مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (37) العدد (4) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (37) No. (4) 2015

استجابة نبات الترمس الأبيض .*Lupinus albus* sp للتسميد بالصخر الفوسفاتي ودور الأحماض العضوية في عملية انحلاله

الدكتورة ليلى حبيب*
حاتم مجر**

(تاريخ الإيداع 26 / 4 / 2015. قبل للنشر في 5 / 8 / 2015)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى دراسة استجابة نبات الترمس الأبيض *Lupinus albus* sp للتسميد بالصخر الفوسفاتي وتحديد الدور الذي تلعبه الأحماض العضوية منخفضة الكتلة الجزيئية في تحرير الفوسفور. نفذت الدراسة من خلال تجربتين : تجربة أصص تضمنت معاملة الصخر الفوسفاتي PR ومعاملة السوبر فوسفات الثلاثي TSP بواقع 3 معدلات لكل معاملة و 3 مكررات لكل معدل، وتجربة مخبرية لدراسة دور حمضي الستريك والماليك في انحلال الصخر الفوسفاتي و أثر تركيز الحمض العضوي ودرجة الـpH الأولية على عملية الانحلال. لقد بينت النتائج استجابة نبات الترمس الأبيض للتسميد بالصخر الفوسفاتي لكنها بقيت أقل من استجابته للسوبر فوسفات الثلاثي، حيث بلغت الفعالية الزراعية النسبية للصخر الفوسفاتي حوالي 61%. يعتقد بأن تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي بواسطة الأحماض العضوية الراشحة من جذور النبات كحمضي الستريك والماليك من خلال ميكانيكيتين: **الأولى** تخفض درجة الحموضة في محيط جذور النبات من جهة وهي المسؤولة عن 64% من عملية الانحلال، **والثانية** هي إمكانية ربط الكالسيوم من قبل الأحماض العضوية كعوامل تمخلب مما يشجع في عملية انحلال الصخر الفوسفاتي وكانت مسؤولة عن 34% من عملية الانحلال للصخر الفوسفاتي. لقد تأثرت عملية انحلال الصخر الفوسفاتي بتركيز الحمض العضوي، حيث ازدادت عملية الانحلال بزيادة تركيز الحمض وكانت أعلى عند حمض الستريك عن الماليك ، كما تأثرت بدرجة الـpH الأولية فانخفض الانحلال بارتفاعها.

الكلمات المفتاحية :انحلال، الصخر الفوسفاتي، الترمس الأبيض، حمض الستريك، حمض الماليك.

*أستاذ – قسم علوم التربة و المياه. كلية الزراعة. جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
**طالب ماجستير – قسم علوم التربة والمياه. كلية الزراعة. جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (37) العدد (4) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (37) No. (4) 2015

Response of *Lupinus albus* sp. to Phosphate Rock application and the role of organic acid in its dissolution processes

Dr. Leila Habib[*]
Hatem Majar[**]

(Received 26 / 4 / 2015. Accepted 5 / 8 /2015)

□ ABSTRACT □

The objectives of this were to investigate the response of *Lupinus albus* sp. to phosphate rock (PR) as a source of phosphorus (P) nutrition, and to study the role organic acid (Citric and Malic) in phosphorus dissolution from PR. Tow experiments were conducted: 1) A greenhouse pot experiment, in order to study the response of white lupin to the application of PR and Triple super phosphate TSP at three application rates (100-450-800 ppm). 2)- A laboratory experiment in order to study the role of Citric and Malic acids concentration and initial pH in P- release from PR. The results showed that *Lupinus albus* sp. was able to use PR for P-nutrition, and has a relative agronomic effectiveness of 61% when compared to TSP. The possible Exuded organic acids such as Citric and Malic were responsible for PR dissolution due to tow mechanisms: 64% of PR dissolution was due to pH decrease in the rhizosphere area, and 34% due to chelating of calcium cations. PR dissolution was increased by the increase organic acid concentration, but decreased when the initial pH value increased. Dissolution was always more pronounced with citric than malic acid.

Key words : Dissolution, Phosphate Rock, *Lupinus albus* sp, Citric acid, Malic acid.

[*] **Professor , soil and water sciences department. Faculty of agriculture. Tishreen university. Lattakia. Syria**
[**] **Postgraduate student. Soil and water sciences department. Faculty of agriculture. Tishreen university. Lattakia. Syria**

مقدمة :

يعود العائق الأساس لاستخدام الصخر الفوسفاتي في التسميد المباشر لتدني معدل انحلاله خاصة في الترب القاعدية بسبب ارتفاع درجة الـ pH، وتزداد صعوبة الانحلال عندما يحتوي محلول التربة على كاتيونات الكالسيوم كما في الترب الكلسية. من هنا جاءت ضرورة البحث عن أساليب مساعدة لعملية الانحلال، كإضافة بعض المحسنات العضوية كالزبل البقري (سعيد و حبيب، 2011)، والكبريت العنصري (ناصر و حبيب؛ 2009). والتحميض الجزئي للصخر الفوسفاتي (RAJAN *et al.*,1994). يلعب النبات دوراً أساسياً في عملية انحلال الصخر الفوسفاتي في التربة وذلك تبعاً لطبيعة الراشحات الجذرية التي يفرزها تحت ظروف نقص الفوسفور (كإضافة مصادر فوسفاتية ضعيفة الانحلال كالأباتيت [Ca_{10} $(PO_4)_6$ F_2]) من جهة، ومن جهة أخرى على القدرة العالية لبعض النباتات على امتصاص الكالسيوم المنحل في محلول التربة، أو استخلاصه من الصخر الفوسفاتي عن طريق تشكيل معقد الشلات بواسطة الأحماض العضوية المفرزة من المجموع الجذري مما يؤدي لحدوث خلل في الشبكة البلورية لبنية الصخر يسبب تحرير أنيونات الفوسفات إلى المحلول. فقد استخدم Montenegro و Zapata (2002) نباتات اللفت الزيتي والترمس والبازلاء العلفية نظراً لقدرة جذورها على تحرير أنواع من الأحماض العضوية تسهم في زيادة انحلال وإتاحة عنصر الفوسفور في ترب الـ Alfisol، بينما بين باحثون آخرون قدرة نبات اللفت الزيتي على استخدام الصخر الفوسفاتي كمصدر للتغذية الفوسفورية حتى في الترب القاعدية (Habib *et al.*,1999؛Chien,2003؛ ناصر وحبيب، 2009). تتميز النباتات البقولية بكفاءة عالية لاستخدام الصخر الفوسفاتي وذلك بسبب كفاءتها في استخلاص وامتصاص نواتج انحلال الصخر الفوسفاتي نتيجة حاجتها الكبيرة لعنصر الكالسيوم، وكذلك للأثر الحامضي لعملية التثبيت الحيوي للآزوت الجوي ضمن منطقة الرايزوسفير (Kamh *et al.*,1999). لقد بينت دراسة لـ Lipton وزملائه (1987) و Gardner وزملائه (1982) بأن نبات الترمس الأبيض *Lupinus albus* sp يطرح الأحماض العضوية وخصوصاً حمض الستريك والماليك من الشعيرات الجذرية، مما يسهم في زيادة إتاحة عنصر الفوسفور من خلال تحريره من مركبات فوسفات الحديد والألمنيوم والكالسيوم صعبة الانحلال.

تختلف الأحماض العضوية في قدرتها على تحرير الفوسفور من المصادر الفوسفاتية قليلة الانحلال وفق عدد المجموعات الوظيفية الحمضية فتأتي في المقدمة الأحماض ثلاثية الوظيفة الكربوكسيلية ثم الثنائية فالأحادية المجموعة الوظيفة الكربوكسيلية (Gardner *et al.*,1983). يشكل المجموع الجذري لنبات الترمس الأبيض تجمعات عنقودية من الشعيرات الجذرية على الجذور الجانبية التي تعطي الشكل المثالي لاستجابة الترمس لنقص الفوسفور (Johnson *et al.*,1996)، تقوم هذه التجمعات بطرح السترات بشكل بكميات كبيرة تتراوح ما بين 11-23% من الوزن الجاف للنبات وذلك تبعاً لعمر النبات ودرجة نقص الفوسفور (Dinkelaker *et al.*, 1989 ;Gardner *et al.*,1983)، ولاحظ Neumann و زملاؤه (1999) أن حمض الستريك يتركز في كامل نسج التشكلات العنقودية ويتم إفرازه من المنطقة الوسطى والطرفية في حين أن حمض الماليك يتركز طرحه فقط من نسج المنطقة الطرفية. و تتلخص آلية تحرير الفوسفور بواسطة هذه الأحماض العضوية بقدرتها على خفض لدرجة pH الوسط من خلال تحرير شوارد الهيدروجين (Hoberg *et* al.,2005 و Anderson *et al.*,1985) أو من خلال ربط شوارد الكالسيوم المرافقة لانحلال الصخر الفوسفاتي بالرباطات العضوية (جذور المالات والسترات في حالة الترمس الأبيض) (Dinkelaker *et al.*,1989) وبالتالي تحرير شوار الفوسفور ضمن المحلول من خلال تفاعلات تبادل الرباطات Ligand Exchange (Welch *et al.*,2002).

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من خلال اهتمامه باستخدام الصخر الفوسفاتي كأحد الخامات الطبيعية التي يملكها القطر العربي السوري، فإن استخدام مصادر طبيعية متدنية التكلفة مباشرة في الزراعة سيعود بالفائدة على المزارع مقابل التكلفة الباهظة للأسمدة الكيميائية. كما يتمتع الترمس الأبيض بقيمة غذائية عالية للإنسان والحيوان تعطي أهميه ثانية لهذه الدراسة، أما الأهمية الثالثة فتأتي من خلال تنفيذ البحث في تربة قاعدية تحتوي 3.7% كربونات كالسيوم وذلك خلافاً لمعظم الدراسات السابقة التي ركزت على الترب الحامضية . ويهدف البحث إلى دراسة مدى قدرة نبات الترمس للاستجابة للإضافة المباشرة للصخر الفوسفاتي وذلك من خلال تجربة أصص في البيت البلاستيكي، ومن ثم دراسة دور أحماض عضوية منخفضة الكتلة الجزيئية على انحلال الصخر الفوسفاتي وذلك من خلال تنفيذ تجارب مخبرية.

طرائق البحث ومواده:

- التربة :جمعت التربة من حقل بور في منطقة الهنادي (اللاذقية) نخلت بمنخل أقطار فتحاته 5 mm لتجربة الأصص و 2 mm للتحاليل المخبرية، تم إجراء التحاليل المتعلقة بالخصائص الفيزيائية والكيمائية بحسب Black وزملائه (1965)، حيث حُدد قوام التربة بطريقة الهيدرومتر (Bouyoucos, 1962) وكربونات الكالسيوم بطريقة المعايرة الرجعية Back titration، والمادة العضوية بطريقة (Walkely and Black، 1934). أظهرت نتائج التحليل بأن التربة ذات قوام رملي لومي، وهي مائلة للقاعدية وذات محتوى منخفض من كربونات الكالسيوم الكلية (3.7%)، وكذلك محتوى منخفض من الفوسفور المتاح (2.4mg/kg) مما يجعلها مناسبة لهذه الدراسة (جدول 1).
- الصخر الفوسفاتي : تم جمع الصخر الفوسفاتي من تكشفات الفوسفات السورية في الساحل السوري منطقة عين ليلون ثم طحنه وتنخيله بمنخل فتحاته 100 mesh (150 µm)، يحتوي 12.2% فوسفور كلي (ناصر و حبيب، 2009)، وبينت الدراسات انه يتمتع بفاعلية زراعية وكيميائية مرتفعة في ظروف التربة الحامضية (حبيب و زملائها، 2002) .
- السماد الفوسفاتي : تم استخدام السوبر فوسفات الثلاثي (Triple Super Phosphate=TSP) يحتوي 46% P_2O_5 لمقارنة استجابة النبات للصخر االفوسفاتي.
- المادة النباتية : تم اختيار نبات الترمس الأبيض *Lupinus albus sp* الذي يتبع الفصيلة البقولية نظراً لامتلاكه لخصائص تمكنه الاستفادة من المصادر الفوسفاتية بطيئة الانحلال. تم تحضير اللقاح الميكروبي عن طريق تنميته باستخدام عقد جذرية فعالة لنباتات ترمس الأبيض جمعت من حقول سبق أن زرعت بالترمس. ثم تم إجراء العدوى للبذور عند الزراعة.

جدول (1) : أهم خصائص التربة المستخدمة في التجربة

القوام (Texture)	
الطين%	16.8
السلت%	14.7
الرمل%	68.5

7.4		(1:2.5) pH_{H2O}
2.9	%	الكربون العضوي
3.7	%	$CaCO_3$
8.5	meq/100g	الكالسيوم المتبادل
14.1	meq/100g	CEC
2.4	mg/kg	Olsen-P

أولاً: تجربة الأصص : تهدف لدراسة استجابة النبات للصخر الفوسفاتي. فقد حضر معاملتين، معاملة الصخر الفوسفاتي (PR) ومعاملة السوبر فوسفات (TSP) بثلاث معدلات 100، 450، 800 مغP/كغ تربة سُميت PR3, PR2, PR1 على التوالي لمعاملة الـPR و TSP3, TSP2, TSP1 على التوالي لمعاملة الـTSP، إضافة للشاهد Controlالذي لم يتلق أي إضافات فوسفاتية وذلك بواقع ثلاث مكررات، وزعت التربة في أصص بلاستيكية سعة 3 كغ وإضافة الأسمدة الفوسفاتية وفق كل معاملة، تمت عملية الزراعة بمعدل 8 بذور ومن ثم التفريد إلى 5 نباتات، كما أضيف البوتاسيوم على شكل سلفات البوتاسيوم K_2SO_4 (K_2O % 50) بمعدل 500 مغK/كغ لتأمين تجانس توزع السماد، لم تضف الأسمدة الآزوتية للأصص بهدف الاعتماد على التثبيت الحيوي للآزوت مما قد يساعد في زيادة كفاءة استخدام الصخر الفوسفاتي. تم ري النباتات كلما دعت الحاجة، وحُصد المجموع الخضري للنبات عند بداية الازهار. تم تجفيفه على حرارة 70 مo ثم سجل وزنها الجاف. بعد حصاد التجربة تم أخذ عينات من تربة الأصيص وسميت بالتربة غير الرايزوسفيرية Non-Rhizospheric Soil (NRS)، وكذلك تم جمع التربة العالقة على الجذور وسميت بالتربة الرايزوسفيرية Rhizospheric Soil (RS). تم هضم عينة نباتية بطريقة الهضم الجاف ثم قدر الفوسفور الكلي الممتص Total-P uptake بطريقة الفاندايت موليبدات (Chapman and Pratt, 1961 In Ryan *et al.*, 2001) والكالسيوم الممتص بطريقة المعايرة بـ EDTA (Ethylene Diamine Tetra Acitic Acid) لعينة من محلول الهضم. كما قدر محتوى كل من التربة الرايزوسفيرية وغير الرايزوسفيرية من الفوسفور المتاح بطريقة أولسن (Olsen-P)، كما تم قياس درجة الـ pH في معلق مائي (Soil:H_2O 1:2.5) لكلا التربتين باستخدام جهاز الpH-meter.

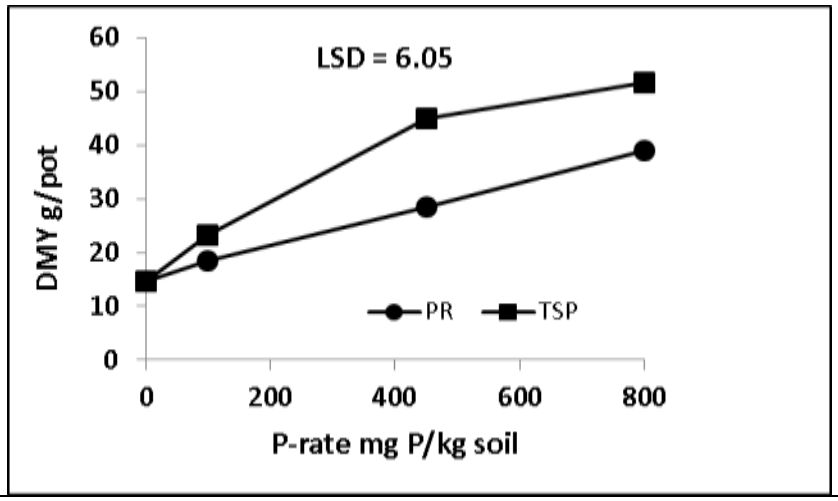
ثانياً: التجربة المخبرية : تهدف دراسة دور حمضي الستريك Citric acid ($C_6O_7H_8$) الذي يحتوي ثلاث مجموعات وظيفية حمضية، وثلاث ثوابت تشرد Pka_1, PKa_2, PKa_3 تساوي (3.13, 4.67, 6.40) على التوالي. والماليك Malic acid ($C_4O_5H_6$) الذي يحتوي مجموعتين وظيفيتين حمضية، وثابتي تشرد Pka_1, PKa_2, تساوي (3.40, 5.11) على التوالي. تم اختيارهما باعتبارهما المفرزين الأساسيين لجذور نبات الترمس الأبيض في انحلال الصخر الفوسفاتي.

قبل البدء بدراسة الانحلال غُسلت عينة الصخر الفوسفاتي بالماء المقطر 10 مرات وذلك للتخلص من الفوسفور المنحل بالماء. قُسمت التجربة على قسمين : **الأول** يهدف لدراسة أثر نوع الحمض وتركيزه على انحلال الصخر الفوسفاتي حيث أُضيف 30 مل من الحمض العضوي بتراكيز متزايدة (0-0.5- 1-5-10 mmol/L) إلى 75 مغ من الصخر الفوسفاتي (بواقع مكررين) في أنابيب بلاستيكية. **الثاني** يهدف لدراسة أثر درجة الـ pH الأولية لوسط التفاعل على تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي من قبل الحمض العضوي الذي أضيف بتركيز 1 mmol/L

لكل من حمضي الستريك والمالك، تم ضبط درجة الـ pH بواسطة HCl، NaOH (0.1N) على 3، 4، 5، 6، 7. تم خض الأنابيب على خضاض ميكانيكي دوراني مدة 24 ساعة، تم قياس درجة الـ pH لجميع الأنابيب، ثم فُصل الجزء الطافي بالطرد مركزي (6000 دورة/دقيقة)، و قُدر الفوسفور المنحل في الجزء الطافي بطريقة Watanabe و Olsen، (1965) .

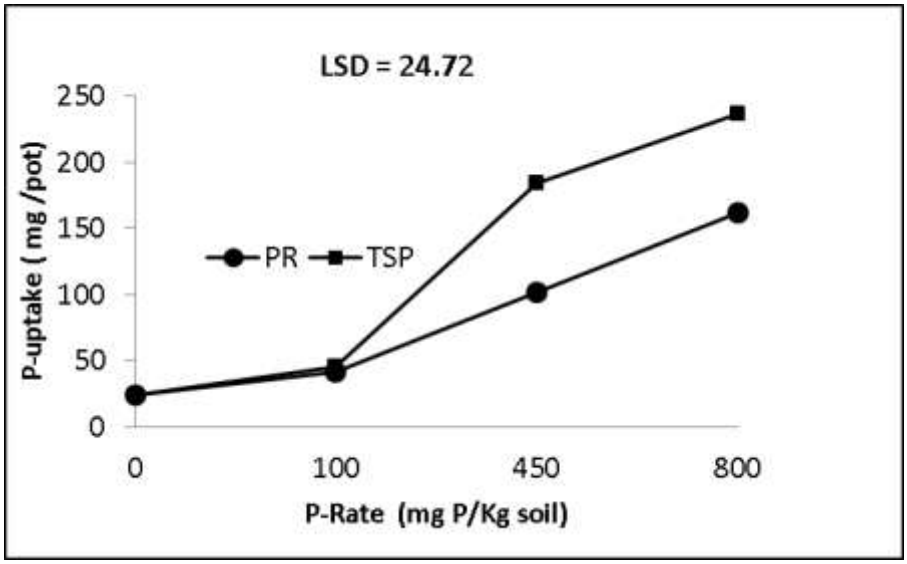
النتائج و المناقشة:

تتحدد فعالية الصخر الفوسفاتي باستجابة النبات له التي يعبر عنها بكمية النمو الذي يحققه، أو من خلال الكمية الكلية للفوسفور الممتص من قبل النبات . يبين الشكل (1) أن نمو وإنتاجية نبات الترمس من المادة الجافة قد ازداد مع زيادة معدل التسميد بكلا الشكلين من المصدر الفوسفاتي وقد كانت هذه الزيادة معنوية بين مستويات الاضافة الثاني والثالث (450 و 800 مغ/كغ تربة) بالمقارنة مع الشاهد. كما يلاحظ بأن هذه الزيادة كانت أسية في معاملة الـ TSP ، حيث تباطأت الزيادة في إنتاج المادة الجافة في هذه المعاملة بعد المعدل الثاني 400 مغ/كغ تربة في حين استمرت الزيادة بشكل خطي في معاملة PR بعد المعدل الثاني، لكن بقي انتاج المادة الجافة أقل بطريقة معنوية عند المعدلين الثاني والثالث بالمقارنة مع ما أنتجته معاملة الـTSP.



شكل (1) : الإنتاج من المادة الجافة للمجموع الخضري لنبات الترمس الأبيض

إن نتائج الفوسفور الكلي الممتص أخذت منحى مشابه لنتائج المادة الجافة المنتجة، حيث تفوق الصخر الفوسفاتي على الشاهد بشكل معنوي عند المستويين الثاني والثالث، كذلك تفوقت معاملة TSP على PR عند المستويين الثاني و الثالث (شكل 2).

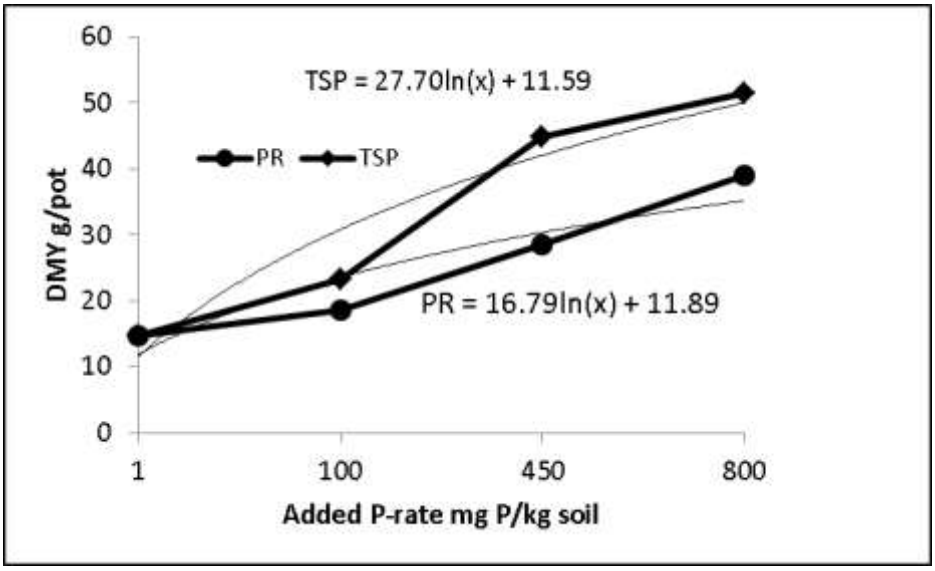


شكل (2) : الفوسفور الكلي الممتص من قبل نبات الترمس الأبيض

لمقارنة استجابة الترمس الأبيض للصخر الفوسفاتي، تم حساب الفعالية الزراعية النسبية (Relative Agronomic Effectiveness= RAE%) ويقصد بها مقارنة كمية المادة الجافة المنتجة من استخدام سماد فوسفوري كالصخر الفوسفاتي، مع كمية المادة الجافة المنتجة من المعاملة التي استقبلت المعدّل نفسه من الفوسفور لكن على شكل سماد قابل للذوبان في الماء كالـ TSP. ويتم حسابها من خلال استخدام المعادلة نصف اللوغاريتمية لمنحني الاستجابة، حيث استُخدمت هذه الطريقة من قبل عدد كبير من الباحثين منهم (Leon *et al.*,1986؛ Chien *et al.*,1990؛ Habib *et al.*,1999 ؛ ناصر و حبيب، 2009)

$$y_i = y_o + Bi\ln(X) \qquad X \geq 1$$

Yi = كمية المادة الجافة مقدرة غ/أصيص للسماد الفوسفوري المدروس (PR)، Yo = كمية الإنتاج بغياب المصدر الفوسفوري (الشاهد) X= معدّل الفوسفور المضاف مقدّراً بـ ppm ، Bi = معامل التراجع الخطي نصف اللوغاريتمي للعلاقة بين إنتاج المادة الجافة ومعدل المصدر الفوسفوري المضاف، وهي عبارة عن ميل المنحنى البياني الذي يعبر عن الزيادة الناتجة عن كل 1 مغ من السماد المضاف. وتحسب الفعالية الزراعية النسبية من خلال حساب النسبة المئوية لحاصل تقسيم ميل الخط البياني للمعاملة المراد حساب فعاليتها الزراعية Bi (PR) على ميل المنحنى البياني لمعاملة الـTSP (B_{TSP}) (شكل3):



شكل (3) : مخطط الفعالية الزراعية النسبية للصخر الفوسفاتي

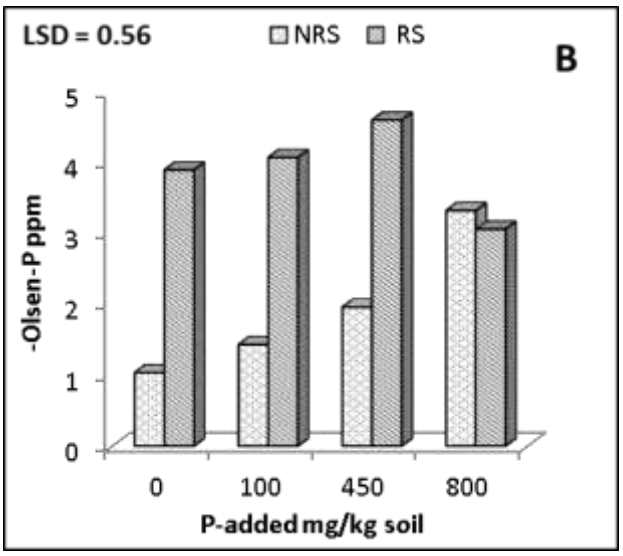
$$\mathbf{RAE\%} = \left(\frac{\mathbf{B_i}}{\mathbf{B_{TSP}}}\right) * 100$$

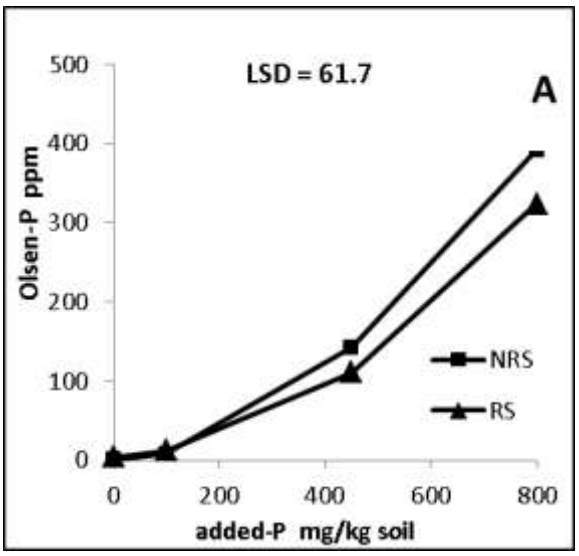
$$\boldsymbol{RAE\%} = \frac{16.79}{27.7} * 100 \triangleq 61\%$$

تُظهر هذه النتائج أن الترمس الأبيض يستخدم الصخر الفوسفاتي كمصدر للفوسفور بكفاءة جيدة وبفعالية زراعية نسبية 61% بالمقارنة مع التسميد بسماد السوبر فوسفات. كان من المتوقع الحصول على انتاج جاف وكذلك فعالية زراعية نسبية أعلى مما تم الحصول عليه، يعود سبب ذلك لتدني نمو نباتات الترمس بسبب نقص الآزوت، مما دعا للشك بعدم فعالية تثبيت الآزوت الجوي، وتم تأكيد ذلك عند الكشف على المجموع الجذري لنباتات عند الحصاد فتبين وجود عدد قليل جداً من العقد الجذرية لم يتجاوز 7 –8 عقد فعالة على النبات الواحد مما يدل على انخفاض نسبة العدوى للبذور.

ولتوضيح هذه الاستجابة تم اللجوء لتحليل محتوى التربة الرايزوسفيرية RS وغير الرايزوسفيرية NRS من الفوسفور المتاح، فلوحظ أن إضافة سماد السوبر فوسفات (معاملة TSP) ، كما هو متوقع، أدت لزيادة تركيزه في كلا عينتي التربة RS و NRS وذلك تبعاً لمعدل السماد المضاف، لوحظ أن امتصاص النبات للفوسفور المتاح أدى لانخفاض تركيزه في عينات التربة RS بالمقارنة مع NRS وكان هذا الانخفاض معنوياً عند المعدل الثالث للإضافة (شكل 4). اما في معاملات PR فلوحظ أن محتوى الفوسفور في عينات التربة أياً كان موقعها كان متدنياً بالمقارنة مع معاملة الـ TSP وكانت متقاربة مع الشاهد إلا في المعدل الثاني والثالث للإضافة (450 mg/kg soil) فكان محتواها أعلى وبطريقة معنوية مع الشاهد، وهذا متوقع بسبب تدني انحلال الصخر الفوسفاتي في التربة كونها تربة قاعدية وكلسية، لكن عند مقارنة عينتي التربة ببعضهما فكانت نتائج الفوسفور المتاح في هذه المعاملة (PR) معاكسة لمعاملة الـTSP فكان محتوى التربة الرايزوسفيرية أعلى وبطريقة معنوية من الفوسفور المتاح عند معدلي الإضافة الأول والثاني للـ PR من محتوى التربة NRS، لكن لم يكن الفرق معنوياً عند المعدل الثالث، كما لوحظت نفس النتيجة في الشاهد (شكل 4). إن نبات الترمس وبسبب قدرته على المساهمة في إذابة حبيبات الصخر الملامسة له

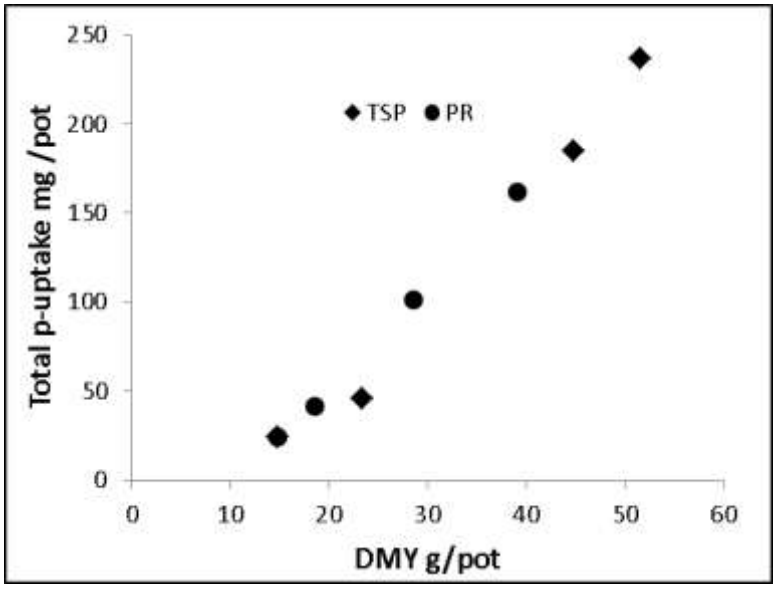
بالآليات التي سبق شرحها أدى ذلك لارتفاع محتوى التربة RS فكان حوالي الـ 4 مغ/كغ تربة، هنا يجب أن يضاف إليها الفوسفور الممتص من قبل النبات الذي تم استهلاكه من منطقة التربة الملامسة للجذر (الرايزوسفير). بالتالي يعبر الفوسفور المتاح هنا عن الفوسفور المتبقي في نهاية التجربة وليس كامل الفوسفور المنحل من الصخر الفوسفاتي و الذي من الممكن أن يكون قد امتصه النبات أو تثبت من قبل مكونات التربة ، يلاحظ أنه بزيادة معدل الإضافة يقل طرح الأحماض العضوية مما يقلل الفروقات في تركيز الفوسفور المتاح بين التربة الرايزوسفيرية وغير الرايزوسفيرية في معاملة PR.





شكل (4): الفوسفور المتاح Olsen–P في التربة الرايزوسفيرية – RS– و التربة غير الرايزوسفيرية – NRS
معاملات السوبر فوسفات الثلاثي(A) – معاملات الصخر الفوسفاتي (B)

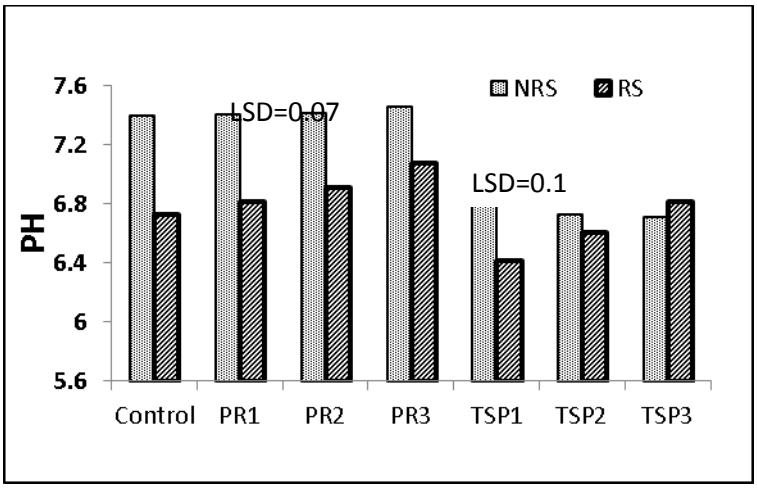
ولدى دراسة علاقة الارتباط بين محتوى التربة من الفوسفور المتاح وكمية الانتاج، فتم الحصول على علاقة ارتباط قوية بين إنتاج المادة الجافة مع الفوسفور المتاح في التربة الرايزوسفيرية والتي بلغت قيمتها حوالي 0.9، في كلا المعاملتين (TSP و PR) مما يدل بأن العامل الأساس في الانتاجية في ظل توحد شروط التجربة (بما فيها نقص الآزوت) إنما يعود لتوفر الفوسفور في التربة، وتم تأكيد ذلك من خلال حساب الفعالية الداخلية للصخر الفوسفاتي المستخدم (والتي تعرف بأنها كمية المادة الجافة المنتجة إلى الفوسفور الممتص من قبل النبات (Khasawneh and Doll, 1978) والتي بلغت حوالي 0.98 لمعاملات كلا مصدري الفوسفور (PR و TSP) (شكل 5).



شكل (5) : الفعالية الداخلية للمصدرين الفوسفاتيين (PR, TSP)

ولتبيان أثر النبات في تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي تم قياس درجة الـ pH لعينات التربة الـ RS وNRS، حيث تم مقارنة عينات التربتين لكل معاملة لوحدها. بينت النتائج أن إضافة سماد السوبر فوسفات (معاملة TSP)، أدت لانخفاض واضح ومعنوي في كلا عينتي التربةٌ RS و NRS بالمقارنة مع الشاهد (شكل 6)، فكانت قيمتها حوالي 6.7 في التربة NRS بينما كانت (7.41) في الشاهد لنفس عينات التربة. يعود ذللك للأثر الحامضي لهذا السماد، فقد بين Samuel وزملائه (1985) أنه يحصل انخفاض في درجة الـ pH يصل إلى القيمة 1 داخل حبيبة السماد (granule) وتزداد هذه القيمة كلما ابتعدنا عن الحبيبة، أما عند مقارنة درجة الـ pH لعينة التربة RS لوحظ انخفاض واضح ومعنوي فيها في المعدلين الأول والثاني (TSP1 و TSP2) بالمقارنة مع الشاهد، كذلك أظهرت هذه العينات الترابية (RS) فروقات طفيفة لكنها معنوية بالمقارنة مع عينات التربة NRS لنفس المعاملة ونفس المعدلات (TSP1 و TSP2).إن نبات الترمس الأبيض يفرز عبر التشكلات العنقودية الجذرية العديد من الأحماض العضوية تحت ظروف نقص الفوسفور (الشاهد ومعاملة الـ PR) (Marschner *et al.*,2002؛ Liu *et al.*,2005)، هذا ما أدى لانخفاض واضح في درجة الـ pH في الشاهد ومعاملة الصخر الفوسفاتي بجميع معدلاتها وكان هذا الانخفاض معنوياً بالمقارنة مع التربة NRS فلوحظ محافظة عينات التربة NRS على درجة pH واحدة حول 7.41، ولكن لوحظ انخفاض كبير وواضح في درجة pH التربة RS بالمقارنة مع عينات التربة NRS. تساهم هذه الأحماض في تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي مما يقلل مدى العوز للفوسفور فيقل معها طرح الأحماض العضوية لذلك لوحظ أن قيمة الانخفاض في الـ pH في التربة الرايزوسفيرية كانت أقل مع ارتفاع معدل الصخر المضاف، حيث تناقصت قيمة الفرق بين العينتين (RS–NRS) مع تقدم معدل إضافة الـPR فكان الترتيب كما يلي : 0.67>0.59>0.51>0.38 درجة pH للمعاملات Control> PR1> PR2> PR3 يعكس هذا الترتيب مدى توفر الفوسفور للنبات وبالتالي كمية الطرح الجذري للراشحات الحمضية التي تناقصت مع توفر الفوسفور المتاح. إن هذا الانخفاض في درجة pH التربة RS بالمقارنة مع NRS كان دائما معنوياً سواء في الشاهد أو الـ PR عند معدلاته المختلفة. وكذلك كان معنويا عند مقارنة معدلات الـPR فيما بينها من جهة ومع الشاهد من جهة أخرى، و بشكل عام

إن النباتات البقولية تقوم بطرح الأحماض العضوية سواء بهدف تحرير العناصر أو تعديل النظام البيئي الميكروبيولوجي في التربة أو منافسة الكائنات المنافسة الأخرى (Kallmann et al.,2009) .

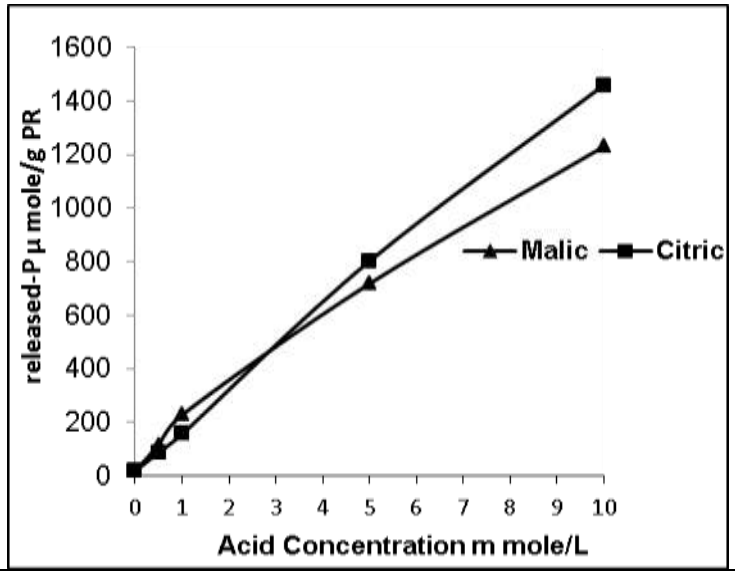


شكل (6) : نتائج قياس الـ pH في التربة الرايزوسفيرية (RS) وغير الرايزوسفيرية (NRS) لمعاملات الدراسة

ساهم انخفاض درجة pH التربة RS في انحلال الصخر الفوسفاتي مما سبب زيادة في كمية الفوسفور المتاح في هذا الموقع من التربة (الرايزوسفيرية)، كما يظهر في معادلة انحلال معدن الفلوروأباتيت التالية:

$$(Ca)_{10}(PO_4)_6F_2 + 12\ H^+ \leftrightarrow 10\ Ca^{2+} + 6\ H_2PO_4^- + 2(F^-)$$

و لدراسة دور هذه الأحماض العضوية (الستريك و الماليك) تم تنفيذ تجربة مخبرية لتوضيح أثر نوع الحمض وتركيزه في انحلال الصخر الفوسفاتي. بينت النتائج زيادة انحلال الصخر الفوسفاتي مع زيادة تركيز الحمض المستخدم (شكل 7) فكانت علاقة الارتباط بينهما خطيه (R^2=0.99)، حيث أظهر حمض الستريك فاعلية أكبر في تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي مقارنة مع حمض الماليك، وكانت معنوية عند تراكيز 5 و 10 mmol/L ، حيث تمكن حمض الستريك عند تركيز (10mmol/L) من تحرير 37% من الفوسفور الكلي للـ PR، بينما أدى الماليك لتحرير 31% منه عند نفس التركيز. قد يعود السبب لقوة محلول حمض الستريك الذي تتمثل بانخفاض قيمة الـ pKa بالمقارنة مع حمض الماليك، لقد بينت نتائج Kou وزملائه (2004) وجود علاقة سلبية بين قيمة الـ pKa وانحلال الفوسفور من الصخر الفوسفاتي، كذلك إن احتواء حمض الستريك على ثلاث مجموعات وظيفية حمضية بالمقارنة مع وظيفتين للماليك تزيد من قدرته في عملية انحلال الصخر الفوسفاتي.



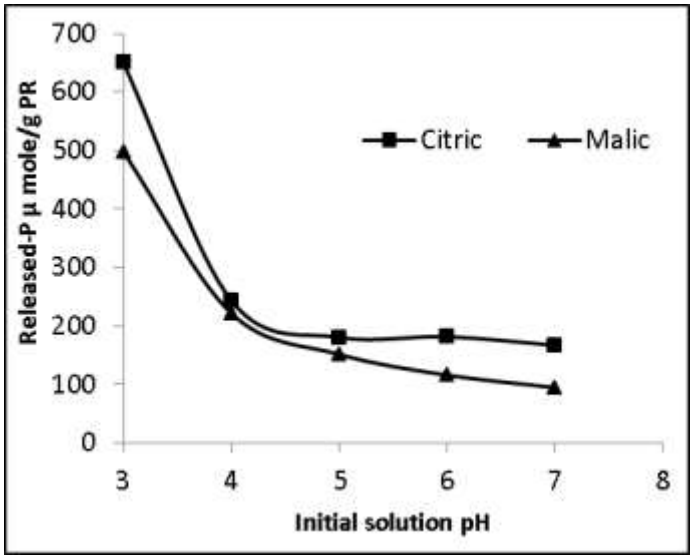
شكل (7) : أثر نوع الحمض و تركيزه على انحلال الصخر الفوسفاتي

وعند قياس درجة الpH بعد انتهاء تفاعل الانحلال، وحسبت قيمة التغير فيها بالمقارنة مع درجة pH المحلول الحمضين قبل انحلال الصخر لوحظ زيادة بحوالي درجتي pH مما يشير إلى أن انحلال الفوسفور من الصخر الفوسفاتي يستهلك بروتونات الهيدروجين ليشكل $H_2PO_4^{-1}$ أو HPO_4^{-2} (جدول 2)

جدول (2): الزيادة في درجة ـpH المحلول (ΔpH) بعد التفاعل بين الصخر الفوسفاتي وحمضي Citric و Malic

	تركيز الحمض المضاف m mol/L			
	0.5	1	5	10
Citric Acid	2.21	2.21	2.06	2.05
Malic Acid	2.82	2.75	2.49	2.44

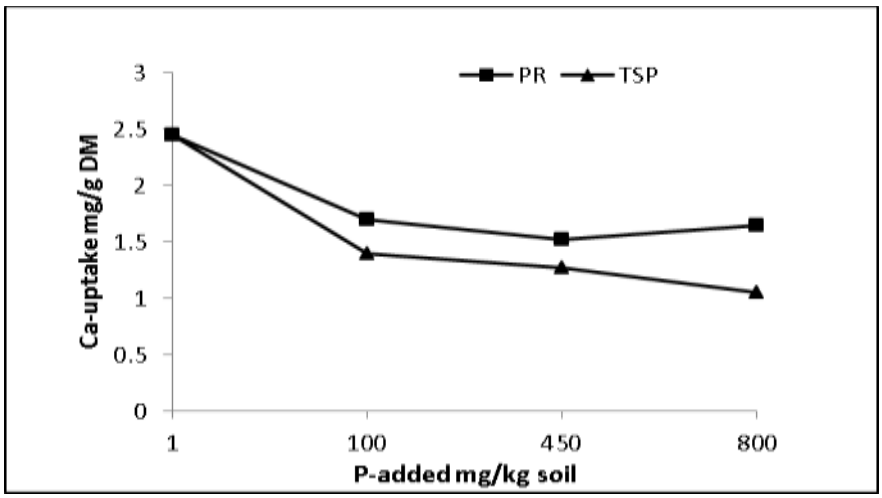
إن درجة الـpH هو عامل آخر يؤثر في عملية الانحلال فزيادة درجة الـ pH من 3 إلى 7 خفض من ذوبان الفوسفور من الصخر الفوسفاتي بواسطة كلا الحمضين (شكل 8)، لقد كان هذا الانخفاض أكثر وضوحاً في حمض الماليك من الستريك، وهذا غير مستغرب لأن زيادة عدد المجموعات الوظيفية في حمض الستريك يزيد من قدرته التنظيمية و تصبح له قدرة أعلى على ربط المعدن (الكالسيوم) على شكل معقدات تمخلب Chelating وبالتالي مساهمة البروتونات تكون أقل أهمية (Kou et al., 2004) من حمض الماليك.



شكل (8) : أثر درجة pH الأولية لوسط التفاعل على انحلال الصخر الفوسفاتي

تتمثل آلية عمل الحمض العضوية في انحلال الصخر الفوسفاتي بآليتين مختلفتين، فمن جهة من خلال تأثير درجة الـpH (Anderson *et al.* 1985; Hoberg *et al.*,2005) التي تؤدي بانخفاضها لتحفيز انحلال حبيبات الصخر الملامسة. ومن جهة أخرى يمكن للرباطات العضوية (جذور المالات والسترات في حالة الترمس الأبيض) أن تلعب دور كعامل تمخلب Chelating لشوارد الكالسيوم في الصخر الفوسفاتي الأباتيتي مما يسبب خلل في شبكته البلورية (Dinkelaker *et al.*, 1989) وبالتالي تحرير الفوسفور منها.

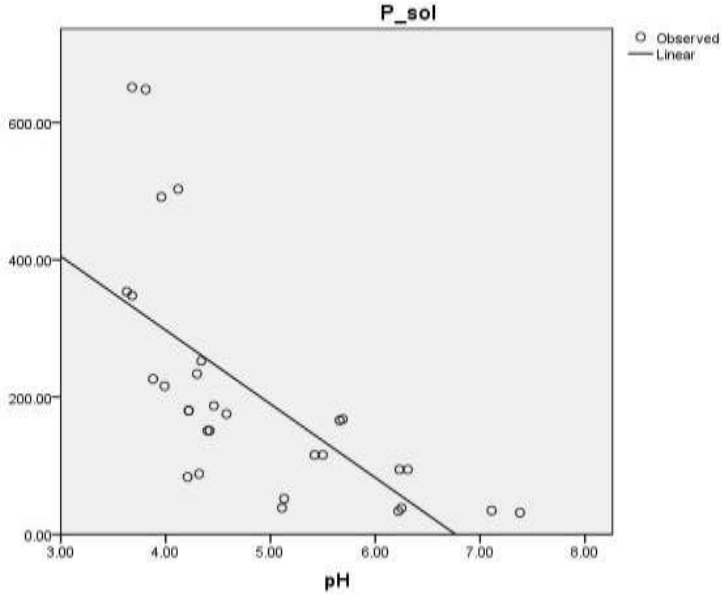
كذلك تقوم نباتات الترمس الأبيض بامتصاص شوارد الكالسيوم في حال نقص الفوسفور بهدف تحريره من مصادره مما يزيد من تركيز الكالسيوم في المجموع الخضري فتطرحها الأوراق على السطح بشكل أملاح الكالسيوم (أوكزالات الكالسيوم بشكل أساسي) (Hinsinger and Gilkes, 1995)، مما أدى لارتفاع تركيز الكالسيوم الممتص في المجموع الخضري في معاملات الصخر الفوسفاتي مقارنة مع معاملات السوبر فوسفات الثلاثي و ينخفض هذا التركيز مع زيادة معدل الإضافة (شكل 9).



شكل (9) : تركيز الكالسيوم الممتص من قبل نبات الترمس الأبيض

تسبب هذه العملية تخفيض تركيزه في المحلول مسبباً زيادة في معدل انحلال الصخر كما في المعادلة السابقة.

و بدراسة الارتباط بين تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي من جهة وأثر كل من درجة pH الوسط ودور الأيونات العضوية في الخلب وتشكيل المعقدات مع شوارد الكالسيوم من جهة أخرى، تبين أن الأحماض العضوية تؤثر بشكل أساسي على تحرير الفوسفور من خلال درجة pH الوسط الأولية بنسبة 64% بينما انحصر دور المجموعات الوظيفية الحمضية كعامل خلب بنسبة 34% (شكل 10)، لقد اعتُمد في تحديد دور الـpH في عملية الانحلال على درجة الـ pH الأولية للتفاعل فقط، ولو تم استخدام الأحماض العضوية ضمن وسط ثابت الحموضة من خلال استخدام محلول واق (Buffer) لتمكنا بالمطلق تأكيد هذه النتيجة الأولية.



شكل (10) : العلاقة بين تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي وآليات عمل الأحماض العضوية (الخط البياني يمثل أثر درجة pH الوسط –الانحرافات النقطية تمثل دور الأيونات العضوية كعامل خلب وتعقيد

الاستنتاجات والتوصيات:

خلصت التجارب المنفذة بأن نبات الترمس الأبيض استجاب للتسميد بالصخر الفوسفاتي لكنها بقيت أقل من استجابته للسوبر فوسفات الثلاثي، حيث بلغت الفعالية الزراعية النسبية للصخر الفوسفاتي حوالي 61%. تساهم الأحماض العضوية الراشحة من جذور النباتات كحمضي الستريك والماليك في تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي من خلال آليتين: **الأولى** تخفض درجة الحموضة في محيط جذور النبات من جهة وهي المسؤولة عن 64% من عملية الانحلال، **والثانية** هي إمكانية ربط الكالسيوم من قبل الأحماض العضوية كعوامل تمخلب مما يشجع في عملية انحلال الصخر الفوسفاتي وكانت مسؤولة عن 34% من عملية الانحلال للصخر الفوسفاتي.

المراجع:

1. حبيب، ليلى؛ و شين، سن. *دراسة الفعالية الكيميائية والفعالية الزراعية النسبية لصخور فوسفاتية سورية في تربة حامضية*. مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية. سلسلة العلوم الزراعية المجلد (24). 2002. 143-149.

2. سعيد صبا؛ حبيب ليلى. *أثر الخلط بالزبل البقري والكبريت الحر على انحلال الصخر الفوسفاتي في تربة كلسية*. مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية. سلسلة العلوم البيولوجية. المجلد 33. العدد 4. 2011.

3. ناصر، رباب ؛ حبيب، ليلى. *اختبار مقدرة اللفت الزيتي والجازون على امتصاص جذور الأورثوفوسفات من صخر فوسفاتي بعد خلطه بالكبريت الحر في عينتين من الترب الجيرية* . مجلة جامعة تشرين . مجلد 31: العدد 5 ، 2009.

4. ANDERSON .D.L; KRUSSOW W.R; AND COREY .R.B. *Phosphate rock dissolution in soil: Indications from plant growth studies*. Soil Sci Soc Am J 49.1985. 918–925.

5. BLACK, C. A; EVANS, D. D; WHITE, J. L; ENSMINGER, L. E; CLARK, F. E AND DINAUER, R. C. *Methods of soil analysis*.1965. 1572p.

6. BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. Agron. J. 53. 1962 . 464-465.

7. CHAPMAN, H. D., and PRATT P. F. 1961. *Methods of analysis for soils, plants and water*. Univ. California, Berkeley, CA, USA.1962.

8. CHIEN, S.H. *IFDC's evaluation of modified phosphate rock products. In Proceedings of international meeting on direct application of phosphate rock and related technology: latest developments and practical experiences*. Kuala Lumpur, Malaysian Society of Soil Science, and Muscle Shoals, USA, IFDC.2003.

9. CHIEN, S.H; SALE, P.W.G. & HAMMOND, L.L. *Comparison of effectiveness of various phosphate fertilizer products*. In Proceedings of international symposium on phosphorus requirements for sustainable agriculture in Asia and Oceania,.1990. pp. 143–156. Manila, IRRI.

10. DINKELAKER B, ROMHELD V, MARSCHNER H. *Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (Lupinus albus L.)*. Plant Cell Environ 12.1989.: 285-292

11. GARDNER, W.K; PARBERY, D.G; and BARBER, D.A. *The Acquisition of Phosphorus by Lupinus albus L.: 1. Some Characteristics of the Soil/Root Interface, Plant Soil*, , vol. 68.1982. pp. 19–32.

12. GARDNER, W.K; PARBERY, D.G; and BARBER, D.A. *The Acquisition of Phosphorus by Lupinus albus L., The Probable Mechanism by Which Phosphorus Movement in the Soil/Root Interface Is Enhanced*, Plant Soil, , vol. 70, 1983. pp. 107–124.

13. HABIB, L; CHIEN, S.H; CARMONA, G. & HENAO, J. *Rape response to a Syrian phosphate rock and its mixture with triple superphosphate on a limed alkaline soil*. *Com. Soil Sci. Plant Anal*., 30.1999. 449–456.

14. HINSINGER.P. and GILKES. RJ. *Root-induced dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of lupins grown in alkaline soil*. Australian Journal of Soil research. 33.1995.477-489.

15. HOBERG .E; MARSCHNER .P AND LIEBEREI .R. *Organic acid exudation and pH changes by Gordonia sp and Pseudomonas fluorescens grown with P adsorbed to goethite*. Mic Res 160.2005. 177– 187.

16. JOHNSON, J.F; VANCE, C.P; and ALLAN, D. *Phosphorus Deficiency in Lupinus albus L. Altered Lateral Root Development and Enhanced Expression of Phospho-enolpyruvate Carboxylase*, Plant Physiol., vol. 112.1996. pp. 31–41.

17. KOLLMANN, J., STROBEL, B. W., and BRUNN HANSEN, H. C. Climate change, invasive species and toxic plant substances in soil and water. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.2009. 6:302022. doi:10.1088/1755-1307/6/0/302022.

18. KAMH, M; HORST, W.J; AMER, F; MOSTAFA, H. & MAIER, P. *Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops.* Plant Soil, 211.1999. 19–27.

19. KHASAWNEH FE; DOLL EC . *The use of phosphate rock for direct application to soils*. Adv Agron 30.1978.159–206.

20. KOU. REN.X; GUAN. Y. Z.; CHITTLEBOROUGH. D. *Phosphorus release from phosphate rock and iron phosphate by low-molecular-weight organic acid.* Journal of environmental sciences. 2004. Vol.16,No.1 . pp5-8.

21. LEON L.A; FENSTER W.E; and L.L HAMMOND. *Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru and Venezuela*. Soil Sci. Soc. Am. J. 50.1986.798-802.

22. LIPTON, D.S; BLANCHAR, R.W; and BELVINS, D.G. *Citrate, Malate and Succinate Concentration in Exudates from P-Sufficient and P-Stressed Medicago sativa L. Seedlings*, Plant Physiol., , vol. 85.1987. pp. 315–317.

23. Liu JQ, Samac DA, Bucciarelli B, Allan DL, Vance CP. *Signaling of phosphorus deficiency-induced gene expression in white lupin requires sugar and phloem transport*. Plant Journal 41.2005. 257–268.

24. Marschner P, Neumann G, Kania A, Weiskopf L, Lieberei R. *Spatial and temporal dynamics of the microbial community structure in the rhizosphere of cluster roots of white lupin (Lupinus albus L.)*. Plant and Soil 246.2002. 167–174.

25. MONTENEGRO, A. & ZAPATA, F. *Rape genotypic differences in P uptake and utilization from phosphate rocks in an andisol of Chile*. Nut. Cyc. Agroecosys., 63(1).2002. 27–33.

26. NEUMANN .G; MASSONNEAU .A; MATINOIA .E; and ROMHELD .V. *Physiological adaptations to phosphorus deficiency during proteoid root development in white lupin*. *Planta* 208.1999. 373-382.

27. RAJAN, S. S. S ; O'CONNER, M. B., and SINCLAIR, A. G. Partially acidulated phosphate rocks: controlled release phosphorus fertilizers for more sustainable agriculture. Fert. Res. 37.1994. 69-78.

28. RYAN, J; ESTEFAN, G; RASHID, A. *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual2*. ICARDA. NARC.2001. 172p.

29. SAMUEL .L; T. W. L. NELSON; J. D. BEATON. *Soil fertility and fertilizers.* 4Th Edition.1985. pp 754.

30. WALKELEY, A.; and BLACK, I. A. *An examination of the Degtjareff method of determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method*. Soil Sci. 37.1934.29-38.

31. WELCH SA, TAUNTON AE AND BANFIELD JF. *Effect of microorganisms and microbial metabolite on apatite dissolution*. Geomicrobiol J 19.2002. 343– 367.

32. WATANABE, F. S; and OLSEN, S. R. *Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil.* Proc. Soil. Sci. Soc. Am. 1965.. 29: 677-678.