مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

استجابة نباتات الذرة الصفراء (*Zea mays* L.) للتسميد الفوسفاتي وحركية الفوسفور في بعض الترب السورية

د. غياث علوش[1]
أسامة حتى[2]

(تاريخ الإيداع 21 / 6 / 2016. قبل للنشر في 20 / 11 / 2016)

□ ملخّص □

أجريت تجربة أصص في البيت البلاستيكي في موقع مشتل جامعة تشرين. تضمنت التجربة ثلاثة ترب متباينة في خواصها الكيميائية: 1- تربة حمراء طينية ثقيلة تتميز بمحتواها العالي من الأكاسيد، 2- تربة بازلتية سلتيةلومية، 3- تربة طينية حمراء تتميز بمحتواها العالي من كربونات الكالسيومالكلية (34.8%). وتضمنت التجربة تسميد فوسفاتي باستخدام سوبر فوسفات مركز (TSP)، وبمعدلات متدرجة (0-20-40-60-80-100-150 و 200 مغP/كغ تربة). زرعت نباتات الذرة الصفراء بمعدل نباتين في الأصيص واستمرت التجربة 48 يوم حيث تم حصاد المجموع الخضري واستخلاص المجموع الجذري وذلك قبل تشكل النورة الزهرية. تم تسجيل الأوزان الجافة لأجزاء النبات وإجراء التحاليل الكيميائية لتقدير الفوسفور في النبات وفي تربة الريزوسفير.

اختلف شكل استجابة نبات الذرة الصفراء خلال فترة الدراسة لمعدلاتالتسميد الفوسفاتي بحسب نوع التربة، فكان خطياً في التربتين الحمراء الثقيلة والكلسية الحمراء ومنحنياً في التربة البازلتية، واختلفت سرعة تجاوب النباتات للتسميد الفوسفاتي باختلاف الترب المدروسة ومحتواها الأصلي من الفوسفور. كما أدت معدلات التسميد المتزايدة إلى زيادة متدرجة وخطية في أجزاء الفوسفور المستخلص بالرزن ومستخلص البيكربونات بشكله المتفاعل مع الموليبدات(MRP)، ولكن ليس مع الجزء العضوي لمستخلص البيكربونات. لقد تباينت الكمية المثبتهمن الفوسفور المضاف في الترب الثلاثة تبعاً لمستوى الإضافة، معدل امتصاص الفوسفور من قبل النبات المزروع، وبالخواص الكيميائية المتباينة للتربة. لقد زادت الكمية المثبتهمن الفوسفور المضاف وكانت هذه الزيادة خطية.في حين بلغت قيم الفوسفور الذي تعرض للتثبيت كنسبة مئوية من المضاف في الترب الحمراء والبازلتية والكلسية الحمراء 41.7، 68.5، 66% عند مستوى الإضافة 20 مغP/كغ تربة، وتنخفض هذه النسبة إلى 30.2، 41.9 و59.1 % عند مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة.

الكلمات المفتاحية:الذرة الصفراء، امتصاص الفوسفور، تثبيت الفوسفور، تجزئة الفوسفور.

[1]أستاذ - قسم علوم التربة والمياه – كلية الزراعة – جامعة تشرين- اللاذقية -سورية.
[2]طالب دراسات عليا قيد التسجيل لدرجة الماجستير - قسم علوم التربة والمياه – كلية الزراعة – جامعة تشرين – اللاذقية- سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

Response of maize (Zea mays L.) to phosphorus application and dynamics in some Syrian soils

Dr. Ghiath A. Alloush[3]
Osama A.Hatta[4]

(Received 21 / 6 / 2016. Accepted 20 / 11 /2016)

□ ABSTRACT □

A pot exrpriment was conducted in a greenhouse in Tishreen University. The experiment included three soils differ in their chemical properties: 1) heavy clay red soil rich in iron oxides; 2) a silty loam basiltic soil; 3) a heavet clay red soil rich in total calcium carbonate (34.8 %). Treatments include application of different levels of triple super phosphate (TSP, 46 % P_2O_5) ranged from 0, 20, 40, 60, 80, 100, 150, to 200 mg P/kg soil. Pots were sowned with maize (2 plants/pot) and grown for 48 days. At harvest, plant were hatvested before flowering by cutting shoots and extracting roots which were oven dried and weight were recorded prior to digestion and P determination in shoot and root tissues. Samples of rhizosphere soils from each pot replicate were taken for P fractionation and determination.

The response of maize to P application differs at period test according to soil type. The increase in growth was linear with increasing P level of application in theheavy red and calcareous red soils, while was polynomial in basilitic soil. The speed of growth increase in response to P application was influenced by native available P in the soil prior to application. The application of P led to linear increase in resin-P and MRP fraction in the bicarbonate extract, but not the Po fraction of the bicarbonate extract. The quantities of fixed applied P varied according to level of P application, the ratio of P uptake by maize plants, and chemical properties of the soil type. The proportion of applied P that was fixed increased linerarly with increasing level of P application. It constitutes 41.7,68.5 and66% at level of P application (20 mg/kg soil), and decreasing to30.2, 41.9 and 59.1% at level of P application (200 mg/kg soil) for red, basiltic, and calcerous red soils, respectively.

Key words: Zea mays, phosphorus uptake, P-fixation, P-fractionation

[3]Professor at the Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.
[4]Postgraduate Master, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

يعد الفوسفور عنصر ضروري لجميع الكائنات الحية فهو وعلى الرغم من توزعه الواسع في الطبيعة يعتبر من أهم العناصر الغذائية المحددة لنمو النبات،وتعتبر انخفاض إتاحته مشكلة أساسية مسببة انخفاض الإنتاجيةفي أكثر الترب الزراعية (Redel et al, 2011)،هذا ما يستدعي إضافته بالوقت المناسب وبالكمية الملائمة إما بشكله العضويأو المعدني للحصول على الإنتاجية المثلى (Chien et al, 2011).ووفقاً لبعض الدراسات فإننقصالفوسفور ينتشر على مساحة أكثر من 2بليون هكتار من العالم، وتعاني حوالي 80–90% من ترب المناطق الجافة وشبه الجافةمن فقرها في الفوسفور المتاح للنبات (NFDC, 2001).

تكمن الإستراتيجية الجيدة في إدارة عنصر P بتحسين كفاءة استخدام الأسمدة الفوسفاتية المضافة من جهة، ومن جهة أخرى في زيادةالإستفادة من الفوسفور الموجودة أصلاً في التربة (Native–P) بهدف خفض معدلات التسميد (Lehmann et al,2001)، حيث أن عمليات التسميد الفوسفاتي وبكميات كبيرة قد تؤدي إلى الحد الذي تنعدم عندهاالإستفادة من السماد المضاف حيث أن حوالي 10–30% من الفوسفور المضاف فقط يمكن أن يستفيد منه النبات ويتعرض الباقي للتثبيت في التربة (Manske et al, 2000)،ويغير الجزء المثبت منه في الخواص الفيزيائية والكيميائية للترب بشكل مباشر أو غير مباشر (Belay et al, 2002) بالتأثير على pHالتربة،N وC–عضوي،CEC، وقد يؤثر على ذوبان بعض العناصر مثل Mg, Al, Fe, Ca(Loganathan et al, 2006; KabataandPendias, 2001).

لقد ركزت بعض الدراسات السابقة على الدور الرئيس لكربونات الكالسيوم في ادمصاص الفوسفور في الترب الكلسية (Leytem and Westermann, 2003) إذ تسيطر دقائق كربونات الكالسيوم على سطوح معقدات الادمصاصوتقومكاتيونات الكالسيوم بتشكيل جسور بين المواقع الادمصاصية المتكشفة على السطوح وبين أنيونات الفوسفات.كما أن أكاسيد الحديد والألمنيوم نشطة جداً في عملية ادمصاص الفوسفور بسبب شحنة الشبكة الموجبة في معظم الترب إضافة إلى السطوح النوعية الكبيرة لها (Schwertmann and Taylor, 1989)، وحتى في الترب ذات الطبيعة القلوية تساهم أكاسيد الحديد والألمنيوم في ادمصاص الفوسفور وتعتبر أكثر أهمية من أشكال المعقدات الكلسية للفوسفور في هذه الترب (Berteand et al, 2003).وبسبب طبيعة التفاعلات الكيميائية للفوسفور في التربة يتواجد الفوسفور المعدنيPiمدمصاًبصورة خاصة على سطوح جزيئات التربة أو مترسباً، أو بصورته العضوية Po الذي يشكل 20–80% من P–الكلي في الطبقة السطحية للتربة(Richardson,1994).غالباً ما تتحول الأشكال المختلفة من الفوسفور إلى الشكلالمتاح حيوياً (bioavailable) عبر عمليات التحرير (desorption) والانحلال (dissolution) والتميه الأنزيمي(enzymatic hydrolysis)، فقط نسبة هامشية من P التربة (0.1–10ميكرومول)عادة ما تتواجد في محلول التربة وهو المتاح مباشرة للنبات(Frossard et al,2000).

يتطلب نمو المحاصيل ، وخاصة الذرة في مراحلها الأولى إلى تركيز محددللفوسفور في النسيج النباتي (Grant et al, 2005).وعند وجود نقص في التغذية الفوسفورية لنبات الذرة في مراحل مبكرة فمن المتعذر تعويضه بإضافة سماد فوسفوري لاحقاً في مراحل متأخرة من عمر النبات، وهذا بدوره يؤثر على دليل ومؤشر الحصاد بالنسبة لنبات الذرة الصفراء (Gavito and Miller, 1998)، وينعكسذلك على الناتج الكلي للمحصول في نهاية الموسم (Plenet et al, 2000).ويتوضح تأثير انخفاض الفوسفور في تأخرالنضج وانخفاض كميته وضعف في تطور الجذور وصغر مساحة الجذور (Hughes, 2006).

لقد حدد أكثر من 30 شكل للفوسفور في التربة بعد إضافته كسماد، ومن بين Pi كان الفوسفور المرتبط مع الكالسيوم Ca–P، الفوسفور المرتبط مع الحديد Fe–P والفوسفور المرتبط مع الألمنيوم Al–P(Hooker et al, 1980). البعض من هذه الأشكال انتقالية بينما الأشكال الآخرى أكثر ثباتاً وذلك بحسب خصائص التربة (pH التربة، الكاتيونات المتبادلة خاصة Ca^{2+} و Mg^{2+}، محتواها من كربونات الكالسيوم، محتواها من الطين، والسعة التبادلية الكاتيونيةCEC والتي تؤثر على معدلات ادمصاص الفوسفور وتثبيته(Brar and Cox, 1991; Ghonsikar and Musande, 1978). يتضمن الفوسفور العضوي الفوسفوليبيداتالتي تكون بشكل قابل للتبادلوأحماض نووية ونكليوتيدات، والإينوزيتول،بينما يتواجد بشكل أكثر ثباتاً وهو الفوسفور المرتبط مع أحماض الهيوميك(Sharpley and Rekolainen, 1997). وبالرغم من أن معظم الفوسفور المتواجد في أجسام ميكروبات التربة ليس متاحاً مباشرة للنبات، ولكن التحولات اللاحقة التي تحصل في الكتلة الحيوية يمكن أن تحرر الفوسفور ببطء إلى محلول التربة،وإذا تزامن ذلك مع حاجة النبات للفوسفور يمكن امتصاصه من قبل النبات وبكفاءة عالية (Redel et al, 2011).

هنالك العديد من الطرق لتقدير الفوسفور في التربة تبعاً لطريقة الاستخلاص، مثل طريقة أولسن (Olsen,1954)، Bray–1(Bray and kurtz,1945)Mehlich–1(Nelson et al., 1953) التي تقيس الشكل المتاح، وطريقة هيدليلتجزئة الفوسفور(Hedley and Stewrat,1982). العلاقة بين مختلف الطرق في دراسة الفوسفور ليست واضحة المعالم ومن الصعب المقارنة بينها (Johnson et al, 2003). تعتبر طريقة تجزئة الفوسفور بالإستخلاص المتتابع للفوسفور (Hedley and stewrat,1982)إضافة لطرق معدلة عنها (Tiessen and Moir,1993) لمعرفة تحولات الفوسفور في التربة على المدى البعيد، والتي كانت أول خطوة لتحديد كل من Pi وPoاللذين يتمتعان بسهولة تحولاتهما في التربة، وبعدها كل من الفوسفور المعدني والعضوي الأكثر ثباتاً وذلك باستخدام محاليل استخلاص قوية وبشكل متتابع، كما تتضمن طريقة هيدلي تقدير الفوسفور المتاح حيوياً باستخدام أكياس الريزنالأنيونيةوالتي جذبتكثيراً من الإنتباه كأداة تفيد لتقصي أشكال مختلفة من P التربة وتشمل تقييماً لمدى توفر الفوسفور المتاح في الترب (Johnson et al, 2003).لقد فضّل بعض الباحثين استخدام مصطلح المتاح أكثر من مصطلح القابل للقياس لأن الفوسفور قد يدخل للمحلول إما عبر عمليات التحرير أو عبر انحلال الفوسفور المعدني المرتبط مع معادن التربة، أو بعملية تمعدن (Pi–mineralization) للفوسفور العضوي والذي حدد كمجموع resin–P و P المتفاعل مع المولبيدات (MRP) و Po العضوي(Johnson et al, 2003).

أهمية البحث وأهدافه:

1) دراسة مدى تجاوب نبات الذرة الصفراء لمعدلات مختلفة من التسميد الفوسفاتيفي ثلاث ترب سورية (قبل تشكل النورة الزهرية).

2) حركية الفوسفور المضاف (ترسيب – تثبيت – ادمصاص) بين الأشكال المختلفة في منطقةرايزوسفير جذور نباتات الذرة في الترب الثلاث المدروسة.

طرائق البحث و موادهـ

1. مواد التجربة:

المادة النباتية:استخدم نبات الذرة الصفراء (*Zeamays.L*) هجين F1 تانغو مصدره الولايات المتحدة.

الترب المستخدمة: استخدمت في هذه الدراسة ثلاثة ترب مختلفة في خواصها الفيزيائية والكيميائية حيث تم جمعها من ثلاث مناطق في سوريا **:تربة حمراء:** طينية ثقيلة جمعت من محافظة اللاذقية قضاء الحفة وهي غنية بأكاسيد الحديد، و **تربة بازلتية:** سلتيةلوميةجمعت من محافظة حمص – ضهر القصير – شين، و **تربة كلسية حمراء:**طينية جمعت من محافظة اللاذقية على طريق برج اسلام– الشامية، وتسمى في النص اصطلاحاً تربة كلسية.جمعت الترب الثلاثة من العمق 0–30 سم ونقلت إلى موقع العمل في مشتل جامعة تشرين حيث جففت هوائياً ونخلت عبر منخل ذو فتحات 2 مم لإزالة الشوائب وحفظت في أكياس نايلون لحين الاستخدام. كما خضعت ترب الدراسة للتحليل المخبري لتحديد قوامها وبعض خواصها الكيميائية التي يبينها الجدول(1)(Black et al,1965;Ryan et al,2003).

جدول 1: بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية لترب الدراسة.

التربة	التركيب الحبيبي %			القوام	pH_w	OM %	Olsen–P ppm المتاح	$CaCO_3$ (%)		CEC meq/100 g
	طين	سلت	رمل					كلية	فعالة	
حمراء	63	26	11	طينية ثقيلة	8.1	0.94	0	2.3	1.75	47.8
بازلتية	24	59	17	سلتيةلومية	7.11	0.19	9.54	1.1	0.67	37.0
حمراءكلسية	45	17	38	طينية متوسطة إلى خفيفة	8.33	0.48	1.47	34.8	3.58	34.8

	الكاتيونات الذائبة (ppm)				الكاتيونات المتبادلة(meq/100 g)			
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
حمراء	267	112	13.2	29.1	25.7	9.1	0.8	0.8
بازلتية	107	72	5	49.4	13.2	9.4	0.5	0.8
حمراء كلسية	280	32	9.1	30.1	27.7	3.5	1.5	0.9

تم تحديد التركيب الميكانيكي بطريقة الهيدرومتروقوام التربة باستخدام مثلث القوام المعتمد في وزارة الزراعة الأمريكية (USDA). وقدرت كربونات التربة الكلية بطريقة المعايرة الرجعية (Backtitration)، ومحتواها من المادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة، كما قدرت السعة التبادلية الكاتيونيةبعد اشباع التربةبخلات الصوديوم(Black et al.,1965)، ومحتواها من الفوسفور الذائب في الماء بتحضير مستخلص مائي بنسبة(1:2.5Soil:H2O) ثم الخض لمدة ساعتين على هزاز ميكانيكيومن ثم رشح المعلق بورق ترشيح (Whatman No. 42).قدر الفوسفور المتاح في مستخلص البيكربونات (Olsen et al,1954) وباستخدام طريقةموليبدات الأمونيوم، وتم تحديد درجة pH في معلق مائي (1:2.5soil:H2O).

2. مخطط التجربة:

تضمنت معاملات التجربة لكل نوع من ترب الدراسة الثلاثة إضافة مستويات متدرجة من الفوسفور (0- 20- 40- 60- 80- 100- 150- 200 مغP/كغ تربة) وذلك بصورةالسمادية سوبر فوسفات الثلاثية TSP (46 % P_2O_5)، فكان عدد المعاملات 8 معاملات لكل تربة وبثلاثة مكررات لكل معاملة فيصبح العدد الإجمالي لأصص التجربة 72 أصيص.خلطت تربة كل أصيص (2 كغ) على حدا مع سماد السوبر فوسفات وذلك تبعاً للمعاملة، هذا بالإضافة لتلقي جميع أصص التجربة تسميداً آزوتياً بمعدل 2 غ يوريا (46% N) وهي تعادل 920مغN/أصيص + 200 مغ من سلفات المغنيزيوم + 1.97غ/أصيص للتربة البازلتية و 1.26غ/أصيص للتربة الحمراء من سماد سلفات البوتاسيوم (K_2O %50) لتعادل بذلك محتوى التربة الكلسية من البوتاسيوم المتاح. وزعت أصص التجربة عشوائياً على طاولات في البيت البلاستيكي في المشتل الزراعي في جامعة تشرين.

3. الزراعة والعناية بالتجربة:

زرعت 5 بذور من الذرة الصفراء في كل أصيص على عمق 2-2.5 سم بتاريخ 2014/5/1 ومن ثم بعد وصول البادرات إلى طول 5 سم تم التفريد إلى بادرتين في الأصيص. تمت السقاية خلال فترة التجربة من الأسفل من خلال صحون لحين ترطيب الطبقة السطحية بالخاصة الشعرية وذلك بمعدل 2 إلى 3 مرة أسبوعياً بحسب حاجة النبات. كما تلقت نباتات التجربة تسميداً إضافياً خلال مراحل النمو على الشكل التالي:

1. نترات الأمونيوم: تلقت جميع أصص التجربةإضافات آزوتية استناداً لظهور حاجة النبات للآزوت على أوراقها، تمت الاضافة بمعدل 100 مغN/أصيص بعد 18 و 31 يوم من الزراعة و 200 مغN/أصيص بعد 40 يوم من الزراعة، وتمت إضافة الآزوت ذائباً مع ماء الري في الصحون أسفلالأصص.

2. سلفات المغنيزيوم: 100 مغ /أصيص بعد 22 يوم من الزراعة (للتربتين الحمراء والكلسية فقط)على شكل محلول مع ماء الري في الصحون أسفلالأصصوذلك بسبب انخفاض محتواهما من المغنيزيوم مقارنة بالكالسيوم بحسب نتائج تحاليل التربتين (جدول 1).

3. عناصر نادرة:وتضمنت العناصر Fe, Zn, Cu, Mn, MO, B وفق تراكيز محلول Long Ashton(Hewitt,1946)وذلك بعد 31 و 40 يوم من الزراعة مع ماء الري من خلال الصحون أسفل الأصص.

4. إجراءات الحصاد:

بعد 48 يوم من الزراعة تم الحصاد وذلك بقص المجموع الخضري عند مستوى سطح التربة، وضعت في أكياس ورقية للتجفيف في فرن على درجة حرارة 70 °م لمدة 24 ساعة على الأقل، وتم استخلاص الجذور بغسيل التربةوجففت كما سبق، وأخذ الوزن الجاف لكل من المجموعين الخضري والجذري، وطحنت المجاميع الخضرية والجذرية تحضيراً للهضم الجاف لتقدير الفوسفور بطريقة المولیبدات-فاندات، كما تم أخذ عينات من تربة الرايزوسفيرالعالقة على المجموع الجذري للنبات لاختبارات تجزئة الفوسفور المتاح.

5. تقدير الفوسفور الكلي الممتص من قبل النبات:

تم وزن 0.5غ من مطحون المجموع الجذري أو الخضري في جفنات لوضعها في مرمدة بدرجة حرارة 550مْ، تذاب المادة المرمدة بـ 10مل من محلول HCL*2N* واكمال الحجم إلى 50 مل ماء مقطر. تم سحب 5 مل من الرماد الذائب بالماصة لتقدير تركيز الفوسفور في العينة بطريقة مولیبدات-فاندات الأمونيوم (Ryan et al,2003).

6. تقدير الفوسفور في التربة:

جففت عينات ترابةالرايزوسفير للمعاملات هوائياً وطحنت لتمر من منخل 100 mesh (150 ميكرومتر) وخضعت للاستخلاص المتتابع للفوسفور المتاح بالاستخلاص بالريزن وبيكربونات الصوديوم *0.5 M* (Hedley, et al.,1982)، وذلك وفق المخطط الموضح في الشكل (1).

أ.تجزئة الفوسفور المتاح:

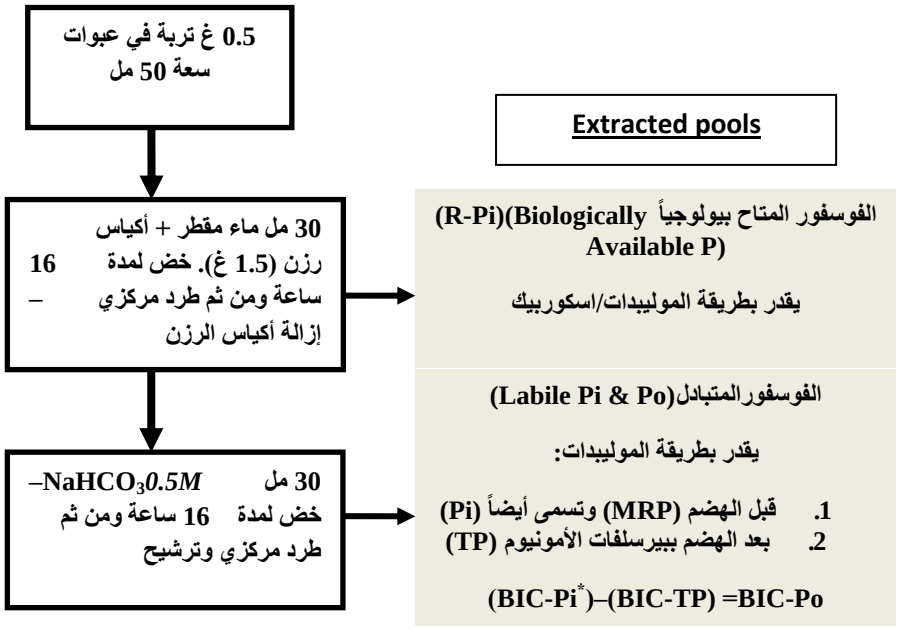
تمت تجزئة الفوسفور بالاستخلاص المتتابع لعينة 0.5 غ تربة جافة هوائياً باستخدام عبوات بلاستيكية سعة 50 مل محكمة الأغلاق وذلك في كل مرة خض التربة بـ 30 مل من المحلول يتنوع بحسب الاستخلاص لمدة 16 ساعة والطرد المركزي لمدة 15 دقيقة بسرعة 5000 دورة / دقيقة. في البداية تم خض العينات بالماء المقطر (30 مل) بوجود أكياس الرزن الموجبة من نوع IRA–402 المشبعة بشوارد HCO_3^- . تزال أكياس الرزن وتخضع العبوات للطرد المركزي والتخلص من الرائق. تتم إزاحة الفوسفور المدمص على الرزن بخض أكياس الرزن ب 30 مل من HCl (0.5 مول/ليتر) لمدة 2 ساعة ويحفظ المحلول لقياس الفوسفور المعدني (Inorganic P, Pi)، ويعاد تنشيط الرزن بنقع أكياسه بمحلول 0.5 مول/ليتر من $NaHCO_3$ لمدة 48 ساعة على الأقل، ومن ثم الغسيل بالماء المقطر حتى تعادل درجة pH الماء. يتم بعد ذلك الاستخلاص بمحلول 0.5 مول/ليتر $NaHCO_3$باستخدام 30 مل من المحلول والخض لمدة 16 ساعة والطرد المركزي على 5000 دورة/دقيقة لمدة 15 دقيقة. يرشح رائق الاستخلاص بورق ترشيح Whatman No. 1، وتحفظ العينات على درجة حرارة 5م°لحين تقدير الفوسفور.

ب. تقدير الفوسفور المعدني

تقدير الفوسفور المعدني (Pi) أو المتفاعل مع المولوبدات (MRP): تم تقدير الفوسفور المتفاعل مع المولوبدات(Molybdate Reactive P, MRP) في جميع المستخلصات بطريقة مولوبدات الأمونيوم – حمض الأسكوبيك. وتعود تسمية الفوسفور المقدر بطريقة المولوبدات في مستخلصي البيكربوناتبـ MRP على أعتبار أن المولوبدات تتفاعل مع الفوسفور المعدني وجزء من الفوسفور العضوي الذي تحصل له حلمأة (Hydrolysis) في هذا المستخلصين نتيجة الحموضة في وسط التفاعل التي تتطلبها طريقة تحضير محلول مولوبدات الأمونيوم (Hens and Merckx, 2001)وبحسب دراسات سابقة (Taranto et al.,2000)فإن حوالي 90% من الفوسفور المستخلص بأكياس الريزنPi قد كان مطابقاً لنتائج الفوسفورالمشعP^{31} والمقدر باستخدام جهاز Spectroscopy.

ج. تقدير الفوسفور العضوي (Po):تحتوي محاليل مستخلص البيكربونات على كمية من الفوسفور العضوي، ولذلك تم تقدير الفوسفور الكلي (TP) في هذه المستخلصات في وسط حمضي(1 مل من 11H2SO4*M*) ووجود مادة مؤكسدة من بيرسلفات الأمونيوم (0.3 غ) لتحطيم مركبات الفوسفور العضوية، ويتبع ذلك تقدير الفوسفور في محلول الهضم بطريقة المولوبدات – اسكوربيك. ويتم حساب قيم الفوسفور العضوي بطريقة الفرق وفق مايلي:

Po = TP – MRP



الشكل 1: خطوات الاستخلاص المتتابع للفوسفور المتاح في التربة (Hedley, et al., 1982).

*** BIC–P = الفوسفورالمستخلص بواسطة محلول البيكربونات $NaHCO_3$ (0.5M).**

د.تقدير سعة ادمصاص الفوسفور :

تمت دراسة ادمصاص الفوسفور عن طريق إنشاء منحنيات الادمصاص متساوية درجة الحرارة Adsorption Isothermsوذلك بخض عينات من ترب الدراسة الثلاثة بمحاليل فوسفور متدرجة التركيز 0، 5، 10، 20، 30، 40، 50، 75، و 100 ppm. عند كل تركيز من الفوسفور أخذت 3 عينات (3x2.5 غ) تربة في عبوات بلاستيكة سعة 50 مل ويضاف لها 25 مل من محاليل الفوسفور والخض لمدة 16 ساعة على خضاض ميكانيكي (120 rpm)، وفيه تكون التربة قد وصلت إلى مرحلة التوازن، يتم بعد ذلك الترشيح بورق ترشيح Whatman No.42 ويقدر الفوسفور المتبقي بطريقة (Murphy and Riley, 1962).يمكن بالتالي حساب الفوسفور المدمصعلى التربة بطريقة الفرق في تركيز الفوسفور بين المضاف والمتبقي، واستخدم نموذجي فرندلشولانغمير وحيدة السطح لدراسة ومناقشة بيانات الادمصاص.

التحليل الإحصائي: خضعت كل معطيات النمو وامتصاص الفوسفور وتجزئة الفوسفور لتحليل التباين العام ANOVA، وكذلك فصل المتوسطات وحساب قيمة أقل فرق معنوي LSD عند مستوى معنوية 5%، وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي(SAS Institute, 1999)SAS.

النتائج والمناقشة

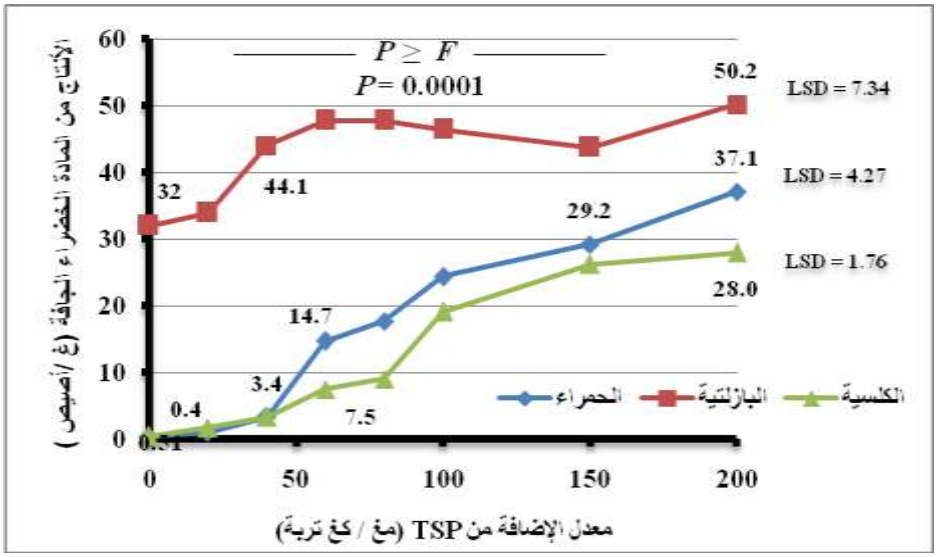
1. إنتاج الذرة من المادة الجافة:

اختلفت نباتات الذرةالصفراء المزروعة في تربة الشاهد(دون إضافة من الـ TSP) في نموها باختلاف نوع التربة المدروسة،وظهرت أعراض نقص الفوسفور متمثلاً باللون الأرجواني الناتج عن تراكم صبغة الأنتوسيانين في أنسجة الأوراق، إضافة لصغر في حجم النبات النامي في كل من التربتين الكلسية والحمراء مقارنة بالنباتات المزروعة في

التربة البازلتيةرغم أن تركيز الفوسفور المتاح فيها لم يكن عالي (9.54 ppm) مقارنة بالتربتين الحمراء والكلسية الحاويتين على تركيز منخفض جداً من الـP0 و 1.47 ppm (جدول1).

لقد أدت إضافة تراكيز متدرجة من السماد الفوسفاتي (TSP)للتربة الحمراء إلى زيادة بطيئة في النمو ولم تظهر الزيادة المعنوية في نمو المجموع الخضري للذرة حتى الوصول لمعدل إضافة (60 مغP/كغ)، ربما يعود ذلك لسعة الادمصاص العالية التي أبدتها تلك التربة بسبب محتواها المرتفع من أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد (Torrent,1997).لقد بلغ المجموع الخضري الجاف عند هذا المعدل 14.66غ/أصيص مقارنة بالشاهد 0.38 غ/أصيص أي بزيادة وقدرها 38 مرة.لقد استمرت الزيادة في إنتاج المادة الجافة بصورة خطية مع زيادة الإضافات من الـ TSP عن 60 مغ/كغ تربة فكان أعلى إنتاج للمجموع الخضري الجاف 37.1غ/أصيصعند معدل إضافة 200 مغP/كغ تربة، وهي زيادة معنوية عن معاملة التسميد (60 مغP/كغ تربة)وبزيادة وقدرها 63% ، بينما كانت الزيادة ظاهرية بالمقارنة مع معاملتي التسميد 100 و 150مغP/كغتربة.

أما في التربة الكلسية فكانت أول استجابة معنوية للتسميد الفوسفاتي عند معدل إضافة (40 مغP/كغتربة) والتي بلغت 3.36 غ/أصيص مقارنة بمعاملة الشاهد 0.51 غ/أصيص (شكل 2)، وبزيادة قدرها 9 مرات، وتستمر الزيادة في النمو مع زيادة تركيز الفوسفور المضاف ليبلغ الوزن الجاف للنباتات 28.0 غ/أصيص عند مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة. يتشابة منحنيي تجاوب نمو الذرة الصفراء في التربيتين الحمراء والكلسية إلا أن القيم في التربة الكلسية تبقى أقل من تلك المسجلة للتربة الحمراء. هذا ما سوف يتم مناقشته لاحقاً في ضوء سعة ادمصاص الفوسفور وتحولات الفوسفور بين الأشكال المختلفة في كلا التربتين.



شكل(2) :الانتاج من المادة الخضراء الجافة لنبات الذرة في الترب الثلاثة المدروسة(غ/أصيص).

أما في التربة البازلتية، فقد تميزت نباتات الذرة بالنمو الجيد حيث بلغ الإنتاج من المادة الجافة للمجموع الخضري 32 غ/أصيصفي تربة الشاهد مقارنة بمعاملتي الشاهد في التربتين الحمراء والكلسية حيث لم يتجاوز الإنتاج من المادة الجافة 0.1 غ/أصيص وكانت النباتات ضعيفة للغاية. هذا ليس بالمستغرب حيث أن تراكيز الفوسفور المتاح (جدول 1) منخفضة للغاية لا تسمح بتحقيق أي نمو يذكر (شكل 2). لقد كان معدلالإضافة 40 مغP/كغمن السماد الفوسفاتي كافياً لإعطاء أول إنتاج معنوي للمجموع الخضري الجاف في التربة البازلتية 44.1 غ/أصيص، ومن ثم

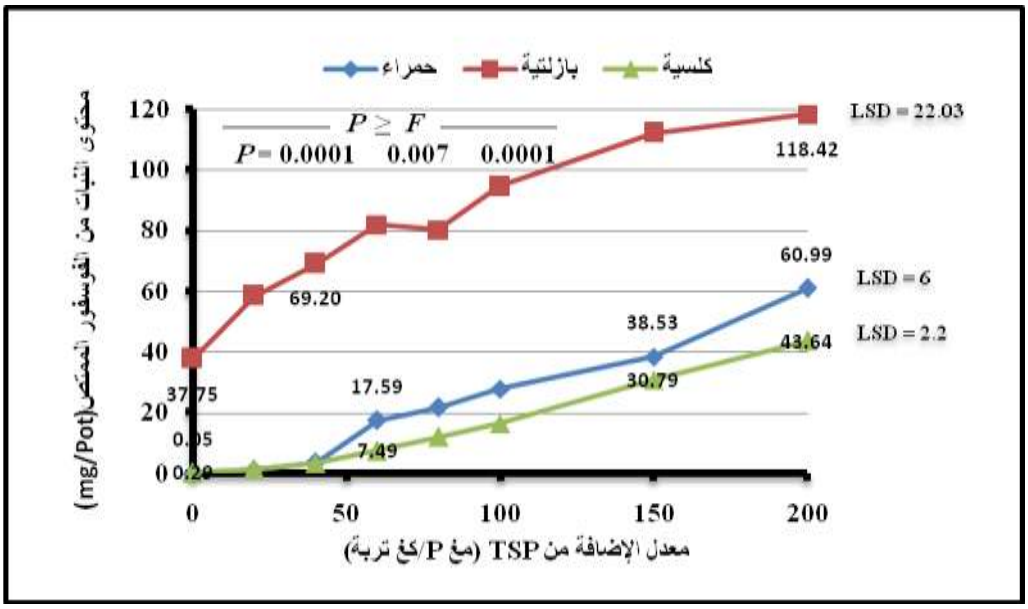
تستمر الزيادة ببطء لتصل إلى 50.2 غ/أصيص عند مستوى التسميد الأعظمي المطبق في هذه التجربة، وهي زيادة بمقدار 38% بالمقارنة مع إنتاج معاملة الشاهد 32 غ/أصيص (شكل 2).

2. امتصاص الفوسفور:

لقد ترافق كمية الفوسفور الممتص مع زيادة معدلات الاضافة الفوسفاتية والتي تمثلها محتوى النبات الكلي بمجموعيه الخضري والجذري وذلك في جميع ترب الدراسة، هذا على اختلافي الكميات الممتصة من الفوسفور بين الترب الثلاثة والتي ربما عادت إلى تباين إتاحة وحركية الفوسفورفيها بسبب تباين خواصها الكيميائية (شكل 3).

تبدو الزيادة المعنوية في امتصاص الفوسفور عند بلوغ تركيز الإضافة 60 مغP/كغ تربة وذلك في التربتين الحمراء والكلسية حيث بلغت الكمية الممتصة من الفوسفور 17.59 و 7.49 مغP/أصيص،على التوالي.تتابع الزيادة في الكمية الممتصة من الفوسفور في الزيادة مع زيادة التركيز المضاف من الفوسفور، ولكن تبقى دائما أعلى في نباتات التربة الحمراء مقارنة بالتربة الكلسية، ولتبلغ 60.99 و 43.64 مغ/أصيصعند معدل إضافة 200مغP/كغ في التربتين الحمراء والكلسية على التوالي. لقد لعبت كربونات الكالسيوم إضافة إلى غنى التربة بأكاسيد وهيدروكسيدات الحديد في التربة الكلسية الدور الهام في ربط الفوسفور المتاح وتشكل معقدات صعبة الانحلالية، خاصة عند التراكيز المرتفعة من الفوسفور المتاح المضاف للتربة حيث تعتبر الأشكال المترسبة من فوسفات الكالسيوم صعبة الإنحلال(Zhou and Li, 2001).فالتربة الحمراء الغنية بأكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم عالية القدرة على تثبيت الفوسفور مقارنة بالترب الخفيفة غير الحمراء حتى ولو ارتفعت فيها نسبة كربونات الكالسيوم (Matar et al., 1992) و (المحمود، 2002).

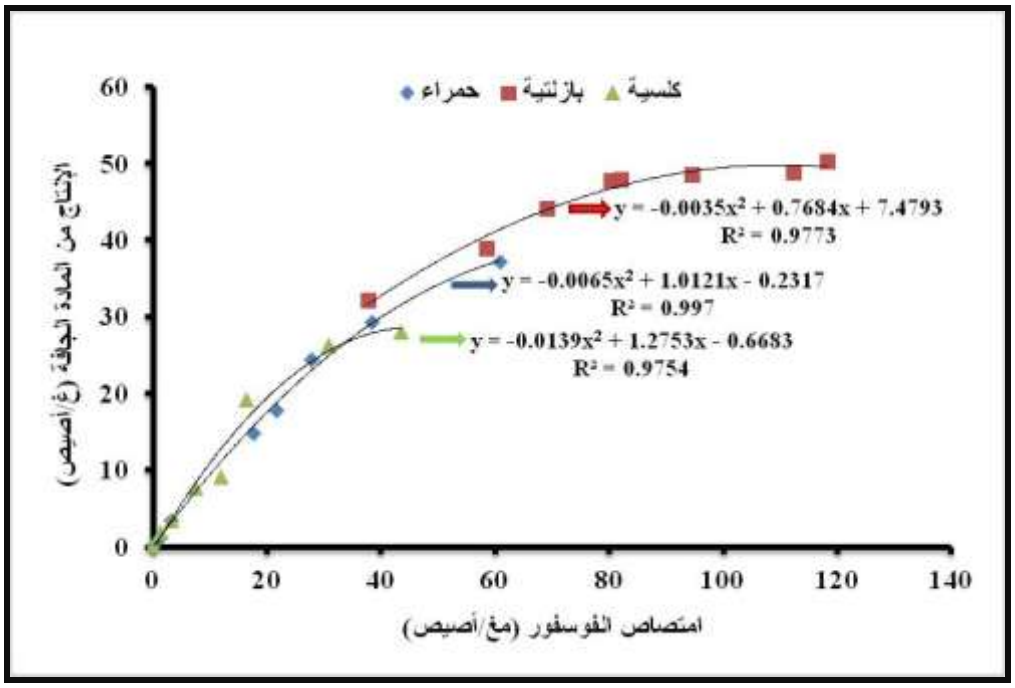
أما في التربة البازلتية فقد تجاوبت النبات مباشرة مع التسميد الفوسفاتي من المعدل التسميد الأول 20 مغP/كغ تربة بحيث وصلت الكمية الممتصة من الفوسفور الممتص (58.6مغP/أصيص) مقارنة بالشاهد (37.75 مغP/نبات).ومن ثم تتابع الزيادة في الكمية الممتصة باضطراد تدريجي مع زيادة معدل التسميد وقد بلغت الكمية الممتصة من الفوسفور 118.4 مغ P/أصيص عند مستوى الإضافة الأعظمي المستخدم في التجربة 200 مغ /أصيص (شكل 3).



شكل(3): محتوى نبات الذرة الصفراء من الفوسفور الممتص في الترب الثلاث المدروسة (mg/Pot).

لقد ارتبط زيادة النمو مع ارتفاع كمية امتصاص الفوسفور والذي تأثر بمستويات الإضافة وتفاعلات الإتاحة والتثبيت في ترب الدراسة بحيث كانت علاقة الارتباط لمنحنيات الامتصاص من الفوسفور وعلاقتها بالنمو الخضري من الدرجة الثانية (شكل 4).

لقد ازداد الميل مع زيادة مقدرة الترب الثلاثة على ربط الفوسفور والذي سنعبّر عنه لاحقاً عند دراسة منحنيات الادمصاص. ففي الترب ذات سعة الادمصاص والتثبيت العالية من الفوسفور سوف ينخفض إتاحة الفوسفور الأمر الذي سينعكس سلباً على مؤشرات النمو (Pellerinetal., 2000) الذي بين أنّ انخفاض الفوسفور في التربة يخفض من مساحة المسطح الورقي لنبات الذرة (Leaf area index, LAI)، وبالتالي يؤثر على ناتج عملية التحويل الضوئي التي يقوم بها النبات وما يتبعه من انخفاض في الكتلة الحيوية الناتجة للمجموعين الخضري والجذري مما ينعكس سلباً على قدرة النبات على امتصاص الفوسفور. إن طول الجذور الجيد يسمح بتماس أكبر بين المجموع الجذري والتربة واستغلال حجم أكبر من التربة وما يتبعه من زيادة في كمية الفوسفور الممتصة(Ciarelli et al., 1998;Pellerinetal.,2000).



شكل (4): علاقة الارتباط التي تبين تبعية النمو والإنتاجية من المادة الجافة مع امتصاص الفوسفور.

كفاءة استخدام الفوسفورالسمادي (PUE%) Phosphorus Utilization Efficiency

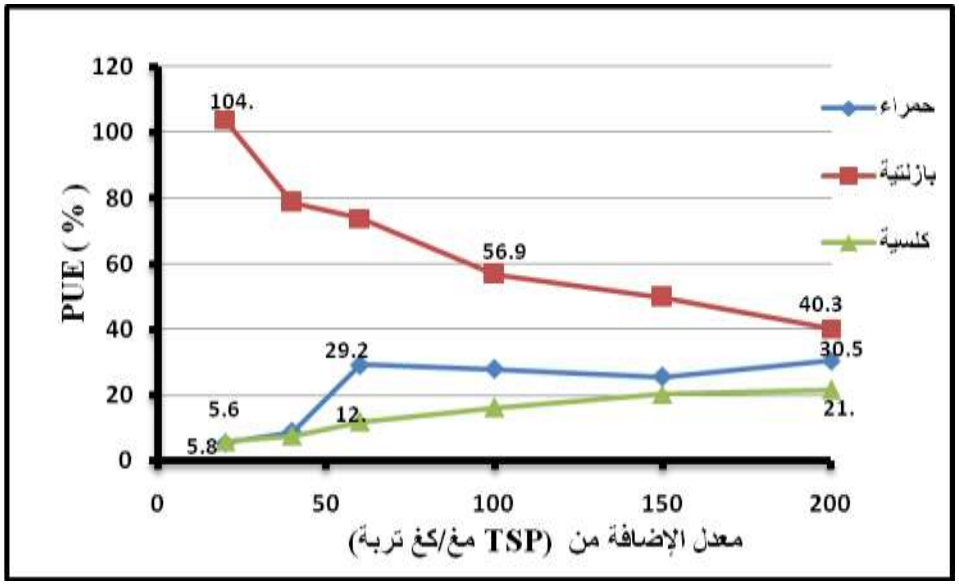
يعبر مقدار الفوسفور الممتصمن قبل النبات عن الكمية الكلية من الفوسفور المزاحة من التربة. فالامتصاص هو نتيجة العلاقة التابعية للتأثير المتبادل بين ديناميكية الامتصاص والنمو، وبالتالي كفاءة امتصاص الفوسفور.

ويوضح الشكل(5) كفاءة استخدام الفوسفور (PUE) من الشكل السمادي المتاح المضاف على شكل TSP والتي تم حسابها على الشكل التالي:

PUE%=[(الفوسفور الممتص في معاملة التسميد– الشاهد)/ معدل الإضافة السمادية]× 100

تحت ظروف تجربتنا فقد اختلفت كفاءة النبات لاستخدام الفوسفور تبعاً لنوع التربة ولما تتمتع به كل تربة من خواص كيميائية تؤثر في حركية الفوسفور، وبالتالي في نمو النبات. في التربة الحمراء تزداد معدلات الاستفادة من الفوسفور المضاف مع زيادة معدل الإضافة إلى 60 مغP/كغ تربةبحيث بلغت عندئذ 29.2%، ومن ثم تبقى تقريباً

ثابتة حتى مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة حيث بلغت 30.5% (شكل 5). أما في التربة الكلسية الحمراء فقد ازادت كفاءة استخدام الفوسفور المضاف تدريجياً من 5.8% عند مستوى الإضافة 20 مغP/كغ تربة، وتصل إلى 21.7% عند مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة. تبقى معدلات الاستفادة من الفوسفور المضاف في التربة الحمراء أعلى منها في التربة الكلسية الحمراء عند كافة مستويات الإضافة، فهي أعلى بمقدار 2.4 مرة عند مستوى التسميد 60 مغP/كغ تربة وأعلى ب 1.4 مرة عند مستوى التسميد 200 مغP/كغ تربة.



شكل(5): معدل الاستفادة من الفوسفور المضاف في الترب الثلاثة.

لقد أبدت التربة البازلتية نمطاً مختلفاً عن باقي التربتين الحمراء والكلسية بحيث أن كفاءة الاستفادة من الفوسفور المضاف تكون 104% عند مستوى الإضافة 20 مغP/كغ تربة، وتتناقص هذه الكفاءة مع زيادة معدل الإضافة الفوسفاتية لتبلغ 40.3% عند مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة. هذا ما أوضحته الدراسات السابقة (Koghe and Adedira, 2003) حيث أنه مع التراكيز المرتفعة من التسميد الفوسفاتي تنخفض كفاءة استخدام النبات للفوسفور. وبغض النظر عن المنحى العام لتغيرات معدل الكفاءة في امتصاص الفوسفور المضاف فإنها تبقى أعلى بكثير في التربة البازاتية مقارنة بالتربتين الحمراء والكلسية عند كافة مستويات الإضافة الفوسفورية المطبقة في هذه الدراسة (شكل 5).

تختلف كفاءة استخدام نبات الذرة الصفراء للفوسفور باختلاف الخواص الفيزيائية والكيميائية للترب(Ngome et al,2013) (حيث تؤثر على قدرة التربة بتزويد العناصر المغذية للنبات إضافة إلى تأثيرها على النشاط الميكروبي (Brady and Weil, 2002)). كما تختلف أصناف الذرة الصفراء في كفاءة استخدم الفوسفور (Hussrin,2009)وكذلك في التكيف مع أنواع الترب المختلفة (Nielsen and Barber, 1978;Machado et al,1999)وهذا يشير ضمناً إلى أن هناك اختلاف بين أصناف نبات الذرة في احتياجها للفوسفور. ولذلك ينصحبتحسين إدارة الأسمدة وإضافتها طبقاً لاحتياجات النبات لرفع قيمة PUE (Wang et al., 2010).

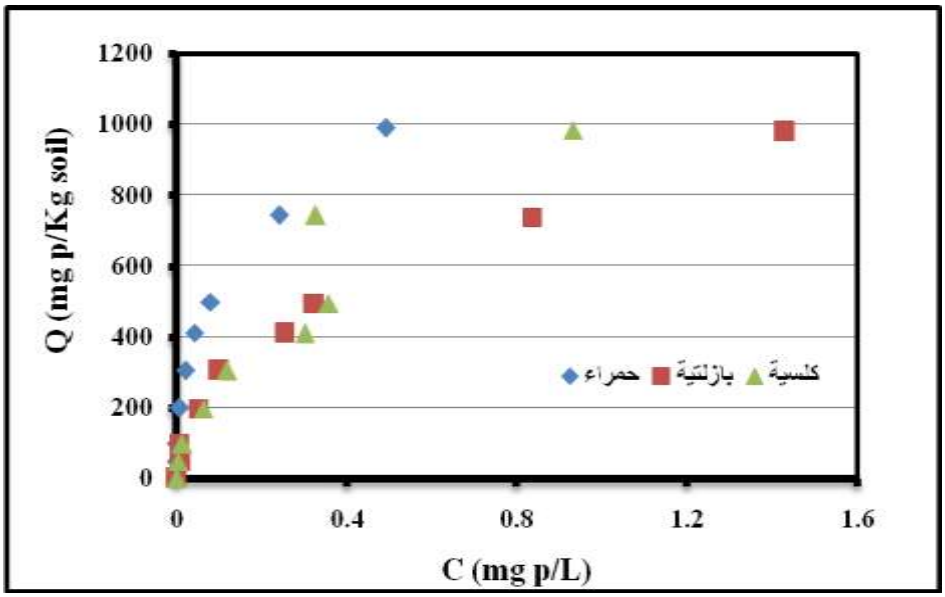
منحنيات الإدمصاص متساوية الدرجة لترب الدراسة Adsorption Isotherms:

تصفمنحنيات الادمصاص العلاقة بين الفوسفور الذي يدمص على سطح حبيبات التربة ضمن ظروف معينة وتركيز الفوسفور الذي يبقى في المحلول، ويمكن لهذه العلاقة أن تختلف بشكل واسع بين الترب (شكل 6).وعند تطبيق

موديلات الادمصاص (فرندلشولانغمير) بيّنت النتائج بأن موديل فرندلش يصف تفاعلات الادمصاص بطريقة أفضل للترب الثلاث المستخدمة حيث بلغت قيمة جودة علاقة الارتباط (R^2) حوالي 0.9 بينما بلغت علاقة الارتباط (R^2) حوالي 0.9 للتربيتين الحمراء والبازلتية عند تطبيق موديل لانغمير مما يشير بأن آلية الادمصاصهي المسيطرة في هاتين التربتين وذلك بسبب قدرة موديل لانغميرعلى تمثيل البيانات بقوة (جدول 2)، لكن بلغت قيمة معامل الارتباط وفق موديل لانغمير R^2=0.77 في التربة الكلسية مما يدل على حدوث آليات أخرى غير الادمصاص في ربط الفوسفور من قبل هذه التربة وهي الترسيب على شكل فوسفات الكالسيوم خاصة وأن هذه التربة ذات محتوى مرتفع من $CaCO_3$(Spark et al., 1999). يعطي موديل لانغمير بيانات تساعد في توصيف عملية الادمصاص وهي سعة الادمصاص الأعظمي وطاقة الادمصاص للتربة حيث بلغت سعة الادمصاص الأعظمي في التربتين الحمراء والبازلتية986 و 1021مغP/كغبينما بلغت فيهما طاقة الادمصاص 32 و 5.04على التوالي، مع وجود ألفة عالية في التربة الحمراء على ادمصاص الفوسفور.

جدول (2): سعة ادمصاص الفوسفور بتطبيق معادلتي فرندلشولانغمير.

Langmuir			Freundlich			
K_LL/mg	X_{max} µg/g	R^2_L	n	K_f	R^2	
32	985.97	0.96	4.345	19.21	0.9312	حمراء
5.04	1021.65	0.93	2.076	18.43	0.9222	بازلتية
5.17	1031.35	0.77	1.917	19.65	0.9726	كلسية



شكل (6): منحنيات الادمصاص الفوسفور متساوية الدرجة للترب الثلاثة المدروسة.

إن الألفة العالية لادمصاص الفوسفور في التربة الحمراء والمتمثلة بطاقة الادمصاص 32 يعود سببه لاحتوائها على أكاسيد الحديد العالية الألفة والمقدرة الادمصاصية للفوسفور، لكن بلغت طاقة الادمصاص 5.17 في التربة الكلسية وكانت كمية الادمصاص الأعظمي 1031 مغP/كغ، يعود سبب ذلك لعمليات ترسيب الـ P

نتيجة تفاعلها مع كاتيونات الكالسيوم السائدة في محلول هذه التربة محولة الفوسفور إلى معقدات قليلة الانحلال ، إن احتواء التربة الكلسية على تراكيز مرتفعة من كربونات الكالسيوم وارتفاع درجة الـ pHفيها لتصل إلى القاعدية (pH =8.33)(جدول 1)، إضافة لتواجد تراكيزمرتفعة من أنيونات الفوسفات كلها عوامل تؤدي لحدوث عملية الترسيب ليتشكل معقدات فوسفات الكالسيوم والتي تكون أقل إتاحة للنبات (Khasawanch and Doll, 1987).وكذلك سعة الادمصاص العالية للفوسفور في التربة الكلسية والتي ترافقت مع عمليات ترسيب للفوسفور قد أبطأ من تجاوب نباتات الذرة سواء من حيث نموها أو من حيث امتصاصها للفوسفور المضاف وذلك مقارنة بالتربة البازلتية (شكل 2 و 3). هذا ربما ما جعل الفوسفور المضاف حتى تراكيز 40 مغP/كغ تربة معرضاً لعدم الإتاحة لجذور النبات وأن التوازنات بعد هذا المستوى من الفوسفور المضاف يجعل جزءاً من الفوسفور المضاف متاحاً للامتصاص ما جعل منحنيات النمو والامتصاص تتسارع تدريجياًحتى مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة.

حركية الفوسفور في التربة:

تباينت قيم الفوسفور المعدني المتاح بيولوجياً (المستخلص باستخدام الريزن)في الترب المدروسة مع ارتفاع قيمته في التربة البازلتية مقارنة بالتربتين الكلسية والحمراء 39.6، 22.9 ، 17.7 مغP/كغ في معاملة الشاهد على التوالي، أيضاً ترافق ذلك بارتفاع قيم الفوسفور المتفاعل مع المولوبيدات MRP للتربة البازلتية 31.7مغ/كغ عن باقي الترب في معاملة الشاهد والذي ربما كان لهما الدور الكبير في تحقيق نباتات الذرة نمواً أفضل من مثيلات في التربتين الحمراء والكلسية الحمراء (شكل 2).

لقد أدت معدلات التسميد المتزايدة إلى زيادة متدرجة وخطية في إجزاء الفوسفور المستخلص بالرزن ومستخلص البيكربونات بشكله المتفاعل مع المولوبيدات (MRP)، ولكن ليس مع الجزء العضوي لمستخلص البيكربونات، ربما يعود ذلك لأن الترب الثلاثة المستخدمة في الدراسة لم تكن ذات محتوى عالي من المادة العضوية (جدول3).

تباينت الترب الثلاثة في الزيادة الحاصلة في قيم Resin-P بحيث كانت الزيادة الحاصلة عند مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة حوالي 79.7 مغP/كغ في التربة الحمراء بالمقارنة مع الشاهد، وتنخفض هذه الزيادة إلى 47.9 و 29.2 مغP/كغ تربة في التربتين البازلتية والكلسية عند ذات المستوى من P المضاف. وتأخذ الزيادة الحاصلة في جزء الفوسفورMRP في مستخلص البيكربونات نفس المنحى، ولكن بقيم أقل فهي التوالي 30.9، 20، 22.9 مغP/كغ تربة في التربة الحمراء، البازلتية، والكلسية. وتشكل مجموع الأشكال التي بقيت متاحة 54.55، 37.9، و 30.05 % على التوالي من المعدل السمادي المضاف 200 مغP/كغ تربة. يشير ذلك بأنه في الترب الكلسية وخاصة الحمراء منها يعود انخفاض الفوسفور المتاح إلى تفاعلات الإدمصاص والترسيب للفوسفور ليس فقط الأصلي Native-Pبل والمضاف مع الكالسيوم ومعقدات الألمنيوم والحديد المتواجدة في التربة (Brady and Weil, 2008).

يمثل مجموع الفوسفور الذي يتم استخلاصه بالريزن ومستخلص البيكربونات بشقية المتفاعل مع المولوبيدات والعضوي(NaHCO3(Pi+Po)+ Resin= labile soil-P) معظم الفوسفور المتاح للنبات (Bowman et al., 1978). وبالتالي يشكل مجموع الفوسفور الممتص من قبل النبات والفوسفور المتاح المقدر بالاستخلاصات آنفة الذكر، الفوسفور المضاف الذي بقي متاحاً في منظومة تربة-نبات. وبعملية حساب بسيطة يمكن تقدير الكمية من الفوسفور المضافة التي تعرضت للتثبيت والترسيب في التربة، آخذين بعين الاعتبار في عمليات الحساب أن سعة الأصيص 2 كغ تربة وأن الكمية الممتصة من قبل النبات هي من كامل الأصيص (جدول3).

جدول3: الفوسفور المتاح والممتص من قبل النبات للترب (الحمراء (R) والبازلتية (B) والكلسيةالحمراء (C)) تحت معدلات التسميد الفوسفاتيTSPالمختلفة(تمثل القيم متوسطات لثلاثةمكررات).

معدل الإضافة مغP/كغ	P–متاح (مغ/كغ تربة)			∑P– متاح (مغ/كغ)	P– ممتص (مغ/أصيص)	P متاح + ممتص (مغ/أصيص)	P متاح + ممتص العائدة لـTSPمغP/كغ	P– المثبت مغ/كغ تربة
	Resin	$NaHCO_3$						
	Pi	MRP	PO					
R–0	17.7	6.8	16.0	40.5	0.05	81.05		
R–20	27.9	10.8	12.9	51.6	1.17	104.37	11.66	8.34
R–40	35.6	10.8	13.4	59.7	3.59	122.99	20.97	19.03
R–60	38.4	13.8	14.1	66.2	17.59	149.99	34.47	25.53
R–80	44.1	10.8	18.6	73.5	21.71	168.71	43.83	36.17
R–100	66.0	13.8	14.9	94.6	27.93	217.13	68.04	31.96
R–150	73.4	16.8	16.3	106.4	38.53	251.33	85.14	64.86
R–200	97.4	37.7	14.5	149.6	60.99	360.19	139.57	60.43
B–0	39.6	31.7	13.1	84.4	37.75	206.55		
B–20	40.7	29.4	10.2	80.3	58.55	219.15	6.30	13.7
B–40	49	36.7	11	96.7	69.20	262.26	27.86	12.14
B–60	57.9	40.7	11.4	109.9	82.08	301.88	47.57	12.43
B–80	65.7	40.7	17.3	123.7	80.34	327.74	60.60	19.4
B–100	70.9	41.7	18.2	130.7	94.62	356.02	74.74	25.26
B–150	75.1	45.7	22.6	143.3	112.34	404.94	99.2	50.8
B–200	87.5	51.7	21.0	160.2	118.42	438.82	116.14	83.86
C–0	22.9	8.8	22.8	54.5	0.29	109.29		
C–20	27.7	10.8	22.3	60.7	1.46	122.86	6.79	13.21
C–40	35.4	13.8	27.4	76.6	3.31	156.51	23.61	16.39
C–60	33.3	16.8	28.7	78.8	7.49	165.09	27.9	32.1
C–80	34.9	20.8	27.3	83.0	11.99	177.99	34.35	45.65
C–100	36.6	22.7	25.5	84.8	16.44	186.04	38.38	61.62
C–150	45.4	29.7	32.7	107.8	30.79	246.39	68.55	81.45
C–200	52.1	31.7	30.8	114.6	43.64	272.84	81.78	118.22

إن الكمية من الفوسفور المضاف التي تعرضت للتثبيت في الترب الثلاثة قد تباينت تبعاً لمستوى الإضافة، الكمية الممتصة من قبل النبات المزروع، وبالخواص الكيميائية المتباينة للتربة (Chaudhary et al, 2003; Rashid and Iqbal,2012). فالكمية من الفوسفور المضاف التي تعرضت للتثبيت تتزايد في الترب الثلاثة مع زيادة معدل الإضافة، وكانت هذه الزيادة خطية وحققت جودة لعلاقة الارتباط (R^2) تعادل 0.89، 0.9 و 0.98 في الترب الحمراء، البازلتية، والكلسية على التوالي. بينما بلغ الفوسفور الذي تعرض للتثبيت كنسبة مئوية من المضاف في الترب الحمراء والبازلتية والكلسية الحمراء 41.7، 68.5، 66% عند مستوى الإضافة 20 مغP/كغ تربة، وتنخفض هذه النسبة إلى 30.2، 41.9 و59.1 % عند مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة، وذلك على التوالي (جدول3).

الاستنتاجات والتوصيات:

1. اختلف شكل استجابة نبات الذرة الصفراء لمعدلاتالتسميد الفوسفاتي بحسب نوع التربة فكان خطياً في التربتين الحمراء والكلسية ومنحنياً في التربة البازلتية، واختلفت سرعة تجاوب النباتات للتسميد الفوسفاتي باختلاف الترب المدروسة ومحتواها الأصلي من الفوسفور.

2. لقد أدت معدلات التسميد المتزايدة إلى زيادة متدرجة وخطية في أجزاء الفوسفور المستخلص بالرزن ومستخلص البيكربونات بشكله المتفاعل مع المولبيدات(MRP)، ولكن ليس مع الجزء العضوي لمستخلص البيكربونات.

3. إن الكمية من الفوسفور المضاف التي تعرضت للتثبيت في الترب الثلاثة قد تباينت تبعاً لمستوى الإضافة، الكمية الممتصة من قبل النبات المزروع، وبالخواص الكيميائية المتباينة للتربة.

4. تتزايد الكمية من الفوسفور المضاف التي تعرضت للتثبيت مع زيادة معدل الإضافة، وكانت هذه الزيادة خطية. لقد بلغ الفوسفور الذي تعرض للتثبيت كنسبة مئوية من المضاف في الترب الحمراء والبازلتية والكلسية 41.7، 68.5، 66% عند مستوى الإضافة 20 مغP/كغ تربة، وتنخفض هذه النسبة إلى 30.2، 41.9 و59.1 % عند مستوى الإضافة 200 مغP/كغ تربة.

المراجع:

1. المحمود فاطمة (2002). تأثير خواص الترب ومعدلات الفوسفور في استجابة محصول القمح للتسميد الفوسفاتي لبعض الترب السورية. أطروحة دكتوراه – جامعة حلب.

2. BELAY, A; CLAASSENS, A.S and WEHNER, F.S. *Effects of direct N and K and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbiological components and maize yield under long-term crop rotation*. *Biol. Fertil. Soils, Vol.* 35. 2002. 420–427,ISSN 0178-2762

3. BERTRAND I,HOLLOWAY RE,ARMSTRONG RD,MCLAUGHLINMJ.*Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia.* Australian Journal of Soil Research .2003.41, 61-76.

4. BLACK, C. A; EVANS, D. D; ENSMINGER, L. E; WHITE, J. L; CLARC, F. E; DINAUER, R. C.*Methods of soil analysis.American society of agronomy*. Inc, Puplisher Madison,Wisconsin.1965.USA.

5. BOWMAN,R.A;COLE,C.V. *Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO3 extractions*. Soil Sci. 125.1978. 49-54.

6. BRADY,N.C;WEIL,R.R. *The Nature and Properties of Soils*. 14th ed;Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2008,USA.

7. BRADY,N.C;WEIL,R.R.*The nature and properties of soils*. 13th edition, PearsonEducational, New Jersey,2002.USA.

8. BRAR S.P.S;COX.F.R .*Phosphorus sorption and availability indexes as effected by properties of calcareous soils*. Commun.SoilSci.Plant Anal.22, 1991.1225–1241.

9. BRAY, R.H; KURTZ, L.T. *Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils*. Soil Science. 59, 1945. 39 –45.

10. BERTRAND, I; HOLLOWAY, R.E; ARMSTRONG, R.D; MCLAUGHLIN, M.J.*Chemical characterstics of phosphorus in alkaline soils from Southern Australia*, Aust. J. Soil. Res. 41, 2003.61-76.

11. CHAUDHRY, E. H; Ranjha,M. A;Gill and S. M.Mehdi.*Phosphorus requirement of maize in relation to soil characteristics*.Int. J. Agric.Bio.5(4),2003.625-629.

12. CHEIN,S.H ;PROCHNOW,L.I ;TU,S AND SNYDER,C.S .*Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review*. NutrCycl Agroecosys.89,2011. 229-255.

13. CIARELLI, D.M.; FURLANI, A.M.C.; DECHEN, A.R.; LIMA, M. *Genetic variation among maize genotypes for phosphorus-uptake and phosphorus-use efficiency in nutrient solution*.Journal of Plant Nutrition, v.21, p,1998.2219-2229.

14. FROSSARD,E;CONDORN,L.M;OBERSON,A;Sinaj,S;FARDEU,JC. *Processes governing phosphorus availability in temperate soils*. Journal of Environmental Quality 29, 2000.12-53.

15. GAVITO,M.E; MILLER,M.H.*Changes in mycorrhiza development in maize induced by crop management practices*. *Plant and Soil* 198, 1998. 185-192.

16. GHONSIKAR, C.P ;MUSANDE, V.G MADRAS Agri. J. 65, 1978.796–800.

17. GRANT,C; BITTMAN,S; MONTREAL,M; PLENCHETTE,C; MOREL,C .*Soil and fertilizer phosphorus:effects on plant P supply and mycor-rhizal development*. Can J Plant Sci 85,2005.3–14.

18. HEDLEY, M. J;STEWART, J. W. B and CHAUHAN, B. S.*Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations.* Soil Sci. Soc. Am. J. 46,1982.970–976.

19. Hens, M., Merckx, R., 2001. Functional characterization of colloidal phosphorus species in the soil solution of sandy soils. Environmental Science and Technology 35, 493–500.

20. HEWITT, E. J. *Ann, Rep. Long Ashton Res. Stat*, 1945. 51 .

21. HOOKER,M.L; PETERSON,G.A; SANDER,D.H and DAIGGER,L.A. *Phosphate fractions in calcareous soils as altered by time and amounts of added phosphate*. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 1980.269–277.

22. HUGHES, C. *Quantitative and qualitative approaches*,2006.

23. HUSSRIN, H. A. Phosphorus Use Efficiency by Two Varieties of Corn at Different Phosphorus Fertilizer Application Rates,Journal of Applied Sciences Research, Vol. 4, No. 2, 2009, pp. 85-93.

24. JOHNSON, A. H; FRIZANO, J and VANN, D. R. *Biogeochemical implications of labile phosphorus in forest soils determined by the Hedley fractionation procedure*, Oecologia, 135(4),2003.487– 499,

25. KABATA, A and PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, ISBN,2001.0-8493-1575-1.

26. KHASAWNEH,F.E and DOLL,E.C.*The use of phosphate rock for direct application to soils*. Adv. Agron. 30,1987.159-206.

27. KOGBE, J. Oand ADEDIRAN,J. A. *Influence of nitrogen, phosphorus and potassium on the yield of maize in Savanna zone of Nigeria*.Afri. Journ. Biotech. 2(10), 2003.345–349.

28. LEHMANN,J; CRAVO,M.d.S;MACEDO, J.L.V.d;MOREIRA, A and SCHROTH,G. *Phosphorus management for perennial crops in central Amazonian upland soils*. Plant and Soil 237,2001.309–319.

29. LEYTEM, A.Band WESTERMANN, D.T. *Phosphate sorption by Pacific Northwest soils*. Soil Sci.168,2003.368-375.

30. LOGANATHAN, P ;GRAY, C.W;HEDLAY, M.J and ROBERTS, A.H.C. *Total and soluble fluorine concentrations in relation to properties of soils in New Zealand*. Eur. J. Soil Sci. Vol. 57.pp, 2006.411–421.

31. MACHADO, C. T;ALMEIDA, D. Land MACHADO, A. T. *Variability among maize varieties tophosphorus use efficiency*. Bragantia9 58(1),1999.109-124.

32. MANSKE,G.G.B ;ORTIZ-MONASTERIO,J.I; VAN GINKE,M; GONZALEZ, R.M; RAJARAM,S; MOLINA,E and VLEK ,P.L.G .*Traits associated with improved P-uptake efficiency in CIMMYT's semidwarf spring bread wheat grown on an acid Andisol in Mexico*. Plant and Soil 221, 2000.189–204.

33. MATAR,A; TORRENT,J and RYAN,J. *Soil and fertilizer phosphorus and crop responses in the dryland Mediterranean zone*. Adv. Soil Sci. 18,1992.81-146.

34. MURPHY,J; RILEY,J.P. *A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters*. Anal. Chem. Acta. 27,1962.31-36.

35. NFDC.*Balanced fertilization through phosphate promotion*. Project terminal report,2001.Islamabad, Pakistan.

36. NELSON, S. O., L. H. SODERHOLM, and F. D. YUNG. *Determining the dielectric properties of grain*. Agricultural Engineering 34(9):1953.608-610.

37. NGOME, A.F; BECKER, M; MTEI, K.M and MUSSGNUG, M. *Maize productivity and nutrient use efficiency in Western Kenya as affected by soil type and crop management*. International Journal of Plant Production 7 (3),2013. 517-536.

38. NIELSEN, N.E and BARBER, S.A. *Differences between varieties of corn in kinetics of phosphorus uptake*. Agronomy Journal 70(5),1978.695-698.

39. OLSEN,S.R; COLE,C.V; WATANABE,F.S and DEAN,L.A. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. United States Department of Agriculture Circular,1954.No. 939

40. PELLERIN,S;MOLLIER,A and PLENET,D.*Phosphorus deficiency affects the rate of emergence and number of maize adventitious nodal roots* .Agron. J. 92, 2000.690–697.

41. PLENET, D; ETCHEBEST, S;MOLLIER, A and PELLERIN, S. *Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency*. *I. Leaf growth*. Plant Soil 223,2000b.117–130

42. RASHID,M and IQBAL,M. *effect of phosphorus fertilizer on the yild and quality of maiz (Zea mays L)fodder on clay loam soil*.The Journal of Animal & Plant Sciences, 22(1),2012.199-203.

43. REDEL,Y.D; ESCUDEY,M; ALVEAR,M; CONRAD,J and BORIE,F. *Effects of tillage and crop rotation on chemical phosphorus forms and some related biological activities in a Chilean Ultisol*. Soil Use Manage. 27,2011.221-228.

44. RICHARDSON,A.E.*Soil microorganisms and phosphorus availability*.Soil Biota, 1994.50-62.

45. RYAN, J; ESTEFAN, G; RASHID, A. *Soil and Plant Analysis Laboratory* Manual 2.ICARDA,2003. NARC. 172p

46. SAS Institute. SAS user's guide: Statistics. SAS Inst,1999. Cary, NC.

47. SCHWERTMANN,U and TAYLOR ,R.M. *Iron Oxides In Minerals in soil environment*, 2nd edn. Eds J B Dixon and S B Weed.Soil Science Society of America, Madison, WI,USA,1989.379-438pp.

48. SHARPLEY,A.N. and REKOLAINEN,S.*Phosphorus in Agriculture and its Environmental Implications*. In,1997.pp 1-54

49. SPARKS,D.L. *Kinetics and mechanisms of chemical reactions at the soil mineral/water interface*. Soil physical chemistry. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, FL,1999.135-191pp.

50. TIESSEN, H.; MOIR, J.O. *Characterization of available P by sequential extraction*. In: Carter, M.R. (ed.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 1993.75-86

51. TORRENT,J. *Interactions between phosphate and iron oxide*. Soils and Environment,1997.

52. TARANTO MP, MEDICI M, PERDIGON G, RUIZ HOLGADO AP, VALDEZ G. *Effect of Lactobacillus reuteri on the prevention of hypercholesterolemia in mice*. J Dairy Sci. 83(3),2000.401-403.

53. Wang X, Yan X, Liao H .*Genetic improvement for phosphorus efficiency in soybean: a radical approach*. Ann Bot 106, 2010.215–222.

54. ZHOU,M and Li,Y .*Phosphorus-sorption characteristics of calcareous soils and limestone from the Southern Everglades and adjacent farmlands*. Soil Science Society of America Journal. 65, 2001.1404-1412.