل P2 (60 كغ/هـ) 015 %، ومعنوية مع المعدل P3 (120 كغ/هـ) 0.14%. وكانت الفروق بين المعدلين الثاني والثالث غير معنوية (0.15%−0.14%) (الجدول6) ويمكن تفسير هذه النتائج إلى أن الإضافات الزائدة من الأسمدة الفوسفاتية قد تؤدي إلى اختلال في التوازن الغذائي للنبات وضعف امتصاص النبات للفوسفور وبالتالي إتاحة امتصاص البوتاسيوم من قبل النبات وهذا يتفق مع ما جاء به

(Sun *et al*.,2022) حيث لاحظ أن الإضافات الفوسفاتية المفرطة تؤدي إلى خلل واضح في نسب C:N:P في النظام البيئي الأرضي مما يخل بتوازن التغذية النباتية.

3. تأثير التلقيح بالمايكوريزا:

كان للمايكوريزا تأثير معنوي في محتوى أوراق الفول السوداني من الآزوت فقط حيث تفوقت معاملة التلقيح معنوياً 1.31% مقارنةً بالشاهد (بلا تلقيح) والذي بلغ 1.20%. وكانت الفروق في محتوى الأوراق من الفوسفور والبوتاس غير معنوية. الجدول (6) ويمكن تفسير هذه النتيجة بأن الفطريات المايكوريزية تسهم في زيادة امتصاص الآزوت غير العضوي، خصوصًا على شكل أمونيوم، من خلال امتداد الجهاز الجذري بواسطة الميسيليوم الخارجي، مما يزيد من كفاءة امتصاص النبات للعناصر الغذائية، وخاصة في البيئات ذات التوافر المحدود للعناصر وهذا يتفق مع ماتوصل إليه Dudáš *et al*. (2022) إلى أن الفطريات الجذرية الشجرية (المايكوريزا) تلعب دوراً في التأثير على عمليات النترجة الجارية في التربة، حيث تسهم في زيادة الآزوت المعدني المتاح، مما يُحسّن من قدرة النبات على امتصاصه، وبالتالي ينعكس إيجاباً على محتوى الأوراق من N.

أما بالنسبة لعدم وجود تأثير معنوي في محتوى الأوراق من الفوسفور والبوتاسيوم، فقد يعزى ذلك إلى وفرة هذين العنصرين في التربة أو إلى ضعف التفاعل بين الفطريات المايكوريزية ونظام امتصاص النبات لهما في ظل ظروف التجربة.

جدول (6) متوسط تأثير العوامل المستقلة (الإجهاد ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا) في محتوى الأوراق من الآزوت والفوسفور والبوتاس % في موسمي الزراعة 2023، 2024

المعاملات	N	P	K
معاملة الإجهاد المائي			
S1: شاهد	1.10^{b}	0.15	0.70
S2: مرحلة الإزهار	1.34^{a}	0.15	0.71
S3: مرحلة القرون	1.31^{a}	0.15	0.71
$LSD_{0.05}$	0.193	0.017NS	0.039NS
معدل السماد الفوسفاتي			
P1 : 0 كغ/هكتار	1.26	0.16^{a}	0.72

P2 : 60 كغ/هكتار	1.19	0.15^{ab}	0.70
P3: 120 كغ/هكتار	1.30	0.14^{b}	0.71
$LSD_{0.05}$	0.193NS	0.017	0.039NS
التلقيح بالمايكوريزا			
M - شاهد	1.20^{b}	0.15	0.72
M + تلقيح	1.31^{a}	0.15	0.70
$LSD_{0.05}$	0.098	0.014NS	0.032NS

التأثير المشترك لعوامل الإجهاد المائي ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا في محتوى أوراق النبات من الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم:

محتوى الأوراق من الآزوت:

يوضح الجدول رقم (7) تأثير العوامل المشتركة في محتوى الأوراق من الآزوت، حيث أظهرت النتائج في موسم 2023، وتحت ظروف الإجهاد المائي في مرحلة تشكل القرون، تفوق معاملات التلقيح بالمايكوريزا عند مستوى التسميد P1(0 كغ/هـ) بنسبة 1.38%، وعند مستوى التسميد P3 (120 كغ/هـ) بنسبة 1.39%، وذلك بفروق غير معنوية مقارنة بمعاملات التلقيح تحت ظروف الإجهاد في مرحلة الإزهار، حيث تراوح تركيز الآزوت فيها بين (1.08% و1.21%). وقد تميزت هذه المعاملات بفروق معنوية عن باقي المعاملات، مما يشير إلى دور المايكوريزا في تعزيز مقاومة النبات للجفاف وتحسين امتصاص الآزوت من التربة، تتفق النتائج مع Hamel (2004) الذي وضح بأن الفطور تساهم في تحسين امتصاص الفوسفور والآزوت وتحفّز التفاعلات البيوكيميائية في التربة. في المقابل، كان أقل تركيز للآزوت في معاملة عدم التلقيح عند مستوى التسميد P2 تحت ظروف الإجهاد المائي في مرحلة تشكل القرون.

أما في موسم 2024، فقد تفوقت معاملة (عدم التلقيح والتسميد P2في ظروف الإجهاد في مرحلة الإزهار) وكذلك (عدم التلقيح مع معدل التسميد P1 في ظروف الإجهاد عند تشكل القرون) في تركيز الآزوت حيث بلغ 1.94% و1.88% على التوالي، وبفارق غير معنوي عن معاملات التلقيح تحت نفس ظروف الإجهاد، والتي تراوح تركيز الآزوت فيها بين 1.64% و1.80%. ويُعزى ذلك إلى تراكم الآزوت في الأوراق نتيجة ضعف النقل من المصدر(الأوراق) إلى المصب

(البذور) عند غياب التلقيح وهذا يتفق مع (Chen *et al.*,2021) الذي لاحظ أن الإجهاد المائي أدى إلى زيادة في التمثيل الضوئي وتراكم ولكن والسيقان، الأوراق في الجافة المادة العلاقة في خلل وجود إلى يشير القرون هذا إن تاج في مقابلة زيادة دون التمثيل عن الناتجة المركبات تتراكم حيث والمصب، المصدر بين إلى يؤدي مما القرون، إلى انتقالها من بدلاً والسيقان الأوراق في الضوئي في انخفاضالإنتاجية. أما متوسط الموسمين، فقد سجل أعلى تركيز للآزوت في المعاملة (تلقيح ومعدل التسميدP1 في مرحلة تشكل القرون) 1.59%، في حين سجلت المعاملة (عدم التلقيح + P2) في نفس المرحلة أدنى تركيز بلغ 0.88%.

جدول (7) التأثير المشترك للإجهاد المائي ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا في محتوى الأوراق من الآزوت في الموسمين 2023، 2024

معاملة التلقيح	معدل السماد الفوسفاتي	معاملة الإجهادS		
		S1	S2	S3
الموسم الأول 2023				
-M	P1	1.17^{ab}	0.90^{bcde}	0.58^{ef}
	P2	1.04^{abcd}	0.93^{bcde}	0.54^{f}
	P3	0.78^{cdef}	0.99^{bcd}	0.89^{bcde}
+M	P1	0.82^{cdef}	1.09^{abc}	1.38^{a}
	P2	0.79^{cdef}	1.21^{ab}	0.89^{bcde}
	P3	0.72^{def}	1.08^{abc}	1.39^{a}
LSD $_{0.05}$ S*P*M=0.351, CV= 20.2 %				
الموسم الثاني 2024				
-M	P1	1.21^{fg}	1.54^{bcde}	1.88^{a}
	P2	1.36^{efg}	1.94^{a}	1.23^{fg}
	P3	1.40^{def}	1.83^{ab}	1.80^{ab}
+M	P1	1.06^{g}	1.68^{abcd}	1.80^{ab}
	P2	1.41^{def}	1.20^{fg}	1.74^{abc}
	P3	1.49^{cdef}	1.67^{abcd}	1.64^{abcde}
LSD $_{0.05}$S*P*M =0.305, CV= 11.9 %				
متوسط الموسمين 2023،2024				
-M	P1	1.19^{abcd}	1.22^{abcd}	1.23^{abcd}
	P2	1.20^{abcd}	1.43^{ab}	0.88^{d}
	P3	1.09^{bcd}	1.41^{abc}	1.34^{abcd}

+M	P1	0.94^{cd}	1.39^{abc}	1.59^{a}
	P2	1.10^{bcd}	1.21^{abcd}	1.31^{abcd}
	P3	1.10^{bcd}	1.37^{abc}	1.52^{ab}
LSD $_{0.05}$ S*N*P=.473, CV= 23.0 %				

S1: شاهد الري الكامل، S2: الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار، S2: الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون. P1، P2، P3: معدلات السماد الفوسفاتي0، 60، 120 كغ/هـ على التوالي. M–: معاملة الشاهد بلا تلقيح، M+: معاملة التلقيح بالمايكوريزا.

محتوى الأوراق من الفوسفور:

من الجدول رقم (8) تبين أنه لم يظهر أي تأثير معنوي للتداخل بين المعاملات في محتوى أوراق الفول السوداني من الفوسفور في موسم2023. أما في موسم2024، فقد أظهرت معاملة (التلقيح عند الري الكامل ومعدل التسميد P1) تفوقاً بنسبة0.17%، بفارق غير معنوي عن معاملة (عدم التلقيح في ظروف الري الكامل ومعدل التسميدP1)، وكذلك عن معاملات التلقيح والإجهاد عندP2 وP3. حيث تراوح تركيز الفوسفور في الأوراق بين 0.14% و0.15%، بفارق معنوي عن باقي المعاملات. يعزى هذا التفوق لدور المايكوريزا في تحسين امتصاص العناصر، خاصة تحت ظروف الري المناسبة. أما ارتفاع تركيز الفوسفور في ظروف الإجهاد، فقد يُفسر بتراكمه في الأوراق نتيجة ضعف انتقاله من المصدر (الأوراق) إلى المصب (القرون) بسبب قلة الماء (Kawakami *et al*., 2006).

سجلت أدنى قيمة للفوسفور في المعاملة (عدم التلقيح ومعدل التسميدP3 في ظروف الإجهاد في مرحلة تشكل القرون)، ويُحتمل أن يكون السبب عدم التلقيح وخلل التوازن الغذائي الناتج عن إضافة زائدة للأسمدة الفوسفاتية في التربة حيث أكد (Sun *et al*.,2022) أن إضافة الفوسفور ترتؤدي إلى انخفاض الحيوية الميكروبية في التربة مما يشير في الاخ تلال إلى الغذائية الناصرة وازن. أما متوسط الموسمين فلم يظهر أي فروق معنوية في محتوى الأوراق من الفوسفور وتراوحت قيمته بين 0.13 و0.18%.

جدول (8) التأثير المشترك للإجهاد المائي ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا في محتوى الأوراق من الفوسفورفي الموسمين 2023، 2024

معاملة التلقيح	معدل السماد الفوسفاتي	معاملة الإجهادS		
		S1	S2	S3
الموسم الأول 2023				
-M	**P1**	0.16	0.15	0.21
	P2	0.17	0.18	0.18
	P3	0.16	0.20	0.18
+M	**P1**	0.18	0.19	0.19
	P2	0.17	0.18	0.17
	P3	0.16	0.17	0.16
LSD $_{0.05}$S*P*M= 0.056NS, CV= 15.6 %				
الموسم الثاني 2024				
-M	**P1**	0.14^{ab}	0.12^{bcd}	0.14^{ab}
	P2	0.12^{bcd}	0.13^{bc}	0.14^{ab}
	P3	0.11^{cd}	0.10^{cd}	0.09^{d}
+M	**P1**	0.17^{a}	0.12^{bcd}	0.15^{ab}
	P2	0.13^{bc}	0.15^{ab}	0.14^{ab}
	P3	0.11^{cd}	0.15^{ab}	0.11^{cd}
LSD $_{0.05}$S*P*M=0.034, CV= 15.8%				
متوسط الموسمين 2023،2024				
-M	**P1**	0.15	0.13	0.17
	P2	0.14	0.15	0.16
	P3	0.14	0.15	0.13
+M	**P1**	0.18	0.16	0.17
	P2	0.15	0.16	0.16
	P3	0.14	0.16	0.14
LSD $_{0.05}$S*P*M=0.048 NS, CV= 20.4 %				

S1: شاهد الري الكامل، S2: الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار، S2: الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون. P1، P2، P3: معدلات السماد الفوسفاتي0، 60، 120 كغ/هـ على التوالي. M–: معاملة الشاهد بلا تلقيح، M+: معاملة التلقيح بالمايكوريزا.

محتوى الأوراق من البوتاس:

يبين الجدول رقم (9) عدم وجود تأثير معنوي للتداخل المشترك في محتوى البوتاسيوم في موسم2023، بينما وُجد تأثير معنوي في موسم 2024 فقد تفوقت معاملة (عدم التلقيح في ظروف الري الكامل ومعدل التسميد P1) وبلغت 0.67 %،ويُحتمل أن يعود ذلك إلى تضاد الامتصاص بين الفوسفور والبوتاسيوم كما أوضح (عودة وشمشم،2007).

عند دراسة تأثير الإجهاد المائي في مرحلة تشكل القرون تبيّن تفوّق المعاملة (التلقيح بالمايكوريزا ومعدل التسميد الفوسفاتيP1) 0.68% و(معاملة التلقيح بالمايكوريزا ومعدل التسميد الفوسفاتيP3) 0.67% أما عند مرحلة تشكل الأزهار تفوقت المعاملة (التلقيح بالمايكوريزا ومعدل التسميد الفوسفاتيP3) 0.68%. وقد يعزى زيادة محتوى أوراق الفول السوداني من البوتاسيوم K في ظروف الإجهاد المائي في مرحلة تشكل الأزهار وتشكل القرون إلى تراكمه في الأوراق نتيجة ضعف قدرة النبات على نقل المدخرات الغذائية من المصدر (الأوراق) للمصب في البذور نتيجة انخفاض محتوى الماء النسبي في ظروف الإجهاد المائي الذي يعد الناقل الأساسي للعناصر الغذائية من أماكن تصنيعها إلى أماكن الادخار (Kawakami *et al.*, 2006). وكان أقل محتوى لأوراق الفول السوداني من البوتاسيوم عند معاملة (عدم التلقيح ومعدل التسميد P3 عند ظروف الري) ومعاملة (عدم التلقيح ومعدل التسميد الفوسفاتيP2 في ظروف الإجهاد المائي عند مرحلة الأزهار) وبفرق غير معنوي عن نفس المعاملة عند ظروف الإجهاد المائي في مرحلة تشكل القرون وقد يعود ذلك إلى أن النبات يكون أكثر قدرة على امتصاص الفوسفور واستخدامه عند معدل التسميد الفوسفاتيP2 (60 كغ/هـ) في ظروف الإجهاد المائي وبالتالي تنقص قابلية النبات على امتصاص البوتاسيوم، بسبب تضاد الامتصاص بين الفوسفور والبوتاسيوم كما أوضح (عودة وشمشم،2007).

وعند دراسة متوسط الموسمين تبين عدم وجود أي فروق معنوية للتداخل بين المعاملات في محتوى الأوراق من البوتاسيوم حيث تراوحت قيمته بين 0.68 و0.74%.

جدول (9) التأثير المشترك للإجهاد المائي ومعدل السماد الفوسفاتي والتلقيح بالمايكوريزا في محتوى الأوراق من البوتاسيوم في الموسمين 2023، 2024

معاملة التلقيح	معدل السماد الفوسفاتي	معاملة الإجهادS		
		S1	S2	S3
الموسم الأول 2023				
-M	P1	0.78	0.81	0.76
	P2	0.78	0.76	0.77
	P3	0.78	0.80	0.76
+M	P1	0.80	0.78	0.80
	P2	0.75	0.78	0.79
	P3	0.76	0.80	0.81
LSD $_{0.05}$S*P*M = 0.059 NS, CV= 3.2 %				
الموسم الثاني 2024				
-M	P1	0.67^{a}	0.63^{bcd}	0.62^{bcd}
	P2	0.62^{bcd}	0.60^{d}	0.61^{cd}
	P3	0.60^{d}	0.66^{ab}	0.61^{cd}
+M	P1	0.65^{abc}	0.62^{bcd}	0.68^{a}
	P2	0.64^{abc}	0.62^{bcd}	0.66^{ab}
	P3	0.63^{bcd}	0.68^{a}	0.67^{a}
LSD $_{0.05}$S*P*M=0.041, CV= 3.8%				
متوسط الموسمين 2023،2024				
-M	P1	0.72	0.72	0.69
	P2	0.70	0.68	0.69
	P3	0.69	0.73	0.68
+M	P1	0.73	0.70	0.74
	P2	0.69	0.70	0.72
	P3	0.70	0.74	0.74
LSD $_{0.05}$S*P*M=0.095 NS, CV= 11.7%				

S1: شاهد الري الكامل، S2: الإجهاد المائي خلال مرحلة الإزهار، S2: الإجهاد المائي خلال مرحلة تشكل القرون. P1، P2، P3: معدلات السماد الفوسفاتي0، 60، 120 كغ/هـ على التوالي. M–: معاملة الشاهد بلا تلقيح، M+: معاملة التلقيح بالمايكوريزا. NS: غير معنوي.

الاستنتاجات:

نستنتج مما سبق أن معاملة التلقيح بالمايكوريزا سببت زيادة معنوية في محتوى أوراق الفول السوداني من العناصرNPK خلال موسم 2024، بينما اقتصر تأثيره في موسم2023على زيادة محتوى ا لآزوت فقط. وبشكل عام أظهرت معاملات التلقيح بالمايكوريزا كفاءة واضحة في تعزيز امتصاص العناصر الغذائية تحت ظروف الإجهاد المائي، في مرحلتي الإزهار وتشكل القرون، مما يدل على دورها في تحسين تحمل النبات للجفاف. ولم يكن للتسميد الفوسفاتي تأثير معنوي في محتوى العناصر NPK خلال موسم2023، بينما سجل تأثير واضح في موسم2024، وكانت المعاملات المثلى كما يلي:

P3 (120كغ/هـ): أفضل محتوى للنتروجين.

P2 (60كغ/هـ): أعلى محتوى للفوسفور.

P1(0-كغ/هـ): أعلى محتوى للبوتاسيوم.

وتبين أن الإجهاد المائي ساهم في زيادة محتوى الأوراق من الآزوت خلال موسم 2024، بينما لم يكن له تأثير معنوي في باقي العناصر أو خلال موسم2023.وبالتالي فإن التلقيح بالمايكوريزا يحسن امتصاص العناصر الغذائية من التربة خاصة في ظروف الإجهاد المائي. فالفطريات المايكوريزية تزيد من قدرة النبات على امتصاص الفوسفور والنيتروجين والبوتاسيوم مما يعزز نمو النبات وتحمل الجفاف.

المقترحات:

تشير النتائج إلى ضرورة تجنب الاستخدام المفرط للأسمدة الفوسفاتية عند التلقيح حيث يؤدي ذلك إلى حدوث خلل في توازن العناصر الغذائية في التربة. ويفضل عند التلقيح عدم استخدام التسميد الفوسفاتي (في ظروف تربة مماثلة لتربة موقع البحث)، أو التسميد بمعدل 60 كغ/هـ للحصول على أفضل توازن بين العناصر الغذائية في التربة. حيث يسهم هذا المعدل مع التلقيح بالمايكوريزا في تحسين قدرة النبات على تحمل الجفاف. كما أن التسميد الزائد بالسماد الفوسفاتي في ظل ظروف الإجهاد المائي قد يؤدي ذلك إلى عرقلة امتصاص العناصر الغذائية الأخرى.

المراجع العربية:

الحسن، حيدر (2013). تأثير التسميد العضوي على إسهام المايكوريزا في امتصاص نبات الذرة الصفراء لبعض العناصر المغذية. أطروحة دكتوراه، جامعة البعث – كلية الهندسة الزراعية.

الحمداني، محمد عبد الخالق (2000). المايكوريزا وأهميتها للنبات. مجلة الزراعة والتنمية في الوطن العربي، العدد (2): 38–45

شلاش، أحمد (2008) تأثير بعض فطور التربة في إتاحة الفوسفور لمحصول القمح المسمد عضوياً أو معدنياً. أطروحة دكتوراه، جامعة الفرات، 224 ص.

الرجو، سامي (2020). استجابة بعض طرز القمح القاسي والطري للإجهاد الجفافي خلال أطوار النمو المختلفة في ظروف المنطقة الشرقية من محافظة حمص. رسالة دكتوراه. جامعة حمص، كلية الزراعة، قسم المحاصيل. 206 ص.

عبد العزيز، محمد (2006). تأثير البورون والسوبر فوسفات في بعض صفات النمو الخضري والثمري للفول السوداني. مجلة البحوث والتنمية الزراعية، جامعة المنيا، 26 (4):752–764.

عبد العزيز، محمد (2007). تأثير رش السيليبور كمصدر للبورون على المسطح الورقي والمادة الجافة وبعض القيم البيولوجية للفول السوداني. مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم البيولوجية، 49 (4): 29–46.

عرب، مرح ومهنا أحمد وفادي عباس (2021). تأثير الرش بالبوتاسيوم على إنتاجية الفول السوداني تحت ظروف الإجهاد المائي. مجلة جامعة البعث للعلوم الهندسية. 43 (18): 11–46.

عودة، محمود؛ شمشم، سمير (2008). خصوبة التربة وتغذية النبات. منشورات جامعة البعث – كلية الهندسة الزراعية.

عودة، محمود؛ المحمد، إسماعيل؛ الحسن، حيدر (2011). تأثير التسميد العضوي والتلقيح بالمايكوريزا في كفاءة امتصاص نبات الذرة الصفراء للفوسفور وإنتاجه للمادة الجافة. المجلة العربية للبيئات الجافة، 5 (1): 98–101.

العياش، مي؛ الدهموش، عبد السلام؛ امرير، علي (2015). دراسة مقارنة بين الفطور الميكوريزية وبعض أحياء التربة في إتاحة الفوسفور لمحصول الذرة الصفراء. رسالة ماجستير، جامعة الفرات.

العيسى عبد الله (2007) ميكروبيولوجيا التربة . منشورات جامعة حمص – سورية .

المجموعة الإحصائية الزراعية السورية (2022). وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، سورية.

مهنا، أحمد؛ عبد العزيز، محمد؛ خضر، وفاء (2009). تأثير مستويات مختلفة من التسميد العضوي في بعض الخواص الإنتاجية والنوعية للفول السوداني. مجلة بحوث جامعة البعث.

مهنا، أحمد؛ الشباك، محمود (2010). إنتاج المحاصيل الصناعية. منشورات جامعة البعث – كلية الزراعة، 406 ص.

مهنا، أحمد؛ صباح، صقر (2016). تأثير الإجهاد المائي في نمو وغلة الفول السوداني في محافظة طرطوس. مجلة جامعة البعث، 38 (22): 33–50.

المراجع الأجنبية:

Abady, S., Shimelis, H., Pasupuleti, J., Mashilo, J., Chaudhari, S., & S.S. Manohar. (2021). Assessment of the genetic diversity of groundnut (Arachis hypogaea L.) genotypes for kernel yield, oil and fodder quantity and quality under drought conditions. Crop Science, 2021, 1–18**.**

Abd ELazizi, M.A., Jrad, S.A., & Sakr, S.H. (2013). Effect of methods and depth plowing soil on density and production (Arachis hypogaea L.). Spring Journal, Ukraine, Univ. of El-Vov Home Agric., Series Agric., 17(2).

Adinurani, P.G., Rahayu, S.R., Purbajanti, E.D., Siskawardani, D.D., Stankeviča, K., & Setyobudi, R.H. (2021). Enhanced root nodules, uptake of NPK, and yield of peanut plant (Arachis

hypogaea L.) using Rhizobium and Mycorrhizae applications. Sarhad Journal of Agriculture, Special Issue: Agricultural Productivity and Sustainability Improvement in Tropical Region, 37, 16–24.

Alexander, A., Singh, V.K., & Mishra, A. (2021). Interaction of the novel bacterium Brachybacterium saurashtrense JG06 with Arachis hypogaea leads to changes in physio-biochemical activity of plants under drought conditions. Plant Physiology and Biochemistry, 166, 974–984.

Badran, M., and Kbibo, S. (2023). "Mycorrhizal fungi enhance phosphorus uptake in maize under phosphorus-limited conditions." Agricultural Systems, 207, 103359. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103359

Bouskout, M., Bourhia, M., Al Feddy, M.N., Dounas, H., Salamatullah, A.M., Soufan, W., Nafidi, H., & Ouahmane, L. (2022). Mycorrhizal fungi inoculation improves Capparis spinosa yield, nutrient uptake, and photosynthetic efficiency under water deficit. Agronomy, 12, 149. https://doi.org/10.3390/agronomy12010149

Brundrett, M. C., & Juniper, D. (1995). Mycorrhizal fungi: Diversity and functional roles. In: Mycorrhizal Functioning: An Integrative Plant-Fungal Process. CRC Press.

Chen, W., Wang, Y., Liu, X., Li, C., Liu, Y., Li, L., Zhang, Y., Liu, Q., Li, X., Li, Q., & Yang, D. (2021). Physiological and expressional regulation on photosynthesis, assimilate partitioning, and yield in peanut under waterlogging stress. Frontiers in Plant Science, 12, Article 601771. Available online: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.601771/full

Choudhury, F.K.; Rivero, R.M.; Blumwald, E.; Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. Plant J. 90, 856–867.

Dudáš, M., Pjevac, P., Kotianová, M., Gančarčíková, K., Rozmoš, M., Hršelová, H., Bukovská, P., & Jansa, J. (2022). Arbuscular mycorrhiza and nitrification: Disentangling processes and players by using synthetic nitrification inhibitors. Applied and Environmental Microbiology, 88(22), e01369-22. https://doi.org/10.1128/aem.01369-22.

El-Boraie, F.M., Abo-El-Ela, H.K., & Gaber, A.M. (2009). Water requirements of peanut grown in sandy soil under drip irrigation and biofertilization. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(1), 55–65.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2019). Groundnut statistics. Rome: FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gitari, J.N., & Mureithi, J.G. (2003). Effect of phosphorus fertilization on legume nodule formation and biomass production in Mont Kenya Region. East African Agricultural and Forestry Journal, 69, 83–87.

Grant, C., Bitman, S., Montreal, M., Plenchette, C., & Morel, C. (2005). Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant supply and mycorrhizal development. Canadian Journal of Plant Science, 85, 3–14.

Hamel, C. (2004). "Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on N and P cycling in the root zone." Canadian Journal of Soil Science, 84(4), 383–395.

Htoon, W., Jogloy, S., Vorasoot, N., Toomsan, B., Kaewpradit, W., Puppala, N., & Patanothai, A. (2014). Nutrient uptakes and their contributions to yield in peanut genotypes with different levels of terminal drought resistance."Turkish Journal of Agriculture and Forestry 38(6), 781–791.https://doi.org/10.1002/jpln.202300024Islam, M., Mohsan, S.,

Jogloy, S., Patanothai, A., Toomsan, S., & Isleib, T.G. (1996). Breeding peanut to fit into Thai cropping systems. Proceedings of the Peanut Collaborative Research Support Program International Research Symposium and Workshop, Two Jima Quality Inn, Arlington, Virginia, USA, 25–31 March, pp. 353–362.

Kandil, A. A. (2007). "Effect of phosphorus fertilization on growth and yield of some crops." Journal of Agricultural Research, 85(2), 123–130.

Kawakami, J., Iwama, K., & Jitsuyama, Y. (2006). Soil water stress and the growth and yield of potato plants grown from microtubers and conventional seed tubers. Field Crops Research, 95, 89–96.

Khosro, M., Khalesro, S., Sohrabi, Y., & Heidari, G. (2011). Beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth. Journal of Applied Environmental Biology Sciences, 1(9), 310–319.

Kolay, A.K. (2008). Soil moisture stress and plant growth. In A.K. Kolay (Ed.), Water and Crop Growth (pp. 43–48). New Delhi, India: Atlantic.

Li, Z., Wu, N., Liu, T., Chen, H., & Tang, M. (2015). Sex-Related Responses of Populus cathayana Shoots and Roots to AM Fungi and Drought Stress. PLOS ONE, 10(6), e0128841. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128841

Morton, J. B., Koske, R. E., Stürmer, S. L., & Bentivenga, S. P. (2001). Mutualistic arbuscular endomycorrhizal fungi. In D. T. Wicklow & B. B. Taylor (Eds.), The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem (3rd ed., pp. 335–373). New York: Marcel Dekker.

Muhammad, I., Abubakar, A., Hamisu, A., Iliya, A., & Ullah, A. (2023). The effect of different concentrations of inorganic fertilizer on vegetative growth of groundnut (Arachis hypogea L.). International Journal of Plant Pathology and Microbiology, 3(2), 104-110.

Ogola, A.H., Olhiambo, G.D., Okalebo, J.R., & Muyeko, H.N. (2012). Influence of phosphorus on selected desmodium growth and nodulation parameters. ARPN Journal of Agricultural Biology Sciences, 7, 294-301.

Pozo, M.J., Azcón-Aguilar, C., Dumas-Gaudot, E., & Barea, J.M. (1999). Glucanase activities in tomato roots inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and/or Phytophthora parasitica. Mycorrhiza, 9, 295-300.

Rakshit, A., & Bhadoriam, S.P. (2010). Role of VAM on growth and phosphorus nutrition of maize with low soluble phosphate fertilization. Acta Agronomica, 59, 119-123.

Rodríguez-Echeverría, S., et al. (2023). "Mycorrhizal fungi enhance drought tolerance and phosphorus uptake in plants under stressed conditions." Science Advances, 9(34), eadd5603. https://doi.org/10.1126/sciadv.add5603

Ryan, M.H., & Angus, J.F. (2003). Arbuscular mycorrhizae in wheat and field pea crops on low P soil: Increased Zn uptake but no increase in P uptake or yield. Plant and Soil, 250, 225-239.

Sharif, M., & Claassen, N. (2011). Action mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi in phosphorus uptake by Capsicum annuum L. Pedosphere, 21, 502–511.

Sinhababu, A. and K. Rup kumar (2003). Comparative responses of three fuel wood yielding plants to PEG-induced water stress at seedling stage. Actaphysiologiaeplantarum: 2003, vol. 25, no4, pp. 403-409.

Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal symbioses. Academic Press, London, UK. 589 pp.

Smith, S., Smith, A., & Jakobsen, J. (2003). Mycorrhizal fungi can dominate phosphorus supply to plants irrespective of growth response. Plant Physiology, 133, 16-20.

Sun, Y., Wang, C., Chen, X., Liu, S., Lu, X., Chen, H., & Ruan, H. (2022). Phosphorus additions imbalance terrestrial ecosystem C:N:P stoichiometry. Global Change Biology, 28(24), 7353–7365. https://doi.org/10.1111/gcb.16417**.**

Tandon, H.L.S. (2005). Methods of analysis of soils, plants, waters, and fertilization. Fertilization Development and Consultation Organization, New Delhi, India.

Taurian, T., Ibanfiez, F., Fabra, A., & Aguilar, O.M. (2006). Genetic diversity of rhizobia nodulating Arachis hypogaea L. in Central Argentina soils. Plant and Soil, 282, 41–52. https://doi.org/10.1007/s11104-005-5314-5

Tekulu$_1$, K., Taye, G., & Assefa, D. (2020). Effect of starter nitrogen and phosphorus fertilizer rates on yield and yield components, grain protein content of groundnut (Arachis hypogaea L.) and residual soil nitrogen content in a semiarid north Ethiopia. Heliyon, 6(2020), e05101. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)..

Toro, M., Azcón, R., & Barea, J.M. (1997). Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability

(32P) and nutrient cycling. Applied and Environmental Microbiology, 63, 4408–4412.

United States Department of Agriculture (USDA). (2023). Oilseeds: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service. Retrieved from https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf

Walsh, L.M., & Beaton, J.D. (Eds.). (1973). Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Madison, USA.

Wally, F.L., Kyei-Boahen, S., Hnatowish, G., & Stevenson, G. (2005). Nitrogen and phosphorus fertility management for desi and kabuli chickpea. Canadian Journal of Plant Science, 85, 73–79.