مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (31) العدد (2) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (31) No. (2) 2009

دراسة انحلال الصخر الفوسفاتي من خلال خلطه مع معدلات مختلفة من الكبريت وأثر ذلك على الفوسفور المتاح في التربة

الدكتورة ليلى حبيب*

(تاريخ الإيداع 13 / 11 / 2008. قبل للنشر في 2009/3/18)

□ الملخّص □

بهدف دراسة تأثير استخدام عنصر الكبريت (S) على انحلال الصخر الفوسفاتي (PR)، نفذت تجربة تحضن مخبرية لمدة تسعة أسابيع بين 192 مغ من الـ (PR) وكميات متزايدة من الـ (S) بحيث نحصل على ثلاث معدلات خلط متزايدة من PR:S وهي(8:1) (5:1) (2:1) وذلك مع أو بدون 40 غ تربة. أدت عملية خلط الـPR مع الكبريت إلى خفض درجة الـpH خلال فترة الحضن. اختلف هذا الانخفاض تبعاً لمعدّل الخلط، وسجلت معاملة الخلط (2:1) PR:S درجة الـpH الأكثر انخفاضاً فكانت أقل بحوالي درجتي pH بالمقارنة مع معاملة الـPR لوحدة. وكان هذا الانخفاض أقل وضوحاً في المعاملات التي احتوت على التربة. لقد حفزت هذه الظروف على انحلال الـPR، و اختلفت النسبة المئوية للانحلال تبعاً لمعدل الخلط مع S، فقد تراوحت بغياب التربة في نهاية فترة الحضن بين3 و7% في معدّلي الخلط (8:1) و(2:1) PR:S على التوالي. كذلك أدت عملية الانحلال إلى ارتفاع محتوى التربة من Olsen-P ليتبع الترتيب التالي: PR < PR:S(8:1)< PR:S (5:1) < PR:S(2:1)

الكلمات المفتاحيّة: صخر فوسفاتي، عنصر الكبريت، درجة الـpH، انحلال الصخر الفوسفاتي، أكسدة الكبريت.

*أستاذة – قسم علوم التربة والمياه– كلية الزراعة –جامعة تشرين–اللاذقية –سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (31) العدد (2) 2009
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (31) No. (2) 2009

Studying Phosphate Rock Solubility by Mixing it with Different Rates of Sulfur and its Effect on Phosphorus in Soil

Dr. Leila Habib*

(Received 13 / 11 / 2008. Accepted 18/3/2009)

□ ABSTRACT □

This paper studies the effect of using elemental sulfur (S) on phosphate Rock (PR) solubility. An incubation experiment for nine weeks was conducted between 192 mg PR and S giving three PR:S mixing ratios 8:1, 5:1, 2:1. This experiment was undertaken with and without the presence of 40g of soil. The application of S caused a decrease of pH degree during the incubation; this decrease varied following mixing ratio; 2:1 recorded about two pH degrees lower than the PR alone at the end of the incubation time. This decrease was less significant in soil. These conditions enhanced the solubility of PR in H_2O; the ratio varied between 3 and 7% at the end of the incubation period at (8:1) and (2:1) mixing ratios, respectively. This incubation of PR with S increased Soil Olsen-p content, and it followed the following ascending order in different mixing ratios: PR < PR:S (8:1)< (5:1)< (2:1).

Keywords: Phosphate Rock, Elemental sulfur, pH degree, Phosphate Rock solubility, Sulfur oxidation.

* **Professor, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

نُفّـذ العديـد مـن الدراسـات والأبحـاث لتقـدير الفعاليـة الزراعيـة للصـخور الفوسـفاتية كمصـدر فوسـفوري للنبات Khasawneh and Doll, 1978; Hammond et al., 1986b; Rajan et al., 1996; Rajan and Chien, 2001 فكان الإجماع العام بأن الفعالية الزراعية للصخر الفوسفاتي تتراوح بين عدم الاستجابة من قبل النبات إلى مساواته للفعالية الزراعية للأسمدة القابلة للانحلال في الماء، وذلك تبعاً لخصائص المصدر الصخري، نوع النبات المزروع، و خصائص التربة (Khasawneh and Doll , 1978; Chien and Friesen , 1992; Chien and Menon, 1995; Rajan et al., 1996; Habib et al., 1999; حبيب و شين 2002). من أهم خصائص التربـة تـأثيراً علـى إتاحـة الفوسـفور مـن الصـخر الفوسـفاتي هـي درجـة الـpH (Bolan and Hedley, 1990; Kanobo and Gilkes, 1987; Mackay et al., 1986). وكان ذلك السبب وراء انتشار الاستخدام الزراعي المباشر للصخر الفوسفاتي في مناطق الترب الحامضية، بينما كان استخدامه في الترب المعتدلة أو القلوية محدوداً و خاصة عندما تحوي التربة على $CaCO_3$. (Edwards, 1956; Hagin and Katz, 1985; Singaram et al., 1995; Habib et al., 1999).

أظهرت النتائج بأن الصخور الفوسفاتية السورية تتمتع بفاعلية زراعية مرتفعة عند استخدامها مباشرة في ظروف تربة حامضية (حبيب و شين، 2002) ، أما استخدامها في ظروف الترب المعتدلة أو القلوية كما هو الحال في معظم الترب السورية فمن المتوقع انخفاض فعاليتها الزراعية بالمقارنة مع الترب الحامضية وخاصة إذا احتوت الترب على كربونات الكالسيوم (Habib et al., 1999).

لقد درج القيام ببعض التعديلات اللازمة لزيادة انحلال الصخر وذلك عند انخفاض فعاليته سواء كانت بسبب الصخر نفسه أو بسبب ظروف الوسط المحيطة فيه. تضم هذه التعديلات **التحميض الجزئي** عن طريق إدماج (Compacting) نسبة معينة من حمض الكبريت H_2SO_4 أو حمض الفوسفور H_3PO_4 مع الصخر الفوسفاتي ليعطي ناتجاً يدعى بالصخر الفوسفاتي المحمض جزئياً (Partially acidulated Phosphate Rock, PAPR) (Chien and Hammond, 1989; Menon and Chien, 1990). أو **خلطه** مع أسمدة فوسفاتية ذوابة في الماء كالسوبر فوسفات الثلاثي والسوبر فوسفات المفرد(Chien et al., 1996; Habib et al., 1999)، أو إضافته مع **عنصـــر الكبريـــت** ســواء جُمِــعَ فــي تجمعــات حبيبيــة (granules) أو أُضــيفَ علــى شــكل خلــيط Kittams,1963; Kittams and Attoe, 1965; Swaby, 1975; Pathiratna et al., 1989) .(Rajan,1982; Rajan 1983; Rajan 1987

لقد بينت الأبحاث بأنه عند إضافة الصخر الفوسفاتي الأباتيتي مع عنصر الكبريت إلى الترب الحاوية على بكتريا الـ Thiobacilli يمكن أن تنتج Superphosphate في مواقع التلامس بين الصخر الفوسفاتي الأباتيتي وحمض الكبريت الناتج عن أكسدة عنصر الكبريت بواسطة بكتريا الـ Thiobacilli و هو ما يطلق عليه 'in sito Superphosphate' (Rajan and Edge., 1980) . كما يظهر في المعادلات التالية:

$$2\,S^0 + 2\,H_2O + 3\,O_2 \longrightarrow 2\,H_2SO_4$$

$$H_2SO_4 + PR \longrightarrow MCP + DCP + residual\ PR$$

MCP و DCP = فوسفات الكالسيوم الأحادية و فوسفات الكالسيوم الثنائية على التوالي

لاحقـاً تـم إنتـاج سـماد أطلـق عليـه بالبيوسـوبر (Biosuper) أو السـوبر فوسـفات البيولـوجي (biological superphosphate) عـن طريـق خلـط الصـخر الفوسـفاتي مـع عنصـر الكبريـت و بكتريـا الـ Thiobacelli (Kittams, 1963; Kittams and Attoe, 1965; Swaby, 1975; Pathiratna et al.,

(1989. ثمّ أظهرت الأبحاث والدراسات لاحقاً بأنه يمكن اعتبار البيوسوبر سماد فعّال للنبات (Rajan, 1983; Rajan1987).

أهمية البحث وأهدافه:

يملك القطر العربي السوري مخزوناً مهماً من الصخور الفوسفاتية التي تستخدم في عملية التصنيع الطويلة والعالية الكلفة للأسمدة الفوسفاتية، لذلك فإن إمكانية الاستخدام المباشر كمصدر فوسفوري طبيعي ورخيص الثمن سوف يعود بالفائدة للمزارع سواء من حيث تقليل كلفة الإنتاج من جهة ولاستخدامه لمصدر طبيعي عوضاً عن الأسمدة الكيميائية التي قد يكون لها أضرارٌ بيئية متعددة من جهة أخرى. **يهدف** هذا البحث، و من خلال تجربة تحضّن مخبريّة، إلى دراسة أولية لانحلال صخر عين ليلون الفوسفاتي السوري من خلال خلطه مع معدلات مختلفة من عنصر الكبريت، و تحديد مدى قدرة هذه التقنية على تزويد التربة بالفوسفور المتاح من أجل الاستخدام المباشر للصخر الفوسفاتي السوري في الزراعة لاحقاً.

طرائق البحث ومواده:

الصخر الفوسفاتي (Phosphate Rock= PR): تم الحصول على الصخر المتفتت من موقع عين ليلون (الحفّة) في منطقة اللاذقية، نخل بواسطة منخل قطر فتحاته 100 mesh (150 ميكرومتر). يتبع الصخر الفوسفاتي السوري فصيلة الأباتيت (كربونات فلورابانيت، فرانكوليت Francolite). يشكّل الفوسفور الكلي والفوسفور المنحل في سترات الأمونيوم المعتدلة (Neutral Ammonium Citrate) 12.2% و 2% على التوالي. يصنف هذا الصخر متوسط إلى عالي الفعالية الزراعية النسبية وذلك تبعاً للتصنيف المقترح من قبل Hammond et al (1986). بلغت قيمة البعد a لوحدة الخلية A^o 9.3342 وصيغته التجريبية $Ca_{9.64}\ Na_{0.26}Mg_{0.10}\ (PO_4)_{5.02}(CO_3)_{0.98}\ F_{2.39}$ (Habib et all., 1999).

عنصر الكبريت (Sulphur= S): عبارة عن كبريت مخبري، تشكل الحبيبات ذات الأقطار أقل من 40 ميكرومتر 90 % منه.

التربة: جمعت التربة من الطبقة السطحية لحقل في منطقة الحفة و هي تربة طينية تحوي 55% طين و3.9% كربونات كلية وذات درجة pH معتدلة. جمعت الخصائص العامة للتربة في الجدول رقم (1) .

محلول اللقاح الميكروبي (Inoculum):

حضر بطريقة Ghani and Rajan (1994.) وذلك بإضافة 100 ملغ كبريت/ كغ تربة، بعد الترطيب حضنت لثلاث أسابيع على الحرارة الجوية الطبيعية. حضر بعدها معلق مائي بمعدّل (ماء : تربة محضنة، 1:10) بعد الخض لمدة ثلاثون دقيقة تم فصل الجزء السائل عن طريق ترشيحه باستخدام ورق ترشيح Whatman n^o 1، يحوي هذا المستخلص على البكتريا الموجودة في التربة و منها بكتريا الـ Thiobacilli .

تجربة الحضن:

وهي عبارة عن تجربة حضن مخبريّة قسمت إلى قسمين: **الأول:** أنجزت عملية الحضن فيه بمعزل عن التربة حيث وضع 192 مغ من الـPR في أنابيب بلاستيكية، ثم خلطت بطريقة عاملية مع كميات متزايدة من الكبريت وهي 0، 24، 38.4، 96 مغ، و نكون بذلك قد حصلنا على ثلاث نسب خلط بين الـPR والكبريت (PR:S) و

هي (8:1) (5:1) و (2:1) على التوالي. تم تحضير 12 مكرر من كل معاملة. رطبت الأنابيب باستخدام 1.5 مل من محلول اللقاح الميكروبي الموصوف سابقاً. أغلقت الأنابيب بإحكام ووضعت في غرفة زجاجية بدرجة حرارة تقريبية 27–32 م^{o} نهاراً و 23 م^{o} ليلاً. تم تهوية الأنابيب عن طريق فتح الغطاء لمدة نصف ساعة مرتين أسبوعياً، و كذلك حوفظ على الرطوبة عن طريق الوزن وإضافة الماء المقطر. سحب من كل معاملة ثلاثة أنابيب لقياس درجة الـpH و الفوسفور المنحل في الماء (Water Soluble-P= WSP) بعد مضي 2، 4، 6 و 9 أسابيع من الحضن. تم قياس درجة الـpH بواسطة جهاز الـpH-meter بعد تحضير معلق وذلك عن طريق إضافة 30 مل ماء مقطّر لمحتويات الأنبوب. أما محتوى WSP فقدر باستخدام طريقة Watanabe and Olsen (1965) بعد إضافة 30 مل أخرى ماء مقطر للمعلقات السابقة، والخض لمدّة ساعتين والترشيح باستخدام ورق ترشيح Whatman 44 .

الجدول (1) بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة

خواص التربة	القيمة
(1:1 soil/H_2O) PH	7.24
تحليل ميكانيكي %	
طين	55
سلت	6
رمل	39
المادة العضوية %	0.5
%CaCO3	3.9
الفوسفور القابل للاستخلاص mg/kg soil	
H_2O-P	1.2
Olsen-P	3
القواعد المتبادلة ميليمكافئ/100 غ تربة	
Ca	17.5
Mg	7.5
السعة التبادلية الكاتيونية CEC	38

أما في القسم الثاني من التجربة حُضّرت المعاملات السابقة ولكن بوجود 40 غ تربة في كل أنبوب مع إضافة معاملة الشاهد (Control) الذي لم يستقبل أي إضافات مع التربة. تم ترطيب الأنابيب بإضافة محلول اللقاح الميكروبي المحضر (كما ذكر مسبقاً) و ذلك لنصل إلى 90% من السعة الحقلية. حيث حضر 9 مكررات من كل معاملة، وضعت في نفس الظروف السابقة وتم تهويتها و المحافظة على رطوبتها بنفس الطريقة. سحب ثلاث أنابيب من كل معاملة بعد مضي 2، 6 و 9 أسابيع و قيست فيها درجة الـpH و ذلك بأخذ ما يعادل 12 غرام تربة جافة من التربة المحضنة و حضر منها معلّق مائي بنسبة 1:2.5 (ماء:تربة) تمّ قياس درجة الـpH بعد نصف ساعة. استكمل بعدها المعلق بإضافة الماء المقطر للحصول على معدّل 1:5(ماء:تربة). جففت التربة المتبقية في الأنبوب في

المجفف على حرارة 50 مo و قدر محتواها من Olsen-P بنفس الطريقة السابقة (Watanabe and Olsen, 1965).

تم إجراء الدراسة الإحصائية باستخدام البرنامج الإحصائي SAS وتحليل التباين العام Anova

النتائج والمناقشة:

أثر معدّل الخلط بين عنصر الكبريت و الصخر الفوسفاتي على درجة الحموضة والفوسفور المنحل في الماء WSP: بهدف دراسة الأثر المباشر لدرجة الـpH على تحرير الفوسفور من الصخر الفوسفاتي فقد تمت عملية الحضن المباشر بين الصخر الفوسفاتي و الكبريت لوحدهما بدون تربة وذلك بثلاث معدلات خلط لنفس الكمية من الصخر الفوسفاتي (القسم الأول من التجربة). نلاحظ من الجدول (2) أن كلاً من نوع المعاملة و زمن الحضن أثرت على درجة الـpH. ففي الوقت الذي بقيت فيه درجة الـpH حوالي الـ7 في جميع المعاملات في الأسبوع الثاني من الحضن.

الجدول (2) نتائج قياس درجة الـpH خلال فترة الحضن وذلك بدون تربة

المعاملة	زمن التحضين (أسابيع)				
	0	2	4	6	9
PR	7.1[a]	7.13 [a]	6.9[a]	6.9[a]	6.93 [a]
PR:S (8:1)	7.05[a]	7.09 [a]	6.86 [a]	6.01 [b]	6.09 [a]
PR:S (5:1)	7.05[a]	7.09 [a]	7.01 [a]	6.17 [b]	4.83 [b]
PR:S (2:1)	7.05[a]	7.01 [a]	6.70 [a]	6.40 [b]	4.79 [b]
$LSD_{0.05}$	0.07	0.2401	0.3444	0.4225	0.8759

تدل الأرقام ذات الأحرف المختلفة ضمن نفس زمن الحضن على اختلافات معنوية

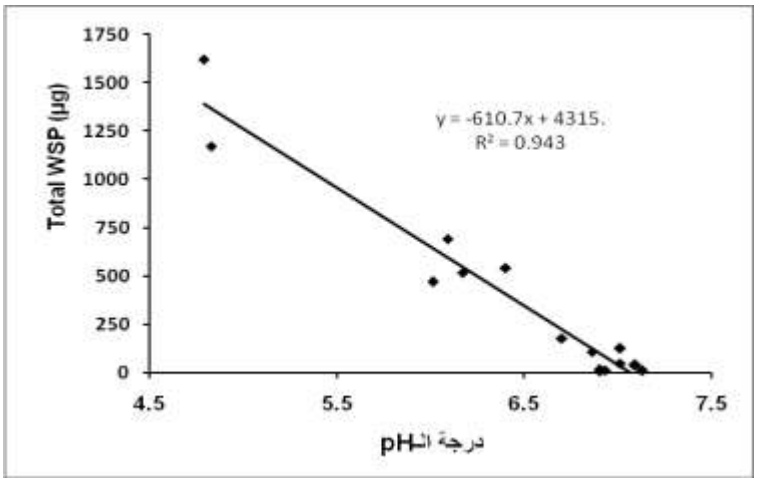
فقد ظهر في الأسبوعين الرابع والسادس ميل عام لانخفاض درجة الـpH في كافة المعاملات لكن بقيت الفروق غير معنوية. أما في الأسبوع السادس فقد ظهر انخفاض واضح و معنوي في معاملات الخليط بالمقارنة مع معاملة الـPR لكن لم تكن هذه الفروق معنوية بين معاملات الخليط فيما بينها. أما في الأسبوع التاسع فقد انخفضت درجة الـpH بشكل واضح في معاملات الخليط، لكن بقي الانخفاض غير معنوي في معاملة الخليط PR:S 8:1 بالمقارنة مع معاملة الـPR، و كان معنوياً في معاملتي الخلط الأخيرتين (5:1) و PR:S (2:1) حيث وصلت إلى 4.79 أي بانخفاض يعادل حوالي درجتي pH بالمقارنة مع معاملة الـPR. تؤكد هذه النتائج ما حصل عليه Pathiratna et al (1989) بأن لكل من معدل الخلط و فترة الحضن تأثيراً على درجة الحموضة. يعود السبب في ذلك إلى عملية أكسدة الكبريت بواسطة بكتريا الـThiobacilli وإنتاج حمض الكبريت. أدت عملية الحضن إلى انحلال بسيط نسبياً لم يتجاوز الـ85 ميكروغرام P /غ PR في معاملة الـPR الذي حضن لوحدة مع اللقاح الميكروبي(جدول3) قد يعود هذا إلى تحرير الفوسفور من قبل بعض الأحماض العضوية المنخفضة الوزن الجزيئي التي تفرزها الكائنات الحية الدقيقة في اللقاح الميكروبي (Bolan et al., 1994; Nahas. 1996). حفزت عملية خلط الصخر الفوسفاتي مع عنصر الكبريت على انحلال الصخر الفوسفاتي و ذلك بدءاً من الأسبوع الثاني للحضن، أدى ذلك لارتفاع معنوي في محتوى معاملات الخليط من الفوسفور المنحل في الماء في جميع أزمنة الحضن بالمقارنة مع معاملة الـPR (جدول3).

الجدول (3) نتائج قياس الفوسفور الذائب في الماء (µg P/ g PR) خلال فترة الحضن وذلك بدون التربة

المعاملة		زمن الحضن (أسابيع)			
	0	2	4	6	9
PR	36.87[a]	49.77 [c]	84.59 [b]	44 [b]	64.69 [d]
PR:S (8:1)	38.5[a]	126.28 [ab]	553.81 [a]	2444.52 [a]	3599.16 [c]
PR:S (5:1)	39.37[a]	108.29 [b]	649.96 [a]	2687.14 [a]	6105.92 [b]
PR:S (2:1)	39.9[a]	164.59 [a]	920.37[a]	2826.28 [a]	8441.91 [a]
$LSD_{0.05}$	4.1	40.103	384.45	586.07	1203.1

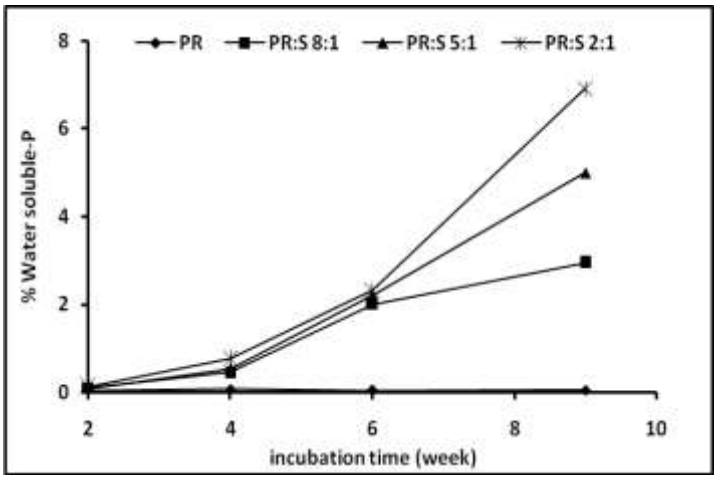
تدل الأرقام ذات الأحرف المختلفة ضمن نفس زمن الحضن على اختلافات معنوية

لكن بالرغم من الزيادة الواضحة في الفوسفور المنحل في الماء في معاملات الخليط والتي توافقت مع ارتفاع معدّل الخلط من (8:1) إلى (2:1) PR:S لم تكن هذه الزيادة معنوية بين معاملات الخليط فيما بينها إلا في الأسبوع التاسع منه، فبلغت كمية الفوسفور المنحل في الماء في معاملة الخليط (2:1) PR µg P/g 8442 ثم تلاه معّدل الخليط 5:1 حيث احتوت على PR µg P/g 6106 و جاء معدّل الخليط (8:1) في المرتبة الأخيرة حيث احتوت على PR µg P/g 3600. أظهرت هذه النتائج بوضوح أثر معدل الخلط بين الصخر الفوسفاتي و عنصر الكبريت على عملية الأكسدة مما أثر على مستوى انخفاض درجة الـpH الذي أدّى إلى ارتفاع معدّل انحلال الصخر الفوسفاتي (Rajan, 1982)، يعود السبب في ذلك إلى الانخفاض الذي حصل على درجة الـpH وهذا ما وضحته العلاقة بين درجة الـpH و كمية الفوسفور المنحل التي أعطت معامل ارتباط مرتفع (R^2=0.94) (شكل1)، وتوافقت بذلك مع النتائج التي توصل إليها Pathiranatna et al (1989).



شكل (1) العلاقة بين الفوسفور الكلي المنحل في الماء (WSP) ودرجة الـpH

ومن خلال حساب النسبة المئوية للفوسفور المنحل في الماء المحرر بالمقارنة مع محتوى الصخر من الفوسفور فحصلنا على نسبة انحلال تراوحت بين 3–7 % في الأسبوع التاسع والأخير من الحضن و ذلك تبعاً لمعدّل الخلط المستخدم (شكل2)



شكل (2) النسبة المئوية للفوسفور المنحل في الماء خلال فترة الحضن

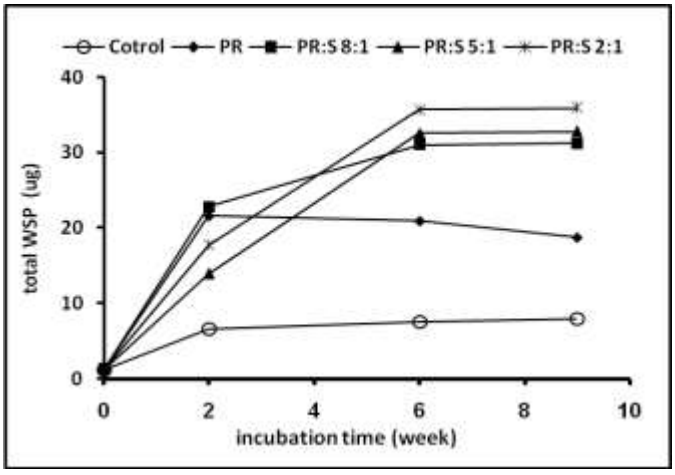
في حين حصل(1989) Pathiranatna et al., على نسبة انحلال لم تتجاوز 1.1 % لصخر Eppawala apatite المنتشر في سيريلانكا والمتشابه مع الصخر الفوسفاتي السوري من حيث محتواه من الفوسفور الكلي مع العلم أن فترة الحضن كانت اثنتا عشر أسبوعاً وبمعدّل خلط PR:S 10:1 ، ولكن يجب الإشارة إلى أن صخر Eppawala يصنف بأنه ذو فعالية منخفضة جداً تبعاً لتصنيف Hammond et al (1986) وذلك حسب معدّل انحلاله في حمض الستريك (2%) و تعادل 1.6% (Pathiranatna et al., 1989) .

لدراسة إمكانية استخدام هذه التقنية في إنتاج البيوسوبر للتسميد الفوسفاتي فقد تم تنفيذ هذه الدراسة على التربة وذلك من خلال إجراء عملية حضن أخرى بوجود 40 غ تربة **(القسم الثاني من التجربة)**. بالرغم من احتواء التربة على حوالي 4% من الكلس و 55% طين وما يمكن أن يلعبه هذان المكونان من دور منظم لدرجة الـpH فقد أدت عملية الخلط بين الصخر الفوسفاتي وعنصر الكبريت إلى تخفيض درجة pH التربة وخاصة في معدلات الخلط العليا. إن درجة الـpH حافظت تقريبا على قيمتها بمرور زمن الحضن في معاملة الـPR وهذا يؤكد ملاحظات Hammond (1979) بأن إضافة الصخر الفوسفاتي لا تؤثر على الـpH أو قد يرفعها قليلاً، و كذلك لم تتغير درجة الـpH بطريقة معنوية في معاملتي الخلط PR:S 8:1 و PR:S 5:1 (جدول 4) و ذلك في كافة أزمنة الحضن. أما في معاملة الخلط PR:S 2:1 فظهر انخفاض معنوي في درجة الحموضة بالمقارنة مع كافة المعاملات و ذلك بدءاً من الأسبوع السادس وكانت قيمتها أقل بحوالي درجة pH واحدة بالمقارنة مع الـControl في نهاية فترة الحضن. يجب أن ننوه هنا أنه لا يمكننا الاعتماد على قياسات الـpH كرقم محدد وإنما يجب النظر للميل العام لتوجه هذه القيم و ذلك بسبب عدم توفر الدقة التامة في أجهزة القياس المستخدمة. لقد لوحظ انحلال بسيط في معاملة الـPR عندما استخدم لوحده وذلك بعد مضي أسبوعين على الحضن و استمر على حاله حتى النهاية. إن ميل درجة pH التربة للانخفاض في معاملات الخلط المختلفة ساعد على انحلال الصخر الفوسفاتي و ذلك تبعاً لمعدّل الخلط والفترة الزمنية للحضن، و كان أكثر أهمية في معدّل الخلط الأعلى PR:S 2:1 حيث كان أعلى معدّل للفوسفور الكلي المنحل في الماء حوالي الـ 36 ميكروغرام من الفوسفور في كامل عينة التربة (شكل 3)، نتائج مماثلة توصّل إليها Fan et al (2003) لكن باستخدام كمية أكبر من الصخر الفوسفاتي و معدل خلط أكبر مما استخدم في هذه الدراسة.

الجدول (4) نتائج قياس درجة الـpH خلال فترة الحضن وذلك بوجود التربة

المعاملة		زمن الحضن (أسابيع)		
	0	2	6	9
Control	7.26^{a}	7.3^{ab}	7.2^{b}	7.3^{a}
PR	7.36^{a}	7.39^{ab}	7.53^{a}	7.31^{a}
PR:S (8:1)	7.20^{a}	7.24^{b}	7.45^{a}	7.27^{a}
PR:S (5:1)	7.25^{a}	7.53^{a}	7.42^{a}	7.27^{a}
PR:S (2:1)	7.16^{a}	7.48^{ab}	6.80^{c}	6.37^{b}
$LSD_{0.05}$	0.22	0.2884	0.1451	0.275

تدل الأرقام ذات الأحرف المختلفة ضمن نفس زمن الحضن على اختلافات معنوية



شكل(3) محتوى التربة الكلي من الفوسفور المنحل في الماء Total WSP

أثر معدّل خلط الصخر الفوسفاتي مع الكبريت على Olsen-P:

نلاحظ من الجدول(5) بأنّ إضافة الصخر الفوسفاتي لوحده أو كخليط مع الكبريت وبنسب الخلط المختلفة لم يرفع من محتوى الترب من Olsen-P بطريقة معنوية بالمقارنة مع الـControl في الأسبوع الثاني من الحضن. لكن ظهر أثر معدّل الخلط فقط في الأسبوع السادس منه حيث كان محتوى معاملات الخلط الثلاثة من Olsen-P يفوق بطريقة معنوية محتوى الـControl والـPR، بينما كان محتوى معاملة الخلط PR:S 2:1 متفوقة على جميع المعاملات الأخرى

الجدول (5) نتائج قياس Olsen-P في التربة (µg P/ g soil) خلال زمن الحضن

المعاملة	زمن التحضين (أسابيع)			
	0	2	6	9
Control	3^{a}	3.06^{a}	2.98^{c}	3.05^{b}
PR	4^{a}	4.4^{a}	4.39^{bc}	4.39^{b}

PR:S (8:1)	3.5[a]	3.85[a]	6.20[b]	5.46[b]
PR:S (5:1)	3.5[a]	4.27[a]	7.22[b]	11.1[a]
PR:S (2:1)	3.59[a]	4.17 a	10.46 a	14.66 [a]
$LSD_{0.05}$	1.02 1	1.51 3	3.108	3.041

تدل الأرقام ذات الأحرف المختلفة ضمن نفس زمن الحضن على اختلافات معنوية

أما في الأسبوع الأخير من الحضن (التاسع) بالرغم من التفوق غير المعنوي لمعاملة الخلط PR:S 2:1 على المعاملة PR:S 5:1 في محتواها من Olsen-P، فقد كان محتوى هاتين المعاملتين مختلف معنوياً بالمقارنة مع معاملة الخلط PR:S 8:1 ومعاملة الPR والـ Control، فكان محتوى المعاملات من Olsen-P في الأسبوع الأخير من الحضن يتبع الترتيب التالي:

PR (4.39) < PR:S 8:1 (5.46) < PR:S 5:1 (11.1) < PR:S 2:1 (14.66)µgP/g soil

الاستنتاجات والتوصيات:

تحفز عملية خلط الصخر الفوسفاتي مع الكبريت من انحلاله و ذلك تبعاً لمعدّل الخلط، فقد أظهرت الدراسة بأن معدّل الخلط PR:S 2:1 هو الأكثر فعالية في عملية الانحلال، ثم تلاه معدّل الخلط PR:S 5:1 و كان معدّل الخلط PR:S 8:1 هو الأقل تأثيراً. أما من ناحية تأثير معدّل الخلط على تزويد التربة بالفوسفور المتاح (Olsen-P) فقد تساوى معدّلي الخلط الأعلى PR:S (5:1) و (2:1) في ذلك. نستنتج من هذه الدراسة بأنه يمكن استخدام تقنية الخلط بين الصخر الفوسفاتي و الكبريت و بكتريا الـThiobacilli و ذلك بهدف الاستخدام المباشر للصخر الفوسفاتي في الزراعة، لكن نحتاج للمزيد من الأبحاث التطبيقية لتحديد الشروط اللازمة لنجاح هذه التقنية وخاصة تلك المتعلقة بخصائص الترب في القطر العربي السوري.

المراجع:

1. BOLAN, N.S; NAIDU, R.; MAHIMAIRAJA, S.; BASKARAN, S. *Influance of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates*. Biol Frtil soils,18. 1994, 311-319.

2. BOLAN, N.S and HEDLEY, M.J. *Dissolution of phosphate rocks in soils. 2. Effect of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH depending charge*. Fert. Res,24, 1990, 125- 134.
3. CHIEN, S.H; and FRIESEN, D.K. *Phosphate rock for direct application. In F.J. Sikora, ed. Future directions for agricultural phosphorus research*, 1992, 47-52.
4. CHIEN, S.H; MENON, R.G. *Factors affecting the agronpmic effectiveness of phosphate rock for direct application.* Fert. Res, 41, 1995, 227-234.
5. CHIEN. S.H; R. G. MENON, and K.S. BILLINGHAM. Phoshprus Availability from Phosphate Rock as Enhanced by Water-Soluble Phosphorus. Soil Science Society of America Journal, 60,4, 1996, 1173-1177.
6. CHIEN, S.H and L.L. HAMMOND. *Agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rock as influenced by soil phosphorus-fixing capacity*. Plant Soil, 120,1989, 159-164.
7. EDWARDS, G.H.A. *Observation on the response of crops to rock phosphate*. Int. Condr. Soil Sci Trans. Paris Comn, 44, 1956, 13-20.
8. FAN, X; L. HABIT; I. ROSADO; J. ROGASIK; AND E. SCHNUG: "*In situ digestion" of Rock Phosphates.* Program and abstract book : 8th International Symposium on Soil and Plant Analysis, Challenges for Sustainable Development: The Role of Soil, Plant and Water Analysis, January 13-17, Somerset West, South Africa, 2003,91.
9. GHANI, A; S.S.S. RAJAN; and A.LEE. *Enhancement of phosphate rock solubility through biological processes.* Soil Biol. Biochem. , 26, 1,1994, 127-136.
10. HABIB, L; S.H.CHIEN; G CARMON and J.HERAO. *Rape response to a Syrian Phosphate rock and its mixture with triple superphosphate on a limed alkaline Soil*. Communication in Soil Sciences and Plant Analysis. 30, 3&4, 1999, 449-456.
11. HAGIN, J. and KATZ. *Effectiveness of partially acidulated phosphate rocks as a P source to plant in calcareous soils*. Fert. Res,8. 1985, 117-127.
12. HAMMOND, L.L. In *"Seminar on phosphate rocks for direct application*" Spec. Publ. IFDC-Sl, 1979. 147-173. Int Fert Dev. Cent. Muscle Shools, Alabama.
13. HAMMOND, L.L; CHIEN, S.H, and MOKWUNYE, A.U. *Agronomic value of unacidulated and partilly acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics*. Adv.Agron. 40. 1986, 89-140.
14. KANABO, I, and GILKS, R.J. *The role of soil pH in the dissolution of phosphate rock fertilizers.* Fert. Res. 1987, 165-174.
15. KHASAWNEH, F.E; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. Adv. Agron. 30, 1878, 159-206.
16. KITTAMS, H. A; and Attoe, O.J. *Availability of phosphorus in rock phosphate sulfur fusions.* Agronomy Journal. 57, 1965. 331-334.
17. KITTAMS, H. A. *use of sulphur for increasing the availabilty of phosphrus in rock phosphate.* Dissertation Abstracts. 24, 1963, 1323.
18. MACKAY, A.D; J.K. SYERS; R.W. TILLMAN, and P.E.H. GREGG. *A simple model to describe the dissolution of phosphate rock in soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 50. 1986, 291-296.
19. MENON, R.G. and CHIEN, S.H. *Phosphate availability to maize from oartially acidulated phosphate rocks and phosphate rocks compacted with triple superphosphate*. Plant Soil. 127, 1990, 123-128.

20. NAHAS.E. *Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil.* World Journal of Microbiology and Biotechnology. 12, 6. 1996, 567 - 572 .
21. PATHIRATANA, L. S.S; U. P. De S. Waidyanatha; and O.S. Peries. *The effect of apatite and elemental sulphur mixture on growth and P content of Centrocema pubescens.* Fertilizer Research. 21, 1989, 37-43.
22. RAJAN, S.S.S and EDGE, A.A. *Dissolution of granulated low grade phosphate rock, phosphate rock/sulphur (Biosuper), and super phosphate in soil*. New Zealand Journal of Agricultural research. 23, 1980, 451-456.
23. RAJAN, S.S.S. *Availability to plants of phosphate from biosupers and parcially acidulated phosphate rock.* New Zealand Journal of Agricultural research. 25, 1982, 355-361.
24. RAJAN, S.S.S. *Effect of sulphur content of phosphate rock/sulphur granules on the availability of phosphate to plants*. Fertilizer research. 4, 1983, 287-296.
25. RAJAN, S.S.S. *Phosphate rock and phosphate rock/ sulppur granules as phosphate fertilizers and their dissolution in soil*. Fertilizer research. 11, 1987, 43-60.
26. RAJAN, S.S.S; WATKINSON,J.H, and SINCLAIR, A.G.Phosphate Rock for direct application to soils. Adv. Agron. 57, 1996, 78-159.
27. RAJAAN, S.S.S and S.H Chien. *Direct application of phosphate rocks and related technology: latest developments and practical experiences*. Proc. Int. Meeting. Kuala Lumpur. 16-20 July . Muscle Shoals, USA, IFDC, 2001, 441.
28. SINGARAM, P, S.S.S. RAJAAN, and G.V. KOTHANDARAMAN. *Phosphate rock and phosphate rock/superphosphate mixture as fertilizers for crops grown on calcareous soil*. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 9&10, 1995, 1571-1593.
29. SWABY, R.J. *Biosuper-Biological super phosphate*. Sulphur in Autralian Agriculture. Ed. K.D. Mc Lachlan. Sydney University Press. 1975, 213-220.
30. WATANABE, F. S; and S.R. Olsen. *Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil*. Proc. Soil. Sci. Soc. Am. 29, 1965, 677-678.
31. حبيب، ليلى؛ و سين. هـ شين. *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.