تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في جاهزية الفوسفور لنبات الذرة الصفراء

اعداد : جلنار الجوراني

المشرف العلمي: الأستاذ الدكتور محمود عودة الأستاذ في قسم التربة واستصلاح الأراضي اختصاص/خصوبة التربة/ في جامعة حمص

والمشرف المشارك الدكتور محمود الحمدان من مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص اختصاص /التربة واستصلاح الأراضي (هيدرولوجيا مياه سطحية حصاد مياه)/

الملخص

تم تنفيذ تجربة حقلية في دائرة الموارد الطبيعية التابعة لمركز البحوث العلمية الزراعية في حمص خلال الموسم الزراعي 2024م بهدف دراسة تأثير أنواع متباينة من الأسمدة (معدنية–عضوية–حيوية) في جاهزية الفوسفور وإتاحته لنبات الذرة الصفراء، وكان معدل الصخر الفوسفاتي المستخدم في معاملات الخلط مع الأسمدة المختلفة 500كغ/هـ، وقد أُستخدم الكبريت الزراعي بمعدل 2000كغ/هـ (PRS) والسماد البلدي بمعدل 30طن/هـ (PRFY) والفيرمي كومبوست بمعدل 4 طن/هـ (PRVC) والهيوماكس بمعدل 30 كغ/ (PRHX) ولقاح المايكوريزا بمعدل 20 كغ/هـ (PRMY).

بينت النتائج المتحصل عليها إحصائياً وجود تأثير معنوي لكل معاملات الخلط المستخدمة في تفاعل (pH) التربة، وسجلت المعاملة T3 والتي تضمنت الصخر الفوسفاتي والكبريت الزراعي معاً أكبر انخفاض في درجة pH التربة، حيث بلغت قيمة pH التربة في هذه المعاملة 7.96 في حين كانت درجة pH التربة في معاملة الشاهد 8.24، وقد أشارت النتائج أن للمعاملات المستخدمة تأثير في محتوى التربة من الفوسفور المتاح، وقد تفوقت (معاملة الصخر الفوسفاتي 500كغ/هـ

مع الكبريت الزراعي 2000كغ/هـ) (T3(PRS تفوقاً معنوياً في زيادة محتوى التربة من الفوسفور القابل للإفادة بالمقارنة مع الشاهد من جهة والمعاملات المستخدمة من جهة أخرى، حيث بلغ محتوى التربة من الفوسفور القابل للإفادة تحت تأثير هذه المعاملة 18.87ppm، في حين كانت في الشاهد 7.75ppm ولقد حققت هذه المعاملة زيادةً في محتوى التربة من الفوسفور القابل للإفادة بنسبة تقدر بـ (44% و 46% و 27% و 75%) بالمقارنة مع المعاملات (T7, T6 ,T5, T4) على الترتيب.

وبالنسبة لتأثير المعاملات المستخدمة في محتوى النبات (الوزن الجاف) من الفوسفور، لقد سجلت كل من معاملات الخلط زيادة معنوية في محتوى النبات من الفوسفور تقدر بـ (71%,120%,65%,89.3%,31.8%) في كل من المعاملات (PRS,PRFY,PRHX,PRVC,PRMY) على الترتيب بالمقارنة مع معاملة الشاهد(T1).

الكلمات المفتاحية: صخر فوسفاتي، تربة، فوسفور قابل للإفادة، ذرة صفراء.

The effect of the interaction between phosphate rock and fertilizer type on the phosphorus availability to maize plant

Abstract

A field experiment was conducted in the Natural Resources Department of the Agricultural Scientific Research Center in Homs during the 2024 agricultural season with the aim of studying the effect of different fertilizers types (mineral, organic, and biological) on the availability of phosphorus to maize plant.

The rate of phosphate rock used in this experiment was 500 kg/ha with: 2000 kg/ha mineral sulfur (PRS), 30 tons/ha organic fertilizer (PRFY), 4 tons/ha vermicompost (PRVC), 30 kg/ha Humax (PRHX) and 20 kg/ha mycorrhizal inoculum (PRMY).

The obtained results showed a statistically significant effect of all the treatments used on the soil pH. Treatment T3, which included phosphate rock and mineral sulfur together, recorded the largest decrease in soil pH, as the soil pH value in this treatment reached 7.96, while the soil pH in the control treatment was 8.24.

The results showed that the treatments used in this experiment had an effect on the soil content of available phosphorus. Treatment T3 (PRS) was superior in increasing the soil content of available phosphorus compared to the control on the one hand and the other treatments used on the other hand as the soil content of available phosphorus under the influence of this treatment reached 18.87 ppm While in control Treatment it was 7.75ppm. This treatment achieved an increase in the soil content of available phosphorus by an estimated percentage of (44%, 46%, 27% and 75%) compared to treatments (T4, T5, T6 and T7)respectively.

As for the effect of the treatments used on the plant content of phosphorus, Each of the mixing treatments recorded a significant increase in the plant phosphorus content estimated at (71%, 120%, 65%, 89.3%, 31.8%) in each of the treatments (PRS, PRFY, PRHX, PRVC, PRMY) respectively compared to the control treatment (T1).

Keywords: phosphate rock, soil, availabile phosphorus, maize.

1- المقدمة:

يُعد الفوسفور عنصر أساسي لنمو النباتات ومحدّد لإنتاجية المحاصيل (Weeks and Hettiarachchi, 2019) فهو يلعب دوراً مهماً في العديد من العمليات الفيزيولوجية ضمن النبات حيث يدخل في التفاعلات الإنزيمية، ويشارك بشكل مباشر في نقل الطاقة، واستقلاب البروتين في النبات، وتخليق الأحماض النووية، وعملية التمثيل الضوئي، وغيرها من العمليات الهامة لبناء الخلية (Devau *et al.*, 2011).

يتراوح محتوى النبات من الفوسفور ما بين 0.1% و0.5% من الوزن الجاف، ويوجد باستمرار في حالتي الأورثوفوسفات والبيروفوسفات، (Johnston *et al.*, 2014).

يُعتقد بأن المصدر الأساسي لمركبات الفوسفات المتواجدة بالتربة هو فلز الفلور أباتيت والذي يتواجد في معظم الأحيان مع معدن الكالسيت مكوناً معدن الفرانكوليت الذي يعطى له الرمز $Ca_{10}(PO_4)_6F_2.Ca\ CO_3$ ، ويتواجد هذا المعدن بصورة رئيسية على شكل صخور مترسبة في شمال أفريقيا وامريكا الشمالية و روسيا ،حيث يُقدر احتياطي العالم من هذه الصخور بحوالي 55 بليون طن (Wallker and Syers, 1976).

تجدر الإشارة إلى أن توافر الفوسفور في التربة القلوية والكلسية يتأثر بشدة بعوامل عدة مثل قوام التربة (Jalali and Jalali ,2016) ، ومحتوى التربة من كربونات الكالسيوم (Leytem and Mikkelsen ,2005)، وملوحة التربة(Bai *et al.*, 2017) ، ودرجة تفاعل (pH) التربة، والكاتيونات الذائبة (الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم)، والأنيونات الذائبة (الكلوريد والنترات والكبريتات)، والفوسفور الكلي (Li *et al.*, 2019) .

يتكون الصخر الفوسفاتي Phosphate Rock (PR) بصورة رئيسة من فلز الأباتيت Apatit وبخاصة فلور الأباتيت $Ca_{10}(PO_4)_3F_2$ ، فإذا استُبدل الكلور بالفلور سمي

الفلز الناتج كلور الأباتيت وبطريقة مشابهة يتكون هيدروكسيد الأباتيت وكربونات الاباتيت. ويمكن اعتبار الصخر الفوسفاتي مصدراً رخيصاً للفوسفور بالمقارنة مع الأسمدة الفوسفاتية والكيميائية (Ditta *et al.*, 2018).

ونظرًا لانخفاض امتصاص الفوسفور من هذا المصدر، بالإضافة إلى عدة أسباب مثل الطبيعة الكلسية لمعظم الترب، وارتفاع درجة الـpH التربة، وإجهاد الجفاف، ووجود الكثير من البيكربونات في مياه الري، ونقص المواد العضوية في الترب الزراعية، فإن الاستخدام المباشر لهذا المصدر نادر في الترب (خاصةً الترب الكلسية) (Walpola,*et al.*, 2014; Jupp *et al.*, 2021).

من الممكن زيادة كفاءة الصخر الفوسفاتي في تجهيز الفوسفور للنبات عن طريق طحنه إلى دقائق صغيرة الحجم (0.5 mm >) (Lui *et al.*, 2015). ومن ثم خلطه مع مولدات الحموضة لغرض زيادة ذوبانيته ومن هذه المولدات الكبريت الزراعي (80−95% S) (Hoffmann *et al.*, 2012) إذ يتأكسد الكبريت مكوناً حامض الكبريتيك الذي يُذيب الصخر الفوسفاتي وبعض مركبات الفسفور المترسبة في التربة كفوسفات ثلاثية الكالسيوم $Ca_3(PO_4)$ ليتحرر نتيجةً لذلك الفوسفور بأشكالٍ متاحة للنبات (Khalil, 2013).

تُسهم المواد العضوية في زيادة ذوبانية الصخر الفوسفاتي نتيجة تحللها وانطلاق الأحماض العضوية فضلاً عن خفضها لدرجة تفاعل (pH) التربة، الأمر الذي يؤدي لزيادة ذوبانية المركبات الحاوية على الفوسفور في ظروف التربة الكلسية أو تكوينها لحمض الكربونيك H_2CO_3 نتيجة إنحلال CO_2 المتحرر من تحلل هذه المواد في ماء التربة، حيث تزداد جاهزية الفوسفور في التربة كمحصلة نهائية لذلك كله(Yousif and Abdillah, 2009).

يترافق زيادة تركيز الحموض الهيومية (HA) المضافة للتربة مع زيادة ادمصاص الفوسفور من خلال تكوين تجمعات HA−cation−P (Urrutia *et al.*, 2014)، وبين (Weng *et al.,* 2014) أن إضافة الهيومات إلى التربة الكلسية من شأنها أن تقلل أو تزيد من ادمصاص الفوسفور

وهذا يعتمد بشكل أساسي على تركيز (HA) المضاف ومحتويات التربة من الكاتيونات القابلة للتبادل وتشكل معقدات HA–cation–P في التربة.

ولقد كشفت دراسات سابقة عن التأثير الإيجابي لخلط الصخر الفوسفاتي مع سماد الديدان الفيرمي كومبوست، حيث أفاد (pramanik *et al.*, 2009) أن سماد الفيرمي كومبوست زاد من نسبة الفوسفور المتاح في التربة (13–26%) بعد 90 يوم من التحضين، وازداد محتوى الفوسفور المتاح في الترب المعالجة بفوسفات الصخر بشكل مطرد حتى 45 يوم من التحضين.

يعتقد بأن الميكوريزا تملك القدرة على إذابة الفوسفور الموجود في الصخور الفوسفاتية غير المتاح للنبات، وذلك عبر إفراز هذه الفطور لأحماض عضوية تعمل على إذابة الصخور الفوسفاتية وتحرير الفوسفور منها، هذا بالإضافة لاستطاعة هيفات فطر الميكوريزا الوصول إلى مناطق بعيدة عن متناول الجذور وامتصاص الفوسفور منها ومن ثم تزويد النبات به لاحقاً (Yousif *et al.*, 2011) .

لقد كان كل من الاستعمال العشوائي للأسمدة الفوسفاتية وارتفاع تكاليف استيراد الأسمدة من الخارج من جهة والاثار السلبية للأسمدة الكيميائية على البيئة من جهة أخرى دافعاً رئيسياً للتفكير بالفوسفات الطبيعية (الصخر الفوسفاتي) لتكون مصادر فوسفورية رديفة أو حتى بديلة للأسمدة الفوسفاتية المصنعة.(Sarikhani *et al.*,2019)

يحوي القطر العربي السوري على مخزون مهم من الفوسفات يأتي في المرتبة الرابعة بين الدول العربية المنتجة للفوسفات بعد المغرب وتونس والأردن ويقدر المخزون الاحتياطي من الفوسفات الطبيعية في سوريا بألف مليون طن يوجد معظمها في منطقة تدمر والحباري كما تتواجد في منطقة وادي رحيم، وعين ليلون في منطقة الحفة في اللاذقية(كناكري،1990; عباس وجبيلي ،1996).

2–أهداف البحث:

دراسة تأثير استخدام أنواع متباينة من الأسمدة (معدنية–عضوية–حيوية) في جاهزية فوسفور الصخر الفوسفاتي السوري وإتاحته لنبات الذرة الصفراء.

3–مواد العمل وطرائقه:

تم تنفيذ التجربة الحقلية في دائرة الموارد الطبيعية التابعة لمركز البحوث العلمية الزراعية في حمص خلال الموسم الزراعي 2024م. وتتصف تربة حقل التجربة بأنها ذات pH قاعدي، وذات محتوى مرتفع من كربونات الكالسيوم، ومنخفضة إلى متوسطة المحتوى من الأملاح الكلية الذوابة، متوسطة المحتوى من المادة العضوية، وإضافة لما سبق تتصف هذه التربة بأنها متوسطة المحتوى من كل من الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنزيوم كما هو موضح في الجدول (1).

جدول (1) الخصائص الكيميائية الأساسية لتربة موقع التجربة

pH (1:2.5)	8.22
EC(1:5) dS/m	0.25
Organic Mattar %	1.27
$CaCO_3$ %	30.23
Available Ca (ppm)	1317.35
Available Mg (ppm)	281.43
Available P (ppm)	7.86
Available K (ppm)	265.27

أُستخدم في هذه التجربة المواد التالية:

1-الصخر الفوسفاتي: تم تأمينه من الشركة العامة للفوسفات والمناجم في حمص.

2-السماد الفوسفاتي: تم استخدام سماد السوبر فوسفات ثلاثي (TSP 46% P_2O_5) من إنتاج الشركة العامة للأسمدة في حمص.

3-الكبريت الزراعي: تم استخدام الكبريت الزراعي (S=90%) من مصدر تجاري.

4-السماد العضوي البلدي: تم تأمينه من مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص.

5-الفيرمي كومبوست: تم الحصول عليه من مركز البحوث العلمية الزراعية في حمص.

6-الهيوماكس: تم تأمينه من مصدر تجاري.

7-المايكوريزا: تم الحصول على لقاح فطر المايكوريزا *Glomus mosseae* عن طريق الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية في حمص.

ولقد شملت التجربة المعاملات التالية:

1.المعاملة الأولى (T1): تربة شاهد دون أي إضافة، رُمزَ لها بالرمز (Q).

2.المعاملة الثانية (T2): تربة مضاف لها السماد الفوسفاتي (TSP 46% P_2O_5)) بمعدل 120كغ P2O5/هـ، ورُمزَ لها بالرمز (C).

3.المعاملة الثالثة(T3): تربة مضاف لها صخر فوسفاتي بمعدل 500كغ/هـ +كبريت زراعي بمعدل 2000كغ/هـ، رُمزَ لها بالرمز (PRS) .

4.المعاملة الرابعة (T4): تربة مضاف لها صخر فوسفاتي بمعدل 500كغ/هـ+ سماد عضوي بلدي بمعدل 30 طن/هـ، رُمزَ لها بالرمز (PRFY).

5.المعاملة الخامسة (T5): تربة مضاف لها صخر فوسفاتي بمعدل 500كغ/هـ+ هيوماكس بمعدل 30 كغ/هـ، رمُزَ لها بالرمز (PRHX).

6.المعاملة السادسة (T6): تربة مضاف لها صخر فوسفاتي بمعدل 500 كغ/هـ+ فيرمي كومبوست بمعدل 4 طن/هـ، رُمز لها بالرمز (PRVC).

7.المعاملة السابعة (T7): تربة مضاف لها صخر فوسفاتي 500 كغ/هـ+ 20 كغ/هـ لقاح المايكوريزا، رُمزَ لها بالرمز (PRMY).

تم تصميم التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، وبلغ عدد المعاملات 7 معاملات وعدد المكررات 3 مكررات وبالتالي بلغ عدد الوحدات التجريبية 21 وحدة تجريبية.

جرى تنفيذ التجربة من تاريخ 2024/7/4م حتى 2024/10/12م، وقد أضيف كل من الصخر الفوسفاتي والكبريت الزراعي والسماد البلدي والفيرمي كومبوست والهيوماكس ولقاح المايكوريزا أيضاً بالإضافة إلى السوبر فوسفات الثلاثي دفعة واحدة قبل الزراعة، وتمت زراعة نبات الذرة الصفراء *Zea Mays* صنف غوطة 82 كنبات تجربة، كما تم القيام أيضاً بكافة العمليات الزراعية من عزيق وتعشيب ومكافحة الآفات حسب الحاجة وعند الضرورة.

تم جمع عينة تربة مركبة قبل الزراعة لتحديد الخصائص الأساسية لتربة موقع التجربة (الجدول1)، كما تم جمع عينات تربة مركبة من كل قطعة تجريبية في فترتين زمنتين: الأولى في منتصف موسم النمو(T I) (أي بعد 45 يوم تقريباً من الزراعة) والثانية بعد مرور 90 يوم من الزراعة(T II).

كما تم جمع العينات النباتية (الأوراق) من كافة معاملات ومكررات التجربة في نهاية موسم النمو.

التحاليل المخبرية:

تم إجراء التحاليل التالية على التربة قبل البدء بالتجربة: قياس pH التربة في معلق تربة: ماء(2.5:1) باستخدام جهاز pH meter (Baruah and Barthakur,1997) ، وقياس الناقلية الكهربائية في مستخلص مائي للتربة (تربة: ماء:5:1) باستخدام Conductvity meter (Richards,1954) ، تقدير محتوى التربة من الكربونات الكلية بطريقة المكلاس باستخدام جهاز Calcimter (Baruah and Barthakur,1997) ، تقدير محتوى التربة من المادة العضوية باستخدام طريقة الأكسدة الرطبة بواسطة ديكرومات البوتاسيوم في وسط شديد الحموضة (Walkely and Black,1934) ، تقدير محتوى التربة من الفوسفور القابل للإفادة بطريقة أولسن باستخدام جهاز القياس الطيفي Spectrophotometer (Olsen *et al.*,1954) ، تقدير محتوى التربة من الكالسيوم والمغنزيوم القابلين للإفادة :باستخدام طريقة المعايرة المصحوبة بتشكل المعقدات (Baruah and Barthakur,1997)، وتقدير محتوى التربة من البوتاسيوم القابل للإفادة باستخدام جهاز التحليل باللهب Flame photometer (Baruah and Barthakur,1997).

كما خضعت عينات التربة المأخوذة من المعاملات والمكررات كافة للتحاليل الكيميائية لتقدير محتواها من الأشكال المتاحة لكل من الفوسفور والكالسيوم حسب الطرق آنفة الذكر، أما العينات النباتية فقد تم تحديد محتواها من الفوسفور حسب (Kalra,1988).

التحليل الإحصائي:

تم تحليل النتائج المتحصل عليها احصائياً، حيث خضعت كافة نتائج التجربة لتحليل التباين Analysis of Variance ببرنامج (Anova)، وتم حساب قيمة أقل فرق معنوي Least Significant Difference (LSD) عند مستوى معنوية 5%.

4-النتائج والمناقشة:

4-1- تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في درجة تفاعل (pH) التربة:

يتضح من (الجدول2) أن المعاملات المستخدمة جميعها قد أدَت إلى انخفاض معنوي في درجة pH التربة بالمقارنة مع الشاهد سواء (في منتصف موسم النمو(الفترة T I) أو في نهايته (الفترة T II)، ولقد سجَلت المعاملة T3(PRS) والتي تضمنت (إضافة الصخر الفوسفاتي والكبريت الزراعي معاً) أكبر انخفاض في pH التربة مقارنةً بالشاهد من جهة وبالمعاملات الأخرى المستخدمة من جهة أخرى، حيث بلغت قيمة pH التربة في هذه المعاملة(7.97 ، 7.96) في منتصف موسم النمو ونهايته على الترتيب، بينما كانت درجة pH التربة في معاملة الشاهد(T1) (8.26 ، 8.23) في المرحلتين T I و T II على الترتيب، ويمكن أن يُعزى ذلك إلى أكسدة الكبريت الزراعي إلى حمض الكبريت وتحرر شوارد الهيدروجين التي بدورها تعمل على خفض pH التربة (Besharati *et al.*, 2007; Khalil, 2013).

وتشير النتائج المتحصل عليها أيضاً إلى وجود تأثير معنوي للمعاملتين T5 (معاملة الصخر الفوسفاتي 500كغ/هـ + 20 كغ/هـ الهيوماكس) و T6(معاملة الصخر الفوسفاتي 500كغ/هـ + 4 طن/هـ الفيرمي كومبوست) في درجة pH التربة سواء في منتصف موسم النمو أو في نهايته، حيث انخفضت درجة pH التربة تحت تأثير المعاملة (T5) لتصل إلى(8.07 ، 8.05) كما انخفضت درجة pH التربة تحت تأثير المعاملة T6 لتصل إلى(8.08 ، 8.06) وذلك في كل من المرحلتين T I وT II على الترتيب. ويمكن أن يعود السبب في ذلك إلى تحرر الأحماض الهيومية في(المعاملة T5) و العضوية في (المعاملة T6) عبر التفكك الحيوي للسمادين العضويين المضافيين (Venkatesh *et al.*,2008). حيث تشكل الحموض العضوية الناتجة عن التحلل (حمض الأوكزاليك وحمض الستريك وحمض الخل) مصدراً مهماً لشوارد الهيدروجين (Albanell *et al* .,1988)، وبالإضافة إلى ماسبق أوضحت النتائج تأثيراً معنوياً لمعاملة المايكوريزا (T7) في درجة pH التربة بالمقارنة مع معاملة الشاهد (T1) الأمر الذي يمكن أن يُعزى إلى المفرزات الحامضية لهذه الفطور (Reyes *et al.*,2006).

الجدول (2): **تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في درجة تفاعل (pH) التربة**

	Soil pH		Treatments	
Average	T Ⅱ	T Ⅰ	Code	Number
8.24	8.23^{a}	8.26^{a}	Q	T1
8.2	8.18^{ab}	8.22^{ab}	C	T2
7.96	7.96^{d}	7.97^{d}	PRS	T3
8.11	8.11^{bc}	8.11^{bc}	PRFY	T4
8.06	8.05^{cd}	8.07^{cd}	PRHX	T5
8.07	8.06^{cd}	8.08^{cd}	PRVC	T6
8.12	8.11^{bc}	8.13^{bc}	PRMY	T7
	0.06857	0.0719	LSD 0.05	

في حال وجود حرف مخالف بنفس العمود (a,b,c...) يعني وجود اختلاف معنوي عند $LSD_{0.05}$

4-2- تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في محتوى التربة من الكالسيوم المتاح:

يتضح من (الجدول 3) أن المعاملات المستخدمة جميعها أدت إلى زيادة واضحة في محتوى التربة من الكالسيوم المتاح بالمقارنة مع الشاهد، ولقد سجلت المعاملة (T2) والتي تضمنت سماد السوبر فوسفات الثلاثي لوحده أكبر زيادة في محتوى التربة من الكالسيوم المتاح مقارنةً مع الشاهد من جهة والمعاملات الأخرى المستخدمة من جهة أخرى، حيث بلغ محتوى التربة من الكالسيوم المتاح في هذه المعاملة (1334.33ppm، 1331.87ppm) في الفترتين الزمنتين (T Ⅰ) و(T Ⅱ)على الترتيب، ويعزى ذلك إلى تحرر كاتيونات الكالسيوم عند تحلل سماد الـTSP وهذا يتفق مع (Klaic *et al.*,2017). بينما كان محتوى التربة من الكالسيوم المتاح في معاملة الشاهد(T1) (1313.67ppm ، 1314.40ppm) في المرحلتين (T Ⅰ) و(T Ⅱ) على الترتيب. وتشير النتائج

أيضاً إلى حصول ارتفاع معنوي في محتوى التربة من الكالسيوم المتاح تحت تأثير معاملات الخلط بين الصخر الفوسفاتي والأسمدة المختلفة بالمقارنة مع الشاهد، حيث بلغ محتوى التربة من الكالسيوم المتاح (1316.1ppm,1315.6ppm,1315.5ppm,1314.9ppm, 1316.2ppm) في كل من المعاملات (T3,T4,T5,T6,T7) على الترتيب. ويمكن أن يُعزى ذلك إلى تحرر كاتيونات الكالسيوم عبر عملية انحلال الصخر الفوسفاتي (Khasawneh and Doll,1978). وتجدر الإشارة إلى أن تأثير المعاملات المستخدمة في محتوى التربة من الكالسيوم المتاح كان في نهاية موسم النمو مشابهاً لما تمت ملاحظته في منتصف موسم النمو.

الجدول (3): **تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في محتوى التربة من الكالسيوم المتاح**

	Available Ca (ppm)		Treatements	
Average	T Ⅱ	T Ⅰ	T	Number
1314.04	1314.40^{d}	1313.67^{c}	Q	T1
1333.1	1334.33^{a}	1331.87^{a}	C	T2
1316.1	1316.60^{b}	1315.57^{b}	PRS	T3
1315.6	1316.40^{b}	1314.80	PRFY	T4
1315.5	1315.93^{bc}	1315.13^{bc}	PRHX	T5
1314.9	1315.33^{cd}	1314.53^{bc}	PRVC	T6
1316.2	1316.27^{bc}	1315.10^{bc}	PRMY	T7
	0.6429	1.182	LSD 0.05	

في حال وجود حرف مخالف بنفس العمود (a,b,c...) يعني وجود اختلاف معنوي عند $LSD_{0.05}$

ويمكن ترتيب متوسط المعاملات خلال فترتي النمو (T Ⅰ وT Ⅱ) من حيث التأثير في محتوى التربة من الكالسيوم المتاح

T2 > T7 > T3 > T4 > T5 > T6 > T1

4-3- تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في محتوى التربة من الفوسفور المتاح:

يتضح من (الجدول 4) أن المعاملات المستخدمة جميعها قد أدَت إلى زيادة معنوية في محتوى التربة من الفوسفور المتاح بالمقارنة مع الشاهد سواء في منتصف موسم النمو(T I) أو في نهايته(T II). ولقد سجلت المعاملة (T3) والتي تضمنت (إضافة الصخر الفوسفاتي والكبريت الزراعي معاً) أكبر زيادة في محتوى التربة من الفوسفور المتاح بالمقارنة مع الشاهد من جهة والمعاملات الأخرى المستخدمة من جهة أخرى، حيث بلغ محتوى التربة من الفوسفور المتاح في هذه المعاملة (18.85ppm ،18.90ppm) في الفترتين (T I) و(T II) على الترتيب. مقابل ذلك بلغ محتوى التربة من الفوسفور المتاح في معاملة الشاهد (T1) (7.80ppm ، 7.69ppm) في منتصف ونهاية موسم النمو على الترتيب. ويُعزى ذلك إلى أكسدة الكبريت الزراعي وتحرر حمض الكبريت وبالتالي زيادة محتوى التربة من شوارد الهيدروجين التي بدورها تعمل على خفض pH التربة مما يسهم في زيادة انحلالية الصخر الفوسفاتي وتحرر الفوسفور منه بشكل متاح للنبات وهذا يتفق مع.(Hoffmann *et al.*,2012) وتشير النتائج المتحصل عليها أيضاً إلى وجود تأثير معنوي للمعاملتين T4 و T6 في زيادة محتوى التربة من الفوسفور المتاح، حيث ازداد محتوى التربة من الفوسفور المتاح تحت تأثير المعاملة T4 (معاملة الصخر الفوسفاتي مع السماد البلدي) ليصل إلى (13.16ppm، 13.02 ppm)، كما ازداد محتوى التربة من الفوسفور في المعاملة T6 (معاملة الصخر الفوسفاتي مع الفيرمي كومبوست) ليصل إلى (14.84ppm ،14.85ppm) وذلك في الفترتين (T I) و(T II) على الترتيب، يُعزى ذلك إلى تحلل السماد العضوي وتحرر الحموض العضوية (كحمض الأوكزاليك وحمض الخل وحمض الستريك) والتي بدورها تعمل على زيادة انحلالية الصخر الفوسفاتي عن طريق إذابة البنية البلورية للصخر الفوسفاتي وتحرر الفوسفور منه بشكل متاح (Roy *et al.*,2018;Pramanik *et al.*,2009) وبنفس الوقت تعمل هذه

الحموض على ربط الكالسيوم بشكل مخلبي مما يسهم في جعل الفوسفور المتحرر من الصخر الفوسفاتي بشكل متاح للنبات .(Yadav *et al.*,2017;Scervino *et al.*,2011)

كما ازداد محتوى التربة من الفوسفور المتاح تحت تأثير المعاملة (T5) ليصل إلى 12.84ppm (، 12.80 ppm) وذلك في منتصف ونهاية موسم النمو على الترتيب.ويعزى ذلك إلى تحرر الحموض الهيومية الناتجة عن تفكك سماد الهيوماكس المضاف للتربة بفضل نشاط الكائنات الحية الدقيقة والتي بدورها تعمل على زيادة إتاحة الفوسفور عن طريق تحلل مركبات الفوسفور صعبة الذوبان كالصخر الفوسفاتي وبالتالي تحرر الفوسفور منه بشكل متاح للنبات (Atiyeh *et al.* .,2002; Yadav *et al.*, 2017)

وبالإضافة إلى ما سبق، توضح النتائج المتحصل عليها حصول ارتفاع معنوي في محتوى التربة من الفوسفور المتاح تحت تأثير المعاملة T7 (معاملة الصخر الفوسفاتي مع المايكوريزا) أيضاً بالمقارنة مع معاملة الشاهد (T1) الأمر الذي يمكن أن يُعزى إلى أن المايكوريزا تولد أحماضاً وأنزيمات (كأنزيم الفوسفاتيز) والتي بدورها تعمل على تحرير الفوسفور من مركباته الصعبة الذوبان كالصخر الفوسفاتي .(Silva *et al.*,2017;Yousefi *et al.*,2011).

الجدول (4): **تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في محتوى التربة من الفوسفور المتاح**

	Available P		Treatments	
Average	T Ⅱ	T Ⅰ	T	Number
7.75	7.69^{d}	7.80^{d}	Q	T1
11.82	11.75^{c}	11.90^{c}	C	T2
18.87	18.90^{a}	18.85^{a}	PRS	T3
13.10	13.02^{bc}	13.16^{bc}	PRFY	T4
12.82	12.80^{bc}	12.84^{bc}	PRHX	T5
14.84	14.85^{b}	14.84^{b}	PRVC	T6

T7	PRMY	11.05^{c}	10.51^{c}	10.78
LSD 0.05		1.540	1.646	

في حال وجود حرف مخالف بنفس العمود (a,b,c…) يعني وجود اختلاف معنوي عند $LSD_{0.05}$

4-4-تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في كمية الفوسفور الممتص في أوراق الذرة الصفراء:

يتضح من (الجدول5) أن المعاملات المستخدمة جميعها أدت إلى زيادة ملحوظة في محتوى نبات الذرة الصفراء من الفوسفور. ولقد بينت النتائج المتحصل عليها أن للمعاملتين T4 و T6 الأثر الأكبر في زيادة محتوى المادة الجافة لنبات الذرة الصفراء من الفوسفور، حيث بلغ محتوى النبات من الفوسفور تحت تأثير المعاملة T4(معاملة الصخر الفوسفاتي مع السماد البلدي) 0.291gr، وفي المعاملة T6 (معاملة الصخر الفوسفاتي مع سماد الفيرمي كومبوست) 0.250gr، في حين كان محتوى النبات من الفوسفور في معاملة الشاهد (T1) 0.132gr. ويُعزى ذلك إلى تحلل الأسمدة العضوية وتحرر الأحماض العضوية التي بدورها تعمل على إذابة البنية البلورية للصخر الفوسفاتي وإطلاق أيونات الفوسفات بشكل متاح وقابل للامتصاص من قبل النبات.(Roy *et al.*,2018) كما كان للمعاملة T3 (معاملة الصخر الفوسفاتي والكبريت الزراعي) تأثير معنوي في زيادة محتوى النبات من الفوسفور، حيث بلغ محتوى النبات من الفوسفور تحت تأثير هذه المعاملة 0.226gr ويمكن أن يُعزى ذلك إلى أكسدة حمض الكبريت ونشاط الكائنات الحية الدقيقة التي بدورها تعمل على زيادة إتاحة الفوسفور للنبات عن طريق زيادة انحلالية الصخر الفوسفاتي وتحرر الأيونات الفوسفاتية من الصخر الفوسفاتي وجعلها سهلة الامتصاص من قبل النبات (Mohammady *et al.*,2012).

كما أوضحت النتائج إلى وجود تأثير معنوي للمعاملة T5 (معاملة الصخر الفوسفاتي مع سماد والهيوماكس) في زيادة محتوى المادة الجافة لنبات الذرة الصفراء من الفوسفور، حيث بلغ محتوى

النبات من الفوسفور تحت تأثير هذه المعاملة 0.218gr، ويمكن أن يُعزى ذلك إلى الاحماض الهيومية التي تعمل على زيادة ذوبانية مركبات الفوسفور في التربة والارتباط مع الفوسفور المتحرر من مركباته على شكل مركبات هيومية فوسفورية والتي يمتصها النبات بسهولة أكبر (Yang *et al.*,2019). بالإضافة إلى ماسبق توضح النتائج المتحصل عليها تأثيراً معنوياً للمعاملة T7 (معاملة الصخر الفوسفاتي مع المايكوريزا) في محتوى المادة الجافة من الفوسفور بالمقارنة مع الشاهد، حيث بلغ محتوى الأوراق من الفوسفور في هذه المعاملة 0.174gr، الأمر الذي يمكن أن يُعزى إلى المفرزات الحامضية للمايكوريزا التي تعمل على إذابة مركبات الفوسفات الصعبة الذوبان وجعل الفوسفور المتحرر منها متاحاً و سهل الامتصاص من قبل النبات (Sabannavaer *et al.*,2009;Wahid *et al.*,2016) ويضاف إلى ذلك أن هذه الفطريات تتكون أساساً من شبكة من الخيوط الفطرية تربط داخل النبات بالتربة المحيطة به وبالتالي تزيد من قدرة النبات على امتصاص الفوسفور من التربة بشكل أفضل من الشعيرات الجذرية للنبات (Hazzoumi *et al.*,2017).

الجدول (5): **تأثير التداخل بين الصخر الفوسفاتي والنوع السمادي في كمية الفوسفور الممتص في أوراق الذرة الصفراء:**

Absorbed P (gr \Dw)	P % in plant	Dry matter (gr)	Treatments	
			Code	Number
0.132^{e}	0.249^{b}	52.67^{e}	Q	T1
0.230^{c}	0.359^{ab}	64.10^{c}	C	T2
0.226^{c}	0.356^{ab}	63.53^{c}	PRS	T3
0.291^{a}	0.355^{b}	82.25^{a}	PRFY	T4
0.218^{c}	0.365^{a}	59.57^{d}	PRHX	T5
0.250^{b}	0.361^{ab}	69.30^{b}	PRVC	T6

T7	PRMY	50.77^{e}	0.344^{c}	0.174^{d}
LSD 0.05		2.286	0.006042	0.01064

في حال وجود حرف مخالف بنفس العمود (a,b,c…) يعني وجود اختلاف معنوي عند $LSD_{0.05}$

4-الاستنتاجات والمقترحات:

انطلاقاً من النتائج المتحصل عليها في هذا البحث يمكن وضع الاستنتاجات الآتية:

1-كان للتداخل بين الصخر الفوسفاتي والكبريت الزراعي التأثير الأكبر في خفض pH التربة وزيادة تحرر الفوسفور من الصخر الفوسفاتي بأشكال متاحة للنبات.

2-أسهمت الأسمدة العضوية (السماد البلدي وسماد الهيوماكس وسماد الفيرمي كومبوست بفعالية في إذابة الصخر الفوسفاتي ورفع محتوى التربة من الفوسفور القابل للإفادة.

3-ساهمت المايكوريزا (*Glomus mousseae*) في خفض درجة pH مما انعكس إيجاباً على تحرر الفوسفور من الصخر الفوسفاتي بأشكال قابلة لإفادة النبات.

4- إجراء المزيد من التجارب للوقوف على ماهية تأثير خلط الصخر الفوسفاتي مع الكبريت الزراعي والأسمدة العضوية والتلقيح بالمايكوريزا في إتاحة الفوسفور في التربة الكلسية.

المراجع العربية

-عباس، محمود وجبيلي، يوسف (1996): الفوسفات في سورية.مجلة عالم الذرة-هيئة الطاقة الذرية في سورية. 43: 70-83.

-كناكري،سلوى(1990):تقرير حول إمكانية استخدام الصخر الفوسفاتي في التسميد المباشر.منشورات هيئة الطاقة الذرية .

المراجع الأجنبية

-Albanell E, Plaixats J, Cabrero T (1988). Chemical changes during vermicomposting (Eisenia fetida) of cow manure mixed with cotton industrial wastes. Biol Fert Soils 6:266-269.

-Atiyeh RM, Lee S, Edwards CA, Arancon NQ, Metzger JD (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresour Technol 84:7-14.

-Bai J, Ye X, Jia J, Zhang G, Zhao Q, Cui B, Liu X (2017). Phosphorus sorption-desorption and effects of temperature, pH and salinity on phosphorus sorption in marsh soils from coastal wetlands with different flooding conditions. Chemosphere 188:677-688.

-Besharati H, Atashnama K, Hatami S (2007). Biosphere as a fertilizer in a calcareous soil with low available phosphorus. African J. of Bio. Tech. 6:1325-1329.

-Baruah ,T.C.and Barthakur,H.P.(1997): A text book of soil analysis.Vices publishing House PVT.LTD.

-Devau,N;Hinsinger,P;Cadra,E;and Gerard,F.Root(2011). induced processes controlling phosphate availability in soils with contrasted P-fertilizerd treatments.plant and Soil,343,.203-218.

-Ditta, A.; Imtiaz, M.; Mehmood, S.; Rizwan, M.S.; Mubeen, F.; Aziz, O.; Qian, Z.; Ijaz, R.; Tu, S.(2018). Rock phosphate-enriched organic fertilizer with phosphate-solubilizing microorganisms improves nodulation, growth, and yield of legumes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, *49*, 2715–2725.

-Hazzoumi Z., Moustakime Y., Joutei K. A. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and water stress on ultrastructural change of glandular hairs and essential oil compositions in *Ocimum gratissimum*. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4:20. 10.1186/s40538-017-0102-z .

-Hoffmann, J., Korzeniowska, J., Stanisławska-Glubiak, E. & Hoffmann, K. (2012). Increasing efficiency of phosphate rock by sulfur addition. Part 1. Technological issues regarding manufacturing of phosphate rock-sulfur fertilizers. Przem. Chem. 5, 745-748 .

-Jalali M, Jalali M (2016). Relation between various soil phosphorus extraction methods and sorption parameters in calcareous soils with different texture. Sci Total Environ 566:1080–1093.

-Johnston, A.E.; Poulton, P.R.; Fixen, P.E.; Curtin, D. Chapter Five(2014).Phosphorus: Its efficient use in agriculture. In *Advances in Agronomy*; Sparks, D.L., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA; pp. 177–228.

-Jupp, A.R.; Beijer, S.; Narain, G.C.; Schipper, W.; Slootweg, J.C.(2021) Phosphorus recovery and recycling—closing the loop. *Chem. Soc. Rev*, *50*, 87–101.

-Khalil, A.(2013). A significance of some soil amendments and phosphate issolving bacteria to enhance the availability of phosphate in calcareous soil. ISRN Soil Science, Article ID 438949, 7 pages.

-Khasanch,F.Eand Doll,E.C.(1978):The Use of phosphate Rock for Direct Application to Soils.Ad.Agron.,30,159-206.

-Klaic, R.; Plotegher, F.; Ribeiro, C.; Zangirolami, T.; Farinas, C.(2017). A novel combined mechanical-biological approach to improve rock phosphate solubilization. *Int. J. Miner. Process.* , *161*, 50–58.

-Leytem AB, Mikkelsen RL (2005) .The nature of phosphorus in calcareous soils. Better Crops 89:11–13.

-Li F, Liu L, Liu J, Yang K (2019). Abiotic and biotic controls on dynamics of labile phosphorus fractions in calcareous soils under agricultural cultivation. Sci Total Environ 681:163–174.

-Liu, J.; Yang, L.; Luan, M.; Wang, Y.; Zhang, C.; Zhang, B.; Shi, J.; Zhao, F.-G.; Lan, W.; Luan, S. (2015).A vacuolar phosphate transporter essential for phosphate homeostasis in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, *112*, E6571–E6578.

-Mohammady Aria M, Lakzian A, Haghnia GH, Berenji AR, Besharati H, Fotovat A (2010) Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the

water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. Bioresour Technol 101:551-554.

-Olsen,S.R.,Collie,C.V.,Wataanabe,F.S.,Dean(1954): Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate).U.S Department of Agriculture,circular 939.

-Pramanik P, Bhattacharya S, Bhattacharyya P, Banik P (2009). Phosphorous solubilization from rock phosphate in presence of vermicomposts in Aqualfs. Geoderma 152:16-22.

-Reyes I, Valery A, Valduz S, Anoun H (2006). Phosphate-solubilizing microorganisms isolated rhizospheric and bulk soils of colonizer plants at an abandoned phosphate rock mine. Plant and Soil 287:69-75.

-Roy, T.; Biswas, D.R.; Datta, S.C.; Sarkar, A (2018). Phosphorus Release from Rock Phosphate as Influenced by Organic Acid Loaded Nanoclay Polymer Composites in an Alfisol. *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B Boil. Sci,88*, 121-132.

-Sabannavar S. J., Lakshman H. C. (2009). Effect of rock phosphate solubilization using mycorrhizal fungi and phosphobacteria on two high yielding varieties of *Sesamum indicum* L. *World J. Agric. Sci.* 5 470-479.

-Sarikhani, M.R.; Khoshru, B.; Greiner, R.(2019). Isolation and identification of temperature tolerant phosphate solubilizing bacteria as a potential microbial fertilizer. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, *35*, 126.

-Scervino, J.; Papinutti, V.; Godoy, M.; Rodriguez, M.; Della Monica, I.; Recchi, M.; Pettinari, M.; Godeas, A.(2011). Medium pH, carbon and nitrogen concentrations modulate the phosphate solubilization efficiency of

Penicillium purpurogenum through organic acid production. *J. Appl. Microbiol. 110*, 1215–1223.

–Silva, U.C.; Medeiros, J.D.; Leite, L.R.; Morais, D.K.; Cuadros–Orellana, S.; Oliveira, C.A.; de Paula Lana, U.G.; Gomes, E.A.; Dos Santos, V.L.(2017). Long–Term Rock Phosphate Fertilization Impacts the Microbial Communities of Maize Rhizosphere. *Front. Microbiol. 8*, 1266.

-Urritia,O;Erro,J;Guadado,sanFrancisco,S;Mandado,M;Baigorri,AndMA Garcia–Mine,J.(2014).physico –chemical characterization of humic metal phosphate complexes and their poyential application to the manufacture of new types of phosphate based fertilizers.Journal of plant Nutrition and soil science,177(2), 128–136.

–Wahid, F.; Sharif, M.; Steinkellner, S.; Khan, M.A.; Marwat, K.B.; –Khan, S.A. (2016).Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria in the presence of rock phosphate improves phosphorus uptake and growth of maize. *Pak. J. Bot.* , *482*, 739–747.

–Walkler ,T.W.and J.K.Syers,(1976):The fate of phosphours during pedogenesis.Geoderma,15:1–19.

–Walkley,A and Black,I.A.,(1934).An Examination of Degtjaraff Method for Determining Soil Organic Matter and proposed Modification of the Chromic Acid Method.Soil Science,37.29–38.

-Walpola, B.C.(2012). Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Afr. J. Microbiol. Res.*, *6*, 6600-6605]

-Wang,L;and T.(2014).Liang.effect of exogenous rare earth elemants on phosphorus adsorpation and desorpation in different types of soils.Chemosphere.103.148-155.

-Weeks JR,and Hettlarchchl,G,M.(2019).Areview of the latest in phosphorus fertilizertechnology:Possibilitiesand pragmatism.Journal of Enveronmental Quility 48(5):,1300-1313.

-Yadav, H.; Fatima, R.; Sharma, A.; Mathur, S.(2017). Enhancement of applicability of rock phosphate in alkaline soils by organic compost. *Appl. Soil Ecol*, *113*, 80-85.

-Yang, X.; Chen, X.; Yang, X.(2019). Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil Tillage Res*, *187*, 85-91.

-Yousefi, A.A.; Khavazi, K.; Moezi, A.A.; Rejali, F.; Nadian, H.A.(2011). Phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth. *World Appl. Sci. J.* , *15*, 1310-1318.

-Yousif,A.M and M.A. Abdalla.2009.Vari -ation in nitrogen mineralization from differ- rent manures in semi-arid tropic of Sudan with reference to

salt-affected soils. Inte- mational Journal of Agriculture Bio- logy,11.PP:515-520.

-Zapata, F. FAO/IAEA(2003) research activities on direct application of phosphate rock for sustainable crop production. In *Direct Application of Phosphate Rock and Related Appropriate Technology-Latest Development and Practical Experiences, Proceedings of the International Meeting, Kuala Lumpur, Malaysia, 16-20 July 2001*; IFDC—An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development: Washington, DC, USA; pp. 100-109.