

أثر الخلط بالزبل البقري والكبريت الحر على انحلال الصخر الفوسفاتي في تربة كلسية

* صبا سمير سعيد

**الدكتورة ليلى حبيب

(تاريخ الإيداع 1 / 6 / 2011. قبل للنشر في 9 / 8 / 2011)

□ ملخص □

نفذت تجربة تحضين مخبرية لدراسة أثر خلط الزبل البقري (Manure = M) و الكبريت الحر (Sulphur = S) على انحلال الصخر الفوسفاتي (Phosphate Rock = PR) في تربة رملية طينية تحوي 5% $CaCO_3$. استخدم PR بمعدلين 1600، 6800 مغ/كغ تربة، وM بمعدل 2% و S بمعدل خمس PR، استمرت التجربة 119 يوم، تم فيها تتبع تراكيز الفوسفور المتاح (Olsen-P) خلال فترة التحضين. درس انحلال PR عن طريق إجراء عملية تجزئة لنواتج تفاعلات P المتحرر من PR مع مكونات التربة (P-Fractionation). بينت النتائج ظهور تخفيض معنوي لدرجة pH بسبب استخدام S وM، لكن لم يلاحظ زيادة في قيمة Olsen-p في معاملات PR المختلفة. وبينت دراسة التجزئة بأن PR تعرّض للانحلال عند إضافته لوحدة وكانت نسبة انحلاله 62%، لكن لم يسبب إضافة S و M زيادة في عملية الانحلال. توزع P الناتج عن انحلال الصخر في أشكال كيميائية مختلفة وكان أهمها فوسفات الكالسيوم الثمانية. إن إضافة الزبل البقري أدت لزيادة محتوى المعاملات من Ca8-P بالمقارنة مع معاملة الصخر الفوسفاتي لوحدة، و يعتبر هذا الشكل الفوسفوري رديفاً قوياً للفوسفور المتاح ($R=0.91$)، كذلك أدى الزبل البقري إلى تخفيض محتوى المعاملات من الأباتيت و هو الشكل الفوسفوري الأكثر تعقيداً للفوسفور في الترب الكلسية.

الكلمات المفتاحية : ذوبان الصخر الفوسفاتي، أكسدة الكبريت، الزبل البقري، الرقم الهيدروجيني pH ، تجزئة الفوسفور ، أولسن - P

* طالبة ماجستير في قسم علوم التربة والمياه. كلية الزراعة جامعة تشرين
** أستاذ في قسم علوم التربة والمياه. كلية الزراعة جامعة تشرين

Effect of Cattle Manure and Elemental Sulfur on Phosphate Rock Dissolution in Calcareous Soil

Siba Sameer Saied*
Dr. Leila Habib**

(Received 1 / 6 / 2011. Accepted 9 / 8 / 2011)

□ ABSTRACT □

In an incubation experiment was conducted to determine the effect of cattle manure (M) and elemental sulfur (S) on phosphate rock (PR) dissolution in sandy clay soil containing 5% CaCO₃. The application rate of different amendments was 1600 and 6800 mg PR/kg soil, 2% of M, and the applied S represents one fifth of added-PR. The experiment lasted 119 days during which Olsen-P was determined, and the dissolution of PR was measured by fractionation of released-P from PR. Main results showed that pH reduction due to S and M applications was noticed, but no increase in Olsen-P was observed in PR treatments. P-fractionation showed that PR can be dissolved in this soil and dissolution was 62% when PR added alone, and Octacalcium phosphate (Ca₈-P) represents the main fraction. Mixing with S and or M did not increase PR dissolution. The use of M affected the distribution of P fractions: it decreased the apatite content and increased the (Ca₈-P) fraction, which correlate highly with Olsen-P (R=0.91). It could be concluded the cattle manure when added with PR decreased complex P-forms (Apatite) increases main contributor to available-P.

Key words: Phosphate Rock dissolution. Sulfur oxidation. Cattle manure. pH degree. P-fractionation. Olsen-P.

* Master degree student. In soil and water sciences department. Faculty of agriculture. Tishreen university.

** professor in soil and water sciences department. Faculty of agriculture. Tishreen University.

مقدمة:

يمكن للصخور الفوسفاتية أن تشكل مصدراً مهماً للأسمدة الفوسفاتية لمعظم الترب الحامضية، حيث كانت فعاليتها مشابهة للأسمدة الفوسفاتية القابلة للذوبان في الماء لكن بكلفة أقل (Rajan et al., 1991)، أما في الترب الكلسية فكان هناك عدد محدود من الدراسات التي اهتمت بمحاولة استخدام الصخور الفوسفاتية فيها (Edwards, 2009) (ناصر وحبيب، 2009) (Singaram et al., 1995; Habib et al., 1999; Habib et al., 2003) ، (1956) ، (ناصر وحبيب، 2009) ويعود السبب في ذلك لعدم توفر الظروف المواتية لانحلال الصخر الفوسفاتي في هذه الترب. لقد بينت الدراسات بأن انحلال الصخر الفوسفاتي يتأثر بعدد من العوامل لعل أهمها عوامل متعلقة بطبيعة التربة و خاصة رقمها الهيدروجيني (Bolan and Hedley, 1990) كما تظهر المعادلة (Khasawneh and Doll., 1978) :



تتميز الترب الكلسية بدرجة pH مرتفعة، وكذلك تحتوي على تركيز مرتفع من كاتيونات الكالسيوم مما يؤثر سلباً على عملية الانحلال، من هنا كان لابد من محاولة استخدام بعض الأساليب التي يمكنها تعديل بيئة التربة الكيميائية بحيث تشجع عملية انحلال الصخر. لقد بينت الدراسات أن خلط الصخر الفوسفاتي مع مصادر عضوية قد يحسن من عملية الانحلال، فمنهم من استخدم زيل الدواجن (Mahimairaja et al., 1995; Birikoran et al; 2007) أو زيل الأبقار (Alloush, 2003; Odong et al., 2007; Nishanth and Biswas, 2008) . لقد فُسر دور هذه المحسنات العضوية في عملية الانحلال لتحرر بروتونات الهيدروجين من الأحماض العضوية المنتجة خلال عملية التفكك الحيوي للسماد العضوي مما يخفض في درجة pH، و كذلك لدورها في خلط نواتج الانحلال عبر ربط الكالسيوم بواسطة الأحماض العضوية (Chelating) المحررة من قبل الأحياء الدقيقة، بالإضافة لعملية استهلاك الفوسفور من الوسط من قبل الكائنات الحية الدقيقة (Odongo et al. 2007) .

دراسات أخرى لجأت لاستخدام أسلوب آخر لتحفيز عملية انحلال الصخر الفوسفاتي كعملية خلطه مع الكبريت الحر (Rajan, 1987; Garcí a de La Fuente at al., 2007) ، إن عملية أكسدة الكبريت من قبل بكتريا Thiobacillus يؤدي لإنتاج حمض الكبريت و بالتالي يسبب تخفيض في درجة pH في محيط حبيبات الصخر:

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

وفي دراسة لناصر (2010) حصلت على زيادة في انحلال الصخر الفوسفاتي عند خلطه مع الكبريت ووصلت النسبة المئوية لانحلال الصخر الفوسفاتي إلى 28.46% في تربة رملية لومية في حين كانت 7.62% في تربة طينية عالية المحتوى الكلسي.

يخضع الفوسفور المتحرر عن عملية انحلال الصخر الفوسفاتي في الترب الكلسية لتفاعلات مباشرة مع مكونات التربة، فإنه يرتبط بشكل أساسي مع كاتيونات الكالسيوم (Hooker et al., 1980)، كما يمكن أن يرتبط مع أكاسيد الحديد و الألمنيوم، و إن كان تواجدها بنسب منخفضة في هذه الترب، و لذلك و نتيجة لهذه التفاعلات التي يتعرض لها الفوسفور كان لابد من قياس الزيادة في محتوى التربة من هذه النواتج بالمقارنة مع الشاهد لمعرفة انحلال الصخر الفوسفاتي في التربة، و لقد اقترح (Rajan et al (1996) استخدام عملية تجزئة الفوسفور المعدني في الترب الكلسية (Jiang and Gu, 1989) والتي تصنف الفوسفور المرتبط مع الكالسيوم في عدة نماذج وهي Dicalcium phosphate=DCP, Octacalcium phosphate=OCP and apatite=Ca₁₀-P) بمعنى آخر تستطيع هذه

الطريقة الفصل بين أشكال الكالسيوم الناتجة عن انحلال الصخر الفوسفاتي (DCP, OCP) و الفوسفور المتبقي على شكل أبانيت (Ca₁₀-P) وهو عبارة كمية الصخر الفوسفاتي المتبقي غير المنحل.

أهمية البحث و أهدافه:

يعتبر الصخر الفوسفاتي أحد المركبات الطبيعية التي يمكن استخدامها مباشرة في الزراعة، وهي رخيصة الثمن، مما سيعود بالفائدة على المزارع مقابل التكلفة الباهظة للأسمدة الكيميائية. تتحدد فعالية أي صخر فوسفاتي بمدى انحلاله في التربة و لذلك يهتم هذا البحث بدراسة انحلال الصخر الفوسفاتي في التربة وتأتي أهميته من خلال تنفيذ هذه الدراسة في تربة كلسية وذلك خلافاً لمعظم الدراسات السابقة التي ركزت على الترب الحامضية، وكذلك من خلال استخدام طريقة جديدة لدراسة الانحلال في هذا النوع من الترب وهي تجزئة الفوسفور في الترب الكلسية. وسوف تحاول هذه الدراسة إيجاد أساليب مساعدة لانحلاله في هذه الترب إن كلا المُحسنين المقترح استخدامهما (الزبل البقري والكبريت) يمكن أن يخفض درجة الـ pH في وسط التفاعل والسؤال المطروح ماذا لو أُضيف المُحسنين مع الصخر الفوسفاتي؟ ما تأثير ذلك في تخفيض درجة الـ pH ومن ثم تأثيرها على انحلال الصخر من هنا جاء الهدف من هذه الدراسة. وهو دراسة انحلال الصخر الفوسفاتي عند خلطه مع عنصر الكبريت أو الزبل البقري، ثم محاولة دراسة أثر الدمج بين الكبريت والزبل البقري على عملية الانحلال.

طرائق البحث ومواده:

التربة:

استخدم في هذه الدراسة تربة فقيرة بعنصر الفوسفور، تم جمعها من الطبقة السطحية من موقع قرية الهنادي محافظة اللاذقية، نخلت التربة على 2 ملم بعد تجفيفها هوائياً ومن ثم تحليلها لتحديد خصائصها الفيزيائية والكيميائية. حيث حُدد تركيبها الميكانيكي باستخدام طريقة الهيدروميتر (Bouyoucos, 1962) فكان قوام التربة رملياً طينياً بعد إسقاط التركيب الميكانيكي على مثلث قوام وزارة الزراعة الأمريكية (USDA) فكان، أما كربونات الكالسيوم الكلية فحددت عن طريق المعايرة الرجعية (Back titration)، و محتواها من المادة العضوية قدر بطريقة Walkely (1934) and Black، كما قيست السعة الحقلية بالطريقة الوزنية، أما السعة التبادلية الكاتيونية فقدرت بطريقة Chapman (Black et al.,1965)، و قدر محتواها من الفوسفور الذائب في الماء (Water Soluble-P= WSP) و الفوسفور المتاح (Olsen et al., 1954) و الفوسفور الكلي بطريقة Olsen (and Sommers, 1982) تم جمع خصائص التربة في الجدول 1.

جدول (1) خصائص التربة الفيزيائية و الكيميائية

WSP - P µg / g	% Total-P	µg / Olsen -P g	pH _{H2O} (1:2.5)	الكالسيوم المتبادل meq / 100 g	CEC meq/ 100g	السعة الحقلية %	كالية % CaCO ₃	الكربون العضوي %	التركيب الميكانيكي		
									% Sand	% Silt	% Clay
0.148	0.036	1.88	8.37	31.8	34.2	17.8	5.2	1.6	47.8	6.3	45.9

الصخر الفوسفوري (Phosphate Rock) PR :

تم الحصول على الفوسفات الخام (الصخر الفوسفاتي) من توضعات الفوسفات السورية في موقع عين ليلون (الحفة) في المنطقة الساحلية (منطقة اللاذقية) وذلك من الجزء المتفتت، نخل بواسطة منخل قطر فتحاته تعادل 100 mesh (150 μm). يتبع الصخر الفوسفاتي السوري فصيلة الأباتيت (كربونات فلور أباتيت، فرانكوليت Francolite)، صيغته التجريبية (Habib et al., 1999) $\text{Ca}_{9.64}\text{Na}_{0.26}\text{Mg}_{0.10}(\text{PO}_4)_{5.02}(\text{CO}_3)_{0.98}\text{F}_{2.39}$. حُدثت بعض خصائصه الكيميائية حيث قدر محتواه الكلي من الفوسفور باستخدام حمض البيروكلوريك بحسب طريقة (Olsen and Somners, 1982). كما قدر محتواه من كربونات الكالسيوم الكلية و الفوسفور المنحل بـ (NaHCO₃ , 0.5 N , pH 8.5) و المنحل في الماء (WSP) (جدول 2):

جدول (2) بعض الخصائص الكيميائية للصخر الفوسفاتي

Total-P %	WSP $\mu\text{g/g}$	Olsen-P $\mu\text{g/g}$	Total CaCO ₃ %
12.2	20.5	44	11.06

عنصر الكبريت العنصري S (Elemental Sulphur): عبارة عن عنصر الكبريت المخبري أقطار الحبيبات أقل من 50 ميكرومتر

زبل الأبقار (Cattle Manure):

هو عبارة عن زبل بقري متخمّر تم تجفيفه و طحنه لأقطار 2 مم، تم تقدير محتواه من الكربون العضوي، والأزوت الكلي، والفوسفور الكلي، وكذلك قدر محتواه من كربونات الكالسيوم، والكالسيوم المنحل في الماء وفي خلاص الأمونيوم. ونبين أهم خصائص الزبل البقري في الجدول (3).

جدول (3) أهم الخصائص الكيميائية للزبل البقري

CaCO ₃ %	Ca-NaAc (1N) meq/100g	Ca-H ₂ O meq/100g	C/N	Total-P %	Total-N %	OC%
15.7	19.1	3.1	9.2	1.04	1.8	16.6

سماد السوبر فوسفات الثلاثي TSP (Triple Super Phosphate) 46% P₂O₅ .

اللقاح الميكروبي :

بالرغم من تأكيد الدراسات على وجود بكتريا Thiobacillus المؤكسدة للكبريت في جميع الترب، لكن بينت الدراسات أن إضافة اللقاح البكتيري هذا للتربة يسرع من عملية الأكسدة (2010 ، ناصر ، Fan et al., 2002) لذلك تم تحضير اللقاح الميكروبي بطريقة (Ghani and Rajan 1994) وذلك بإضافة 100 ملغ الكبريت لـ 1 كغ تربة ثم ترطب وتترك لمدة ثلاثة أسابيع على الحرارة الجوية الطبيعية ثم يخض معلق (ماء:تربة محضنة بنسبة 1:10) ويخض المعلق لمدة نصف ساعة ثم يرشح بورق Whatman no. 1 ، يحتوي الراشح على بكتريا Thiobacillus وهي بكتريا ذاتية التغذية الكيميائية تحصل على الطاقة اللازمة لها من أكسدة الكبريت العنصري والمركبات الكبريتية بالتربة .

تجربة التحضين :

نفذت تجربة التحضين وذلك بأخذ 50 غ تربة منخله على 2 ملم في عبوات بلاستيكية بعد خلطها مع المعاملات والمعدلات المختلفة. ضمّت التجربة 7 معاملات مختلفة بالإضافة للشاهد (Control) الذي لم يستقبل أي مصدر فوسفوري. توزعت المعاملات على الشكل التالي:

- معاملة (1): معاملة الصخر الفوسفاتي التي هدفت لدراسة انحلال الصخر الفوسفاتي عند إضافته لوحده، حيث تم إضافته بمعدلين: الأول PR_1 (1600mg PR/kg soil) والثاني PR_2 (6800mg PR/Kg soil) لوحدهما مع التربة.

- معاملة (2) والتي هدفت لدراسة أثر خلط الصخر الفوسفاتي مع الكبريت على انحلال الصخر، حيث تم خلط الصخر الفوسفاتي بالمعدلين المستخدمين مع الكبريت و بمعدل وزني يساوي خمس كمية الصخر الفوسفاتي المضاف حيث $PR:S = 5:1$ حيث $S1 = 314 \text{ mg/kg soil}$, $S2 = 1360 \text{ mg/kg soil}$ وأعطيت الرمز $(PR)_1$ و $(PR)_2$.

- معاملة (3): معاملة الزبل البقري (M) التي هدفت لدراسة أثر إضافة الزبل البقري على الفوسفور في التربة فقد أضيف بمعدل 2% وزنا أي ما يعادل 24 ton/ha وهي تعادل 20g/kg Soil اذا اعتبرت قيمة الكثافة الظاهرية $= 1.2 \text{ g/cm}^3$.

- معاملة (4) وكانت لدراسة أثر خلط الصخر الفوسفاتي مع الزبل البقري (بمعدل 2%) على انحلال الصخر، حيث تم خلطه مع الصخر الفوسفاتي بالمعدلين المستخدمين (PR_1M) و (PR_2M) .

- معاملة (5) نفذت لدراسة أثر خلط الكبريت و الزبل البقري معاً على انحلال الصخر الفوسفاتي فقد أضيفا مجتمعين مع كل من معدلي الصخر (PR_1MS_1) للمعدل الأول و (PR_2MS_2) للمعدل الثاني.

- معاملة (6) و هدفت لدراسة أثر خلط الكبريت مع الزبل البلدي على تحرير الفوسفور من الزبل البقري ، و استخدمت كشاهد لمعاملة الخليط الثلاثي (PRMS) فقد جهزت هذه المعاملة عن طريق خلط 2% زبل بقري مع كل من معدلي الكبريت المستخدمين و سميت المعاملات (MS_1) و (MS_2) .

- معاملة (7) و كان الهدف منها هو تبيان أثر نوع المصدر الفوسفوري (إن كان على شكل صخر فوسفاتي أو مصدر معدني قابل للانحلال في الماء) فقد أضيفت معاملة من سماد السوبر فوسفات الثلاثي (TSP) و بنفس معدلي الفوسفور المضاف على شكل PR و سميت بـ TSP_1 و TSP_2 .

رطبّت العبوات عن طريق إضافة اللقاح الميكروبي لإيصالها إلى 90% من السعة الحقلية. حضنت العينات على حرارة 28 م°، تم تهوية العبوات عن طريق فتح أغطية العبوات لمدة نصف ساعة و إعادة وزنها للوزن الأصلي بإضافة الماء المقطر للمحافظة على رطوبتها وذلك بمعدل ثلاث مرات أسبوعياً. حضنت العبوات لمدة أربعة أشهر، نفذت خلالها 4 سحبات بعد 7 ، 49 ، 89 ، 119 يوم و بمعدل ثلاث عبوات من كل معاملة وبالتالي يكون عدد العبوات = 7 معاملة x 2 معدل x 3 مكررات x 4 سحبات = 168 عبوة.

التحاليل الكيميائية والقياسات على العينات المسحوبة:

- محتوى التربة من الفوسفور المتاح باستخدام طريقة Olsen.
- أكسدة الكبريت: و ذلك عن طريق تقدير محتوى العينات من الكبريتات SO_4^{2-} بتحضير مستخلص بنسبة (Soil: H₂O = 1: 5) و قدرت الكبريتات بطريقة العكارة (Ryan et al., 2001)
- قياس درجة الحموضة (pH) : في معلق مائي (Soil : H₂O, 1 : 2.5).

-دراسة انحلال الصخر الفوسفاتي: بالرغم من انتشار طرق كثيرة لدراسة انحلال الصخر الفوسفاتي في الترب الحامضية فبالمقابل لا يوجد طريقة عامة متفق عليها لدراسة انحلاله في الترب الكلسية، لذلك فقد اقترح Rajan et al (1996) استخدام طريقة (Jiang Baifan & Gu Yichu, 1989) لتجزئة الفوسفور P-Fractionation لدراسة انحلال الصخر الفوسفاتي في الترب الكلسية. حيث توزع هذه الطريقة نواتج تفاعلات الفوسفور المنحل من الصخر الفوسفاتي في الترب الكلسية وفق و هي فوسفات الكالسيوم الثنائية (DiCalcium Phosphate= DCP Ca₂-P) والتي تستخلص بواسطة (0.25M, pH7.5) (NaHCO₃)، وفوسفات الكالسيوم الثمانية (OctaCalciumC-Phosphate= OCP= Ca₈-P) و تستخلص بواسطة خلات الأمونيوم (NH₄) (NH₄F, 0.5 N, AC, 0.5 M, pH 4.2) و فوسفات الألمنيوم (Al-P) و تستخلص بواسطة فلورايد الأمونيوم (0.1N) NaOH- 0.1N Na₂CO₃، والفوسفور (Fe-P) و فوسفات الحديد (pH 8.2) و تستخلص بواسطة (0.1N) NaOH- 0.1N Na₂CO₃، والفوسفور المحتبس (Occluded-P) و يستخلص بستررات الصوديوم و ماءات الصوديوم و ديتيونايت الصوديوم (NaOH (1M) + Na₃C₆H₅O₇ (0.3M)) و فوسفور الأباتيت (Ca₁₀-P) والذي يستخلص بواسطة (H₂SO₄, 0.5N). و يقدر الفوسفور المستخلص بالمستخلصات المختلفة بطريقة (Murphey and Riley, 1962)

- إن رشاحات الاستخلاص للمحاليل المختلفة المستخدمة في عملية التجزئة قد تحتوي على كمية من الفوسفور العضوي خاصة المحاليل القلوية (NaHCO₃, NaOH)، لذلك تم تقدير الفوسفور الكلي (Pt) في هذه المستخلصات بعد إجراء عملية الهضم بواسطة بيرسلفات البوتاسيوم (K₂S₂O₈) (APHA, 1989) و تمثل قيمة الفوسفور فيها الفوسفور العضوي و المعدني في المستخلص.

-تم حساب النسبة المئوية لانحلال الصخر الفوسفاتي عن طريق حساب الفرق في المحتوى الفوسفوري (ΔP) بين ناتج مجموع أجزاء الفوسفور المختلفة ماعدا الأباتيت (Ca₁₀-P) في المعاملات التي احتوت على الصخر الفوسفاتي و هي PRMS, PRM, PRS, PR والمعاملة التي تمثل الشاهد لكل معاملة و هي على التوالي MS, M, Control, Control و نسبت هذه القيمة (ΔP) إلى كمية الفوسفور المضافة عن طريق الصخر الفوسفاتي. نفذت عملية الانحلال على معاملات المعدل الأول من الصخر المضاف (1600mgP/Kg soil).

النتائج والمناقشة:

أكسدة الكبريت الحر:

يعود الهدف الأساسي من إضافة المحسنات المستخدمة (الزبل البقري و الكبريت العنصري) هو خلق وسط يزيد من انحلال الصخر الفوسفاتي و لعل أحد أهم عوامل الوسط التي تؤثر في الانحلال هو الرقم الهيدروجيني (pH) (Van Straaten 2002)، فمن المتوقع أن إضافة الكبريت الحر و بسبب تعرضه لعملية الأكسدة يسبب تغيرات في محتوى عينات التربة من نواتج هذه العملية، ألا و هي الكبريتات و درجة الـpH. إن إضافة الكبريت أدى لارتفاع في محتوى المعاملات الحاوية عليه (PRS, MS, PRMS) من الكبريتات لكن لم تكن هذه الزيادة معنوية في المعدل الأول للإضافة (PRS)₁ إلا في نهاية التحضين فبلغ محتواها من الكبريتات 237 مغ/كغ تربة بالمقارنة مع 50 مغ/كغ تربة في معاملة الشاهد (جدول 4).

جدول (4) : محتوى المعاملات من SO4-S خلال فترة التحضين (mg/ Kg Soil)

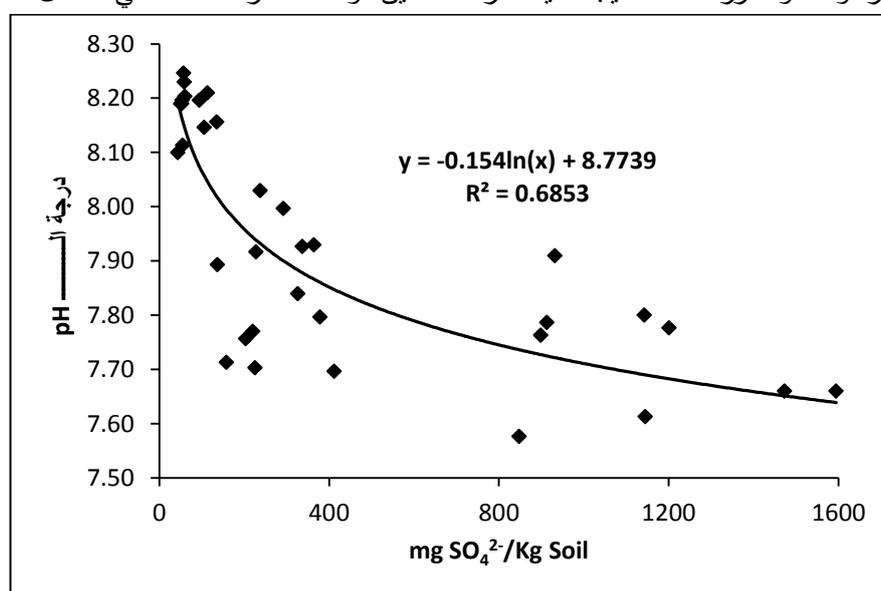
Treatment	Incubation Time (days)			
	7	49	89	119
Control	94.59 ^{ed}	57.62 ^c	55.21 ^c	50.39 ^d
M	38.64 ^e	55.35 ^c	44.27 ^c	55.20 ^d
PR ₁	105.78 ^{ed}	60.37 ^c	43.80 ^c	53.28 ^d
(PRS) ₁	137.27 ^{ecd}	292.14 ^c	227.61 ^c	237.55 ^c
MS ₁	158.35 ^{cd}	378.90 ^c	203.38 ^c	337.30 ^c
PR ₁ MS ₁	225.65 ^c	326.19 ^c	220.57 ^c	364.54 ^c
PR ₂	113.40 ^{ed}	58.75 ^c	135.49 ^c	52.64 ^d
(PRS) ₂	412.14 ^{ab}	1201.08 ^b	913.13 ^b	931.79 ^b
MS ₂	516.74 ^a	1472.94 ^{ab}	847.91 ^b	898.93 ^b
PR ₂ MS ₂	362.68 ^b	1594.57 ^a	1144.85 ^a	1142.50 ^a
LSD _{0.05}	112.23	343.6	196.72	159.54

أما في معاملات المعدل الثاني (PR₂, (PRS)₂, (MS)₂, PR₂MS₂) لوحظ ازدياد محتوى المعاملات التي استقبلت الكبريت الحر من الكبريتات بطريقة معنوية بالمقارنة مع الControl مع ملاحظة وجود تشابه بين معاملي MS₂ و (PRS)₂ خلال فترة التحضين، لكن بالمقابل نلاحظ ازدياد محتوى معاملة الخليط الثلاثي PR₂MS₂ من الكبريتات و كانت هذه الزيادة معنوية خلال فترة التحضين ماعدا عند الزمن 49 يوماً من التحضين و يعود ذلك لارتفاع قيمة أقل فرق معنوي في هذه السحبة (LSD_{0.05}= 243.6). تشير نتائج الجدول بأن أعلى قيمة للكبريتات تم الحصول عليها بعد مضي 49 يوماً من التحضين و تتوافق هذه المدة مع الأبحاث السابقة حيث كانت بعد 56 يوماً لدى Fan *et al* (2002) و ناصر (2010)، بينما كان بعد مضي 40 يوماً عند Slaton *et al* (2001). تم قياس درجة الـ pH لملاحظة التغير الحاصل فيها نتيجة عملية أكسدة الكبريت، وكذلك نتيجة عملية التمدن التي يخضع لها الزبل البقري المضاف (جدول 5). لقد سبب إضافة الكبريت الحر في تخفيض درجة الـ pH و بطريقة معنوية بالمقارنة مع الشاهد أو معاملة الصخر الفوسفاتي وذلك طيلة فترة الدراسة، و لدى

جدول (5) : أثر خلط الكبريت والزليل البقري مع الصخر الفوسفاتي في قيم الرقم الهيدروجيني pH خلال فترة التحضين :

Treatment	Incubation Time (days)			
	7	49	89	119
Control	8.20 ^a	8.25 ^a	8.11 ^{ab}	8.19 ^a
M	7.87 ^b	7.93 ^c	7.91 ^c	8.20 ^{cb}
PR ₁	8.15 ^a	8.20 ^a	8.10 ^b	8.03 ^a
(PRS) ₁	7.89 ^b	8.00 ^b	7.92 ^c	8.03 ^c
PR ₁ M	7.89 ^b	7.94 ^c	7.89 ^c	8.05 ^{cb}
MS ₁	7.71 ^c	7.80 ^{ed}	7.76 ^d	7.93 ^d
PR ₁ MS ₁	7.70 ^c	7.84 ^d	7.77 ^d	7.93 ^d
PR ₂	8.21 ^a	8.23 ^a	8.16 ^a	8.19 ^a
(PRS) ₂	7.70 ^c	7.78 ^e	7.79 ^d	7.91 ^d
PR ₂ M	7.90 ^b	7.99 ^b	7.90 ^c	8.07 ^b
(MS) ₂	7.53 ^d	7.66 ^f	7.58 ^e	7.76 ^e
PR ₂ MS ₂	7.53 ^d	7.66 ^f	7.61 ^e	7.80 ^e
LSD _{0.05}	0.0665	0.0465	0.0512	0.0384

الربط بين محتوى المعاملات من الكبريتات و درجة الـ pH فقد تم الحصول على علاقة ارتباط لوغارتمية بمعامل ارتباط $R^2=0.686$ (شكل 1) مما يدل على الدور المباشر لأكسدة الكبريت في تخفيض درجة الـ pH، كذلك ساهم أيضاً الزيل البقري في التخفيض المعنوي لدرجة الـ pH في المعاملة (M) بالمقارنة مع الشاهد أو معاملة الصخر الفوسفاتي (PR) و ذلك لدور الأحماض العضوية في تزويد التربة ببروتونات الهيدروجين، كما تبين النتائج أن إضافة كلا المُحسّنين مع بعض (الزيل البقري و الكبريت) زاد في انخفاض درجة الـ pH و ازداد هذا الانخفاض بطريقة معنوية عند زيادة معدّل الكبريت المضاف فوصل قيمة الـ pH إلى 7.53 في المعاملة MS_2 بينما كانت 7.71 في المعاملة MS_1 بعد أسبوع من التحضين و استمرت درجة الـ pH حول هاتين القيمتين طيلة فترة التحضين و كانت دائماً معنوية بالمقارنة مع الـ Control أو مع معاملة الصخر لوحده (PR) و كذلك بالمقارنة مع معاملة الزيل البقري لوحده (M)، أما درجة الـ pH في معاملة الخليط الثلاثية (PRMS) فقد انخفضت أيضاً و بطريقة معنوية بالمقارنة مع الشاهد أو معاملة الصخر لوحده و تكررت هذه النتيجة طيلة فترة التحضين، وكانت أكثر انخفاضاً في المعدّل



شكل (1) العلاقة بين درجة الحموضة و محتوى العينات من SO_4^{2-} في المعاملات

الثاني $(PRMS)_2$ بشكل دائم منها في المعدّل الأول $(PRMS)_1$. بالرغم من عدم تجاوز قيمة الانخفاض 0.7 درجة pH بالمقارنة مع الـ Control أو معاملة الصخر لوحده (PR) لكنه كان معنوياً، و يعتبر مهماً إذا أخذ بعين الاعتبار أن التربة ذات قدرة تنظيمية (Buffer Capacity) مهمة كونها تربة كلسية و تحتوي على 46% طين فهي تملك قدرة كبيرة لممانعة التغير في درجة الـ pH من جراء إضافة المحسنات المستخدمة.

أثر خلط الكبريت والزيل البقري مع الصخر الفوسفاتي على الفوسفور المتاح (Olsen-P) :

استخدم قياس الفوسفور المتاح (Olsen-P) كأحد أجزاء الفوسفور الناتج عن انحلال الصخر الفوسفاتي من قبل العديد من الأبحاث السابقة (2009، حبيب ; Alloush, 2003 ; Rajan, 1983)، لكن يعتبر هذا القياس أحد مؤشرات انحلال الصخر الفوسفاتي لكن لا يبين معدّل انحلاله خلال عملية التحضين (Rajan et al., 1996)، تبين النتائج (جدول 6) أن معاملة الصخر الفوسفاتي (PR) و كذلك خليطه مع الكبريت (PRS) لم يسبب أي زيادة في الفوسفور المتاح بمرور زمن التحضين و ذلك في معدلي الصخر المضافين و كانت القيم متقاربة مع الشاهد، أي إن أكسدة الكبريت و ما نتج عنه من تخفيض في درجة الـ pH لم يسبب انحلال الصخر بالقدر الكافي الذي يؤدي

لرفع محتوى التربة من Olsen-P في هذه المعاملة (جدول 6). إن إضافة الزبل البقري (M) و نتيجة تمعدن الفوسفور العضوي فيه أدى لزيادة Olsen-P في هذه المعاملة و كانت هذه الزيادة معنوية بالمقارنة مع الشاهد وذلك طيلة فترة التحضين في التجربة. أما عملية خلط الصخر مع الزبل البقري (PRM) فقد أكدت نتائج هذه الدراسة ما حصل عليه (Mahimairajaet al.,1995) بعدم زيادة Olsen-P في معاملة الخليط بالمقارنة مع معاملة الزبل البقري لوحده، و تكرر ذلك في المعدل الثاني للصخر الفوسفاتي (PRM)2 و في كافة السحبات خلال فترة التحضين. بالرغم من التخفيض المعنوي لدرجة الـ pH الذي نتج عن إضافة المواد المحسنة، و بالرغم من قدرة الأحماض العضوية التي تفرز من الكائنات الحية الدقيقة أثناء تفكك الزبل البقري على ربط أيونات الكالسيوم مما قد يتسبب في انخفاض تركيزها في المحلول، كل هذا لم يؤد لانحلال في الصخر الفوسفاتي بالكمية التي يمكن من خلالها رفع محتوى التربة من الفوسفور المتاح المستخلص بطريقة أولسن، يعزى ذلك لوجود كربونات الكالسيوم في التربة و كذلك في الزبل البقري، كل هذا رفع من قدرة التربة التنظيمية لدرجة الـ pH مما أحبط دور بروتونات الهيدروجين في زيادة انحلال الصخر، وكذلك أدى لارتفاع محتواها من كاتيونات الكالسيوم مما سيقفل في دور الأحماض العضوية التربة في التخفيض من تركيزها للمستوى الذي يشجع انحلال الصخر الفوسفاتي (Bril and Salomons, 1990). كذلك إن ارتفاع محتوى المعاملات من الفوسفور المتاح الناتج عن معدنة الزبل البقري سيؤثر سلباً على انحلال للصخر وفقاً للمعادلة (1) (Robinson and Syers, 1990) و يحدث ذلك بشكل واضح في تجارب التحضين كونها نظاماً مغلقاً تبقى نواتج التفاعل في مكانها بخلاف النظام المفتوح بوجود النباتات.

جدول (6) محتوى المعاملات من Olsen-P خلال فترة التحضين ($\mu\text{gP/g Soil}$)

Treatment	Incubation Time (days)			
	7	49	89	119
Control	1.09 ^e	2.83 ^d	3.61 ^c	4.59 ^f
M	55.15 ^{bcd}	53.47 ^b	65.82 ^b	109.65 ^b
PR ₁	1.68 ^e	3.15 ^d	4.79 ^c	6.17 ^f
(PRS) ₁	1.72 ^e	3.49 ^d	4.86 ^c	6.96 ^f
PR ₁ M	47.57 ^{bcd}	51.11 ^b	64.68 ^b	101.85 ^b
MS ₁	58.94 ^b	52.31 ^{bc}	64.44 ^b	94.52 ^{bc}
PR ₁ MS ₁	58.85 ^{bc}	54.20 ^b	59.66 ^b	82.78 ^{cd}
TSP ₁	40.17 ^d	50.04 ^{cb}	55.41 ^b	56.84 ^e
PR ₂	1.32 ^e	3.11 ^d	4.45 ^c	6.45 ^f
(PRS) ₂	3.62 ^e	4.89 ^d	5.05 ^c	6.59 ^f
PR ₂ M	44.78 ^{bcd}	38.96 ^c	58.52 ^b	67.89 ^{de}
MS ₂	41.44 ^{cd}	45.83 ^{bc}	60.02 ^b	73.7 ^d
PR ₂ MS ₂	39.72 ^d	43.57 ^{bc}	47.51 ^b	57.07 ^e
TSP ₂	207.14 ^a	227.08 ^a	262.50 ^a	159.04 ^a
LSD _{0.05}	17.497	12.732	24.361	15.275

إن عملية خلط الكبريت مع الزبل البقري لم تسبب زيادة معنوية بالفوسفور المتاح بالمقارنة مع معاملة الزبل البقري لوحده (M) في معدل الخليط الأول (MS)₁ لكنه أثر سلباً و بطريقة معنوية في معدل الخلط الثاني (MS)₂، كذلك الأمر و بالرغم من التخفيض المعنوي لدرجة الـ pH في معاملة الخليط الثلاثي فهي لم تسبب زيادة معنوية بالفوسفور المتاح في المعدل الأول للخليط الثلاثي (PR₁MS₁) بالمقارنة مع شاهد هذه المعاملة وهو (MS)₁ لكن

لوحظ انخفاض في كمية أولسن-P في معاملة الخليط الثلاثي في معدله الثاني (PR_2MS_2) فبلغ محتواها 57 مغ/P كغ تربة والتي لم تكن معنوية بالمقارنة مع شاهد هذه المعاملة (MS_2) إلا في نهاية التحضين، لكن كانت كمية Olsen-P في هذه المعاملة (MS_2) أقل و بطريقة معنوية و منذ بداية التحضين بالمقارنة مع (MS_1) التي احتوت 102 مغ /كغ تربة ومع المعاملة (M) والتي احتوت على 110 مغ/P كغ تربة، يمكن إرجاع هذا الانخفاض بالفوسفور المتاح عند تواجد الزيل البقري مع الكبريت للتخفيض الكبير لدرجة pH و المتوقع وجوده في بعض المواقع الميكرونية حول حبيبات الكبريت مما أثر على نشاط بعض الكائنات الحية الدقيقة (البكتريا) التي يقل نشاطها في الظروف الحامضية مما أدى لانخفاض نسبي في عملية معدنة الفوسفور العضوي في الزيل البقري. أما إضافة سماد السوير فوسفات القابل للانحلال في الماء فقد رفع محتوى التربة من الفوسفور المتاح بشكل كبير و كانت قيمته متقاربة مع ما قدمته معاملة الزيل البقري لوحده (M) في المعاملة (TSP_1). لكن أكثر منها في المعدل الثاني (TSP_2).

دراسة انحلال الصخر الفوسفاتي:

إن محلول بيكربونات الصوديوم المستخدم في قياس أولسن يستخلص جزءاً ثابتاً من الفوسفور في التربة وهو ما درج بتسميته بالفوسفور المتاح للنبات، ولذلك يعتبر قياس أولسن مؤشراً لانحلال الصخر الفوسفاتي، لكنها لا تقيس بالضبط عملية الانحلال لذلك تم اللجوء لإجراء عملية تجزئة للفوسفور في المعاملات المختلفة في نهاية عملية التحضين باستخدام طريقة (Jiang and Gu, 1989) و التي تقيس توزع الفوسفور المحرر من الصخر في أشكال مختلفة من Ca_2-P , Ca_8-P , $Al-P$, $Fe-P$, $Occluded-P$, $Apatite$. و تعبر مجموع الأشكال الفوسفورية المختلفة عدا الأباتيت عن الفوسفور المنحل، نفذت عملية التجزئة في نهاية التحضين و للمعدل الأول فقط. تبين النتائج في الجدول (7) أن الفوسفور المحرر سواء عن انحلال الصخر الفوسفاتي أو

جدول (7) انحلال الصخر الفوسفاتي (تجزئة الفوسفور) في نهاية التحضين

treat	Ca ₂ -P		Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P		Occluded-P*		Ca ₁₀ -P
	Pi	PT	Pi	Pi	Pi	PT	Pi	PT	Pi
	mg P/kg soil								
Control	6.5 d	11.545d	32.11e	46.98e	15.31e	20.08e	0	147.0	60.92c
PR	10.7 d	16.99d	87.63c	73.25bcd	39.55c	44.90c	0	157.3	111.3a
PRS	8.8 d	15.045d	76.22c	65.82ab	23.87d	33.69d	0	171.5	98.0ab
M	43.2 ab	58.783a	142.2a	81.18abc	43.35bc	50.51c	0	198.4	60.92c
PRM	33.6 bc	41.104bc	144.1a	89.61 a	47.62b	52.91c	0	179.4	85.6b
MS	40.2 ab	45.771b	138.2a	66.81cd	48.57b	64.12b	0	160.5	84.2b
PRMS	29.5 c	37.604bc	125.8b	85.64ab	45.72bc	65.72b	0	177.1	87.5b
TSP	30.5 c	33.714c	114.9ab	60.36ed	58.55a	96.95a	0	148.6	59.9c
LSD	8.396	8.2509	11.365	15.31	7.525	9.683			16.849

* الفوسفور المحتبس بين طبقات الطين في التربة

عن تمعدن الزيل البقري و بعد مرور 119 يوماً من التحضين تفاعل مع مكونات التربة و أخذ أشكال مختلفة، مما أدى لارتفاع محتوى المعاملات من جميع الأشكال الفوسفورية و بطريقة معنوية بالمقارنة مع الشاهد ما عدا الشكل Ca_2-P في معاملة PR و PRS.

و عندما حسبت النسبة المئوية لكل شكل كيميائي إلى مجموع الأشكال المستخلصة فقد كان أهمها فوسفات ثمانية الكالسيوم (Ca_8-P) في جميع المعاملات (جدول 8) و كانت نسبته المئوية إلى مجموع الأشكال الفوسفاتية المستخلصة 29% و 32% في معاملات PR_1S_1 و PR_1 على التوالي بينما ارتفعت نتيجة إضافة الزيل البقري

لتصل إلى 42%، 41% و 44% في المعاملات M, PR₁M, MS₁ على التوالي، بينما كان 36% في معاملة الخليط الثلاثي (PR₁MS₁).

جدول (8) : النسبة المئوية للأشكال الكيميائية للفوسفور بالنسبة للمجموع الكلي للأشكال المستخلصة

Treat	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	Occlud-P	Ca ₁₀ -P
	%					
PR	3	32	15	14	6	29
PRS	2	29	12	9	23	25
M	18	42	13	12	16	0
PRM	11	41	16	12	12	9
MS	14	44	8	18	5	10
PRMS	10	36	15	18	11	10
TSP	11	42	7	39	0	0

تشير النتائج أيضاً أن إضافة الزبل البقري غير من ترتيب الأشكال الفوسفورية (جدول 9): ففي الوقت الذي جاء الأباتيت (Ca₁₀-P) في المرتبة الثانية في معاملي الصخر الفوسفاتي لوحدة (PR) و خليطه مع الكبريت

جدول 9 : النسبة المئوية للأشكال الكيميائية للفوسفور بالنسبة للمجموع الكلي للأشكال المستخلصة

المعاملة	%
PR	Ca ₈ -P= 32 > Ca ₁₀ -P= 29 > Al-P= 15 > Fe-P= 14 > Oc-P= 6 > Ca ₂ -P= 3%
PRS	Ca ₈ -P= 29% > Ca ₁₀ -P= 25% > Oc-P= 23% > Al-P= 12% > Fe-P= 9% > Ca ₂ -P= 2%
M	Ca ₈ -P= 42% > Ca ₂ -P= 18% > Oc-P= 16% > Al-P= 13% > Fe-P= 12% > Ca ₁₀ -P= 0%
PRM	Ca ₈ -P= 41% > Al-P= 16% > Fe-P= 12% = Oc-P= 12% > Ca ₂ -P= 11% > Ca ₁₀ -P= 9%
MS	Ca ₈ -P= 44% > Fe-P= 18% > Ca ₂ -P= 14% > Ca ₁₀ -P= 10% > Al-P= 8% > Oc-P= 5% >
PRMS	Ca ₈ -P= 36% > Fe-P= 18% > Al-P= 15% > Oc-P= 11% > Ca ₂ -P= Ca ₁₀ -P= 10% >
TSP	Ca ₈ -P= 42% > Fe-P= 39% > Ca ₂ -P= 11% > Al-P= 7% > Ca ₁₀ -P= Oc-P= 0%

(PR₁S₁) و كانت نسبته 29 و 25 % على الترتيب، فهو جاء في مواقع متأخرة بوجود الزبل البقري، وكذلك انخفضت نسبته إلى 9%، 10% و 10% عندما خلط الصخر الفوسفاتي مع الزبل البقري في المعاملات M و PR₁M و PR₁MS₁ على التوالي. وغاب نهائياً في معاملة الزبل البقري لوحدة (M) و كذلك في معاملة الـ TSP، أما بالنسبة للفوسفور المرتبط مع كل من أكاسيد الحديد (Fe-P) وأكاسيد الألمنيوم (Al-P) فتراوحت بين 9% و 16% في جميع المعاملات ما عدا معاملة السوبر فوسفات (TSP) حيث احتل Fe-P المرتبة الثانية بعد (Ca₈-P) و كانت نسبته 39% مما يؤكد على أكاسيد الحديد في ربط الفوسفور المضاف من قبل الأسمدة الذوابة في الماء في الترب الكلسية (Halajnia et al., 2009)، و فيما يخص الفوسفور المحتبس Oc-P يلاحظ أنه توضع في مراحل متوسطة من ناحية الترتيب و تراوحت نسبته بين 6% في معاملة PR و 23% في معاملة PR₁S₁ ولوحظ غيابها في معاملة TSP.

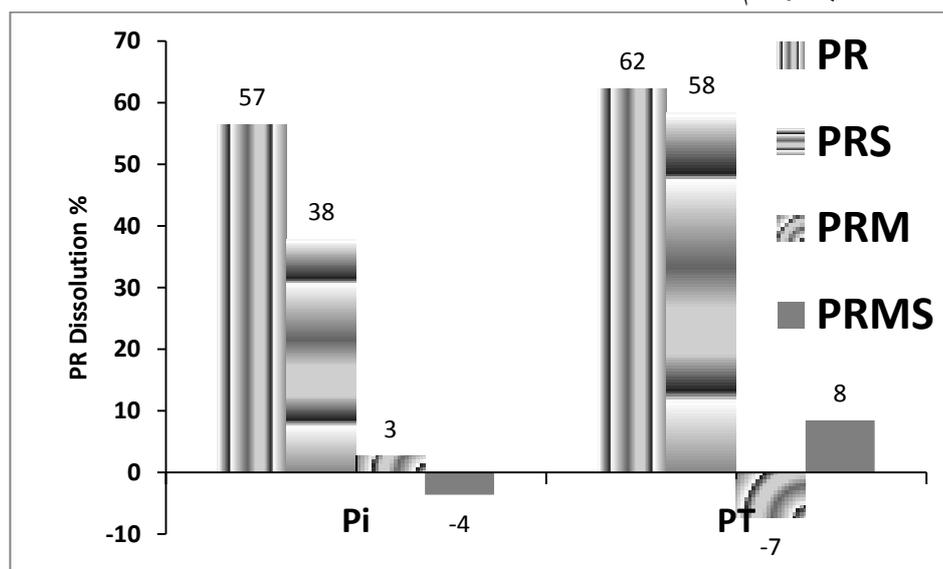
وعند حساب علاقة الارتباط بين الأشكال الفوسفاتية المختلفة (Pi) ومحتوى المعاملات من الفوسفور المتاح (Olsen-p) لوحظ بان فوسفات الكالسيوم الثنائية (Ca₂-p) ثم فوسفات الكالسيوم الثمانية (Ca₈-P) احتلت الموقع

الأول والثاني على الترتيب من حيث قيمة علاقة الارتباط (R) (جدول 10)، مما يدل بأنها تشكل المصادر الأساسية التي تمد التربة بالفوسفور المتاح للنبات، وبما أن وجود الزيل البقري زاد من محتوى

جدول (10) علاقة الارتباط بين الفوسفور المعدني (Pi) للأشكال الفوسفورية المختلفة مع Olsen-P

p-form	Ca2-P	Ca8-P	Al-P	Fe-P	Ca10-P
R	0.98	0.91	0.62	0.69	- 0.31

من هذين الشكلين للفوسفور، يدل هذا بشكل قاطع بأن وجود مصدر عضوي مع الصخر الفوسفاتي وإن لم يزد من انحلال الصخر الفوسفاتي لكنه حول الفوسفور لأحد الأشكال التي تشكل رديفا مهما للفوسفور المتاح في التربة. حُسبت النسبة المئوية لانحلال الصخر عن طريق تنسيب مجموع الأشكال المستخلصة ماعدا الأباتيت إلى كمية الفوسفور المضاف في الصخر الفوسفاتي المستخدم، فوجد بأنها بلغت %58 و %62 للشكل المعدني و الكلي على التوالي (شكل 2)، أما عملية خلط الصخر الفوسفاتي مع الكبريت لم يؤد لزيادة في انحلاله بل انخفضت هذه النسبة لتصل إلى %38 للشكل المعدني و %58 للكلي، يمكن تفسير الفرق الكبير بين الشكلين المعدني و الكلي لدخول جزء من الفوسفور المنحل في أجسام الكائنات الحية الدقيقة حيث من المتوقع حدوث عملية تفكك جزئية للكثلة الميكروبية أثناء عملية الهضم.



شكل (2) النسبة المئوية لانحلال الصخر الفوسفاتي للشكلين: المعدني Pi و الكلي PT

كما حُسبت النسبة المئوية لتمعدن الفوسفور العضوي في الزيل البقري فتم الحصول نسبة 100% مما يدل على أن عملية تمعدن الزيل البقري كانت كاملة، بينما ارتفعت عند قياس المحتوى الكلي للفوسفور إلى 124% يعود ذلك إلى تحفيز النشاط الحيوي نتيجة إضافة مصدر للطاقة (الزيل البقري) مما أدى إلى معدنة للفوسفور الموجود أصلاً في المحتوى العضوي للتربة أو مايسمى بـ Priming effect، لكن لوحظ أن لإضافة الكبريت مع الزيل البقري أثراً سلبياً على معدل التمعدن فكانت النسبة المئوية للمعدنة 93% مما يثبت تأثير عملية التحميض الناتجة عن نشاط الـ thiobacillus و الأحماض العضوية على نشاط بقية أنواع البكتريا فكان تأثيره سلباً على معدنة الفوسفور العضوي في الزيل البقري. إن عملية خلط الزيل البقري مع الصخر الفوسفاتي (معاملة PR₁M) أثر سلباً على انحلال الصخر الفوسفاتي فكانت النسبة المئوية للانحلال 3 و 8% في الشكلين المعدني و العضوي، يعود ذلك كما ذكر سابقاً لوجود

الفوسفور الناتج عن معدنة الزبل البقري في محيط حبيبات الصخر مما كبح عملية الانحلال، و كذلك يعود لارتفاع كمية الزبل البقري المضافة (2%) ، ففي دراسة أصص لـ (Birikorang et al 2007) وجدوا أن نبات الذرة لم يستجيب للصخر الفوسفاتي عن خلطه مع السماد العضوي بمعدل يزيد عن 30 مغ لكل كغ تربة (0.003%)، و فسر ذلك لارتفاع محتوى التربة من الفوسفور المتحرر من السماد العضوي مما قلل من فرصة انحلال الصخر الفوسفاتي، إن التأثير السلبي للمصدر العضوي على انحلال الصخر الفوسفاتي سيكون أعلى في تجارب التحضين المغلقة كما هو حال هذه الدراسة.

الاستنتاجات و التوصيات:

بينت هذه الدراسة أن عملية خلط الصخر الفوسفاتي مع الزبل البقري و الكبريت إلى تربة طينية لومية تحتوي على 5% كربونات الكالسيوم لم تؤد لزيادة محتوى المعاملات من الفوسفور المتاح، بينما أظهرت دراسة تجزئة الفوسفور بأن الصخر الفوسفاتي قابل للانحلال في هذه التربة ووصلت نسبة انحلاله إلى 62%. كذلك الأمر لم يتسبب الكبريت و الزبل البقري في زيادة الانحلال و يعود السبب لارتفاع معدل الزبل البقري المضاف. لكن أثر الزبل البقري في تحولات الفوسفور الناتج عن انحلال الصخر الفوسفاتي. تمثل هذه الدراسة نتائج أولية و هي تحتاج للاستكمال عن باستخدام أنواع أخرى من التربة و تجريب معدلات مختلفة من الزبل البقري.

المراجع:

1. حبيب، ليلي.. دراسة انحلال الصخر الفوسفاتي من خلال خلطه مع معدلات مختلفة من الكبريت و أثر ذلك على الفوسفور المتاح في التربة. مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية. سلسلة العلوم الزراعية. 2009 . قبل للنشر .
2. ناصر رباب و ليلي حبيب . اختبار مقدرة اللفت الزيتي والحازون على امتصاص جنور الأورثوفوسفات من صخر فوسفاتي بعد خلطه بالكبريت الحر في عينتين من التربة الجيرية. مجلة جامعة تشرين 2009.
3. ناصر. الاستخدام المباشر للصخر الفوسفاتي في الزراعة و أثر خلطه مع عنصر الكبريت. أطروحة ماجستير. 2010 . 97 صفحة.
4. ALLOUSH GA. *Dissolution and effectiveness of phosphate rock in acidic soil amended with cattle manure* . Plant Soil 251(2003):37–46
5. APHA,. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 17th edition*. American public Health Association, Washington, D.C. (1989)
6. 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.
7. 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*. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 24: (1990) 125- 134.
8. BOUYOYCOS , G.J. . *Hydrometer method improved for making practice size analysis of soil* . Agron . J . 53: (1962) 464-465 .
9. BRIL J AND SALOMONS W. *Chemical composition of animal manure a modelling approach*. Neth J Agric Sci 38: (1990) 333 – 351 .

10. BIRIKORANG S.A; M.K. ABEKOE; O.O. OLADEJI. *Enhancing the agronomic effectiveness of natural phosphate rock with poultry manure: a way forward to sustainable crop production*. Nutr Cycl Agroecosyst 79: (2007)113–123.
11. EDWARDS, G. H. A.. *Observations on the response of crops to rock phosphate*. Int. Congr. Soil Sci Trans. Paris Comm. 44: (1956) 13-20.
12. FAN, X; HABIB, L; FLECKENSTEIN, J; HANEKLAUS, S; SCHNUG,E.. ‘ *In situ Digestion ‘ aConcept to Manage Soil phosphate in Organic Farming*. In proceeding of 13th International Fertilizer Symposium ‘ Fertilizers in Context with Resource Management in Agriculture, Tokat, Turkey, (2002) 219 – 228 .
13. GHANI , A; RAJAN , S .S . S; AND LEE, A.. *Enhancement of phosphate rock solubility through biological processes*. Soil Biol. Biochem. 26 N^o 1 : (1994) 127-136.
14. GARCÍA DE LA FUENTE, R., CARRIÓN, C., BOTELLA, S., FORNES, F., NOGUERA, V., ABAD, M.,. *Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes*. Bioresour, Technol. 98, (2007) 3561 – 3569.
15. HALAJNIA. A; G.H. HAGHNIA; A FOTOVAT; R. KHORASANI. *Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure*. Geoderma 150 (2009) 209–213.
16. HABIB, L; CHIEN, S. H; CARMON, G. and HERAO, J.. *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. Vol. 30, N^o (3&4), (1999), 449-456.
17. HABIB, L; ALLOUSH, G. A; and CHIEN, S. H.. *Agronomic Effectiveness of Phosphate Rock as influenced by Plant Species Grown on Sand Culture and Alkaline Soil*. J. King Saud Univ. 15. Agric. Sci. (1), (2003) 53-60.
18. HOOKER, M. L., PETERSON, G. A., SANDER, D. H., and DAIGGER, L. A.. *Phosphate fractions in calcareous soils as altered by time and amount of added phosphate*. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, (1980) 269-277.
19. KHASAWNEH, F.E. & DOLL, E.C. . *The use of phosphate rock for direct application to soils*. Adv. Agron., 30: (1978) 159-206.
20. JIANG, B. AND Y.GU . *A suggested fractionation and. scheme of inorganic phosphorus in calcareous soils*. Fert. Res. 20: (1989) 159-165
21. MAHIMAIRAJA, S., BOLAN, N.S. & HEDLEY, M.J. . *Dissolution of phosphate rock during the composting of poultry manure: an incubation experiment*. Fert. Res., 40: (1995) 93-104.
22. MURPHY, AND J.P. RILEY.. *A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters*. Anal. Chem.Acta 27: (1962)31-36.
23. NISHANTH, D., BISWAS, D.R., *Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheate (Triticum aestivum)*. Bioresour. Technol. 99, (2008) 3342 – 3353 .
24. ODONGO, N., HYOUNG, K., CHOI, H., VAN STRAATEN, P., MCBRIDE, W., ROMNEY , D.,*Improving rock phosphate availability through feeding, mixing and processing with composting manure*, Bioresour, Technol98, ,(2007) 2911 – 2918.
25. OLSEN, S. R., COLE, C. V., WATANABE, F. S., AND DEAN, L. A.. *Estimation of available phosphours in soil by extraction with sodium bicarbonate*. US. Dept. Agric. Cire. No. 939. (1954)

26. OLSEN, S. R; AND SOMMERS, L. E.. Phosphorus . P. (1982) 403-430. In A. L. Page (ed), Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties , 2nd ed ., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA .
27. RAJAN, S.S.S., . *Effect of sulphur content of phosphate rock/sulphur granules on the availability of phosphate to plants* . Nutr. Cycle Agroecosys, 4, (1983) 287 – 296 .
28. RAJAN, S. S. S.. *Phosphate rock and phosphate rock/ sulphur granules as phosphate fertilizers and their dissolution in soil*. Fertilizer research. 11: (1987), 43-60
29. RAJAN SSS, FOX RL, SAUNDERS WMH, UPSDELL M. *Influence of pH , time and rate of application on phosphate rock dissolution and availability to pastures*. 1 . Agronomic benefits . Fertil Res 28: (1991) 85 – 93 .
30. RAJAN SSS, WATKINSON JH, SINCLAIR AG .*Phosphate rocks for direct application to soils*. Adv Agron 57: (1996) 77 – 159
31. ROBINSON JS AND SYERS JK. *A critical evaluation of the factors influencing the dissolution of Gafsa phosphate rock* . J Sci 41: (1990) 597 – 605
32. RYAN, J; ESTEFAN, G; RASHID, A.. *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual*2. ICARDA. NARC.(2001) 172p.
33. SINGARAM, P; RAJAN, S. S. S; and KOTHANDARAMAN, G. V. *Phosphate rock and a phosphate rock/superphosphate mixture as fertilizers for crops grown on a calcareous soil*. Commn. Soil Sci. Plant Anal. 26: (1995). 1571-1593
34. SLATON. N. A; NORMAN. R. J; and GILMOUR. J. T.. *Oxidation rates of commercial elemental sulfur products applied to an alkaline silt loam from Arkansas*. Soil sci. soc. Am. J. 65: (2001)239-243.
35. VAN STRAATEN P. *Rocks for crops: agrominerals of sub-Saharan Africa*. International Centre for Research in Agroforestry, Nairobi, (2002) p 338.
36. WALLELEY , A. And BLACK , I.A . . *An examination of the Degtjreff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method* . Soil Sci . 37 : (1934) 29-38 .