تأثير إضافة أحماض الهيوميك والتسميد الفوسفاتي في توزع أشكال الفوسفور العضوية/المعدنية في تربة كلسية: تجزئة الفوسفور

د.غياث علوش [*]

د. ربيع زينة[**]

أسامة حتى[***]

(تاريخ الإيداع 15 / 3 / 2021. قبل للنشر في 13 / 6 / 2021)

□ ملخّص □

نفذت تجربة حقلية في تربة كلسية ($CaCO_3$ = 49.7%) في عام 2018 في محطة بحوث ستخيرس محافظة اللاذقية وذلك لدراسة تأثير إضافة الهيومات (0 و25 كغ هيومات البوتاسيوم/هكتار HA0 و HA1 على التوالي) في تجاوب محصول الذرة الصفراء (هجين تانغو) للتسميد بمعدلات متزايدة من سماد السوبر فوسفات المركز (TSP) (46% P_2O_5) (0 – 30 – 60 – 90 – 120 – 240 كغ/هكتار(P0 إلى P5)، تضمنت التجربة بالتالي 12 معاملة بواقع ثلاثة مكررات، وزعت القطع التجريبية وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة. سُحبت عينات من الطبقة السطحية للتربة (0–30 سم) قبل وبعد الزراعة وتم إجراء استخلاص متتابع لأجزاء الفوسفور المتاح بشقيه المعدني والعضوي بطريقة Hedley .

لقد أدت إضافة الهيومات إلى زيادة في كمية الفوسفور المعدني المتفاعل مع الموليبدات $NaHCO_3$-MRP في التربة الكلسية بدءاً من عتبة إضافة 180 كغTSP/هكتار. وبلغت نسبة الزيادة في المعاملتين P_5HA_1 و P_4HA_1 مقارنة بمثيلاتها بدون هيومات حوالي 38% و 27% على التوالي. لم يلاحظ أي تغيرات معنوية في كمية الفوسفور المعدني المستخلص بـ NaOH-Pi *0.5M* عند إضافة الهيومات بوجود معدلات منخفضة من الفوسفات حتى الوصول لـ 60 كغTSP/هكتار. لقد شكل الفوسفور المرتبط مع مركبات الكالسيوم والمستخلص بـ 1 مول HCL الجزء الأكبر من الفوسفور المعدني المستخلص من التربة المدروسة. أما بالنسبة للمعاملات التي تلقت الهيومات فقد أظهرت نتائج تقدير الفوسفور المعدني المرتبط بمركبات الكالسيوم انخفاض في كمية الفوسفور المستخلصة عند كل معدل تسميد فوسفاتي مقارنة بمثيلاتها من المعاملات بدون الهيومات.

تمكنت الهيومات المضافة إلى التربة الكلسية أن تؤدي دوراً هاماً في الحفاظ على كمية الفوسفور العضوي المتاح $NaHCO_3$-Po ضمن المجال الذي كانت عليه قبل الزراعة 74.2 مغ P/كغ تربة، خاصة عند معدل تسميد فوسفاتي أعلى من 60 كغTSP/هكتار، وارتبطت زيادة الفوسفور الكلي المتاح إيجاباً مع الفوسفور العضوي المستخلص بواسطة بيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$-Po) وكانت العلاقة خطية ذات جودة ارتباط R= 0.9515. اللافت بالأمر هو الارتباط العكسي بين زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي وكمية الفوسفور العضوي المتبقي Residual-Po بالتربة الكلسية بوجود أو غياب الهيومات.

الكلمات المفتاحية: السماد الفوسفاتي TSP – التربة الكلسية – هيومات – تجزئة الفوسفور – P–متاح.

[*] أستاذ – قسم علوم التربة والمياه – كلية الزراعة– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

** باحث – الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية – مركز بحوث اللاذقية–سورية.

***طالب دكتوراه – الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية – مركز بحوث اللاذقية– سورية.

Effect of Humic acid and P-Fertilization on P-Forms Distribution Organic / Inorganic in a calcareous Soil: Phosphorous Fractionation

Dr. Ghiath Alloush [*]
Dr. Rabee zainah [**]
Osama Hatta [***]

(Received 15 / 3 / 2021. Accepted 13 / 6 /2021)

□ ABSTRACT □

A field experiment was conducted in a calcareous soil ($CaCO_3$ = 49.7%) during 2018 season at Stkheres Research Station in Lattakia to study the Effect of Humic acid (0 and 25 kg K-humate/ha, HA0 and HA25) in the response of maize crop (Tango hybrid) to TSP application (P_2O_5 46%) as (0 - 30 - 60 - 90 - 120 - 240 kg/ha, P0 to P5). Therefore, the experiment consisted of 12 treatments with three replicates, and plots were completely randomized. Soil samples were taken from the surface layer (0-30 cm) before and after cultivation. Sequential extraction of phosphorous fractions, P-organic and P-inorganic, was carried out using a Headley procedure.

Humate increased the amount of inorganic phosphorus extracted by $NaHCO_3$ at the rate of TSP ≥ 180 kg/ha. The increase in $NaHCO_3$-P was obvious in P_4HA1 and P_5HA1 treatments compared to treatments without humate by about 38% and 27%, respectively. No significant changes were observed in the amount of Pi extracted with *0.5M* NaOH when adding humate with low rates of TSP until 60 kg/ha. Phosphorous ions fixed with calcium compounds, extracted by *1M* HCL, formed constitute the largest part of the Pi in calcareous soil. Nevertheless, the treatments that received humate decreased the amount of HCl-Pi at every rate of TSP amendment compared to the same TSP- amendment treatment without humate.

Humate played an important role in keeping the organic available phosphorous $NaHCO_3$-Po to be similar native-Po (74.2 mg P/kg soil), particularly at a rate of higher than 60 kg TSP/ha. The increased sum of available-Pi and Po associated positively with the organic P which was extracted by $NaHCO_3$, and this relationship was linear R = 0.9515. However, there was a negative relationship between TSP rates and the Residual-Po in this calcareous soil, with or without humate added.

Keyword: TSP Fertilizer - Calcareous Soil – Humic acid - P-fractionation - Available-P**.**

[*] **Professor at the University of Tishreen - Department of Soil and Water Sciences , Faculty of Agricultural Engineering -**
[**] **Ph.D Researcher at the General Commission for Scientific Agricultural Research - Lattakia Research Center**
[***] **PhD student and Agricultural Engineer at the General Commission for Scientific Agricultural Research - Lattakia Research Center**

مقدمة:

يلعب الفوسفور دوراً مهماً في العديد من العمليات الفزيولوجية المهمة ضمن النبات حيث يدخل في التفاعلات الأنزيمية، وكجزء هام لبناء الخلية كيميائياً وحيوياً (Devau *et al*., 2011)، هناك تزايد كبير في استخدام الأسمدة الفوسفاتية مع زيادة الطلب على الغذاء، أدى ذلك لتراكم الفوسفور في التربة مشكلاً معقدات ثابتة نتيجة تفاعله مع الكالسيوم و أكاسيد الحديد والألمنيوم. وبالتالي، فإن الاستخدام الكيميائي للأسمدة الفوسفاتية التي تنطوي على تعزيز توفر الشكل الذائب والمتاح منه في التربة هو النقطة الرئيسية لحل أزمة الفوسفور بشكل دائم وعلى مستوى العالم (Weeks and Hettiarachchi, 2019).

تنتشر الترب الكلسية على نطاق واسع، وتشير التقديرات إلى أنها تشكل أكثر من 30٪ من أراضي العالم. لا تستطيع النباتات في هذه الترب وفي أغلب الأحيان من الحصول على احتياجاتها من الـ P بسبب ارتفاع درجة pH التربة لتصل إلى القلوية من جهة، والى انخفاض محتواها من المادة العضوية من جهة أخرى (Taalab *et al*., 2019). مما يستدعي ضرورة البحث عن معدلات الـ P المناسبة لتحسين إنتاجية المحاصيل في الترب الكلسية (Amanullah and Khan, 2015; Taalab *et al*., 2019).

تتركز الأبحاث الحديثة على تقصي فوائد المركبات التجارية ذات المنشأ النباتي على النبات والتربة، وإذا كان الأمر كذلك، تحاول الأبحاث تحديد آلية عمل هذه المركبات (Weeks and Hettiarachchi, 2019). يعتبر حمض الهيوميك (HA) المصدر الرئيسي لمواقع الإدمصاص في المركبات الدبالية، فهو يحتوي على مجموعات وظيفية مختلفة لعل أهمها مجموعات الكربوكسيل (COOH) ومجموعات المركبات هيدروكسي فينول (OH)، تملك هذه المجموعات صفة خلب الكالسيوم وبالتالي تحرير الفوسفور من معقداته (Shafi & Sharif, 2019). كما يمكن لمجموعة الأمين في أحماض الهيومك ربط أنيونات الفوسفات بشكل مباشر وتحسين جاهزيتها للنبات (Lutzow *et al*., 2006)، إضافة لهذه الآليات، يمكن لـ HA المدمص على المكونات المعدنية للتربة، وبسبب وزنه الجزيئي المرتفع، توليد مجال إلكتروستاتيكي سلبي مماً يقلل من ادمصاص الفوسفور على غرويات التربة المعدنية (Wang *et al*., 2016).

خلصت دراسات Degryse وزملاءه (2013) إلى أن الآلية السابقة لمنع تثبيت الفوسفور قد لا تكون قابلة للتطبيق، لكن أظهرت نتائج بعض الدراسات المنشورة أن المواد الدبالية أو على الأقل المستويات المرتفعة منها في التربة تزيد من قابلية استخلاص الفوسفور (Weeks and Hettiarachchi, 2019). اقترح Othieno (1973) أن الأحماض الدبالية يمكن أن يكون لها تأثير ضار على إتاحة الفوسفور للنباتات. في بعض أنواع الترب، تزيد تفاعلات معادن التربة مع HA بشكل كبير من ادمصاص الفوسفور وتحويله لشكل مرتبط عضوياً، وبالتالي قد تساعد في تخفيف المشاكل المرتبطة بالتثبيت العالي للفوسفور من خلال التمعدن البطيء لهذه المركبات (Guppy *et al*., 2005). قد تساعد زيادة معدلات HA المضافة إلى التربة على ربط الـ P من خلال تكوين جسور كاتيونية مع المركب الدبالي (HA-cation-P). تبعا لما سبق من دراسات فانه يمكن لإضافة HA إلى التربة الكلسية أن تقلل أو يزيد من ادمصاص الفوسفور، وذلك اعتمادًا بشكل أساسي على معدل HA المضاف، ومحتوى التربة من الكاتيونات المتعددة التكافؤ القابلة للتبادل، والجسور الكاتيونية – العضوية المتكونة في التربة (Urrutia *et al*., 2014).

من وجهة نظر كيمياء التربة، أكد Syers وزملاءه (2008) أن الفوسفور المعدني غالباً ما يرتبط مع مكونات التربة الأخرى بواسطة سطوح ربط مختلفة. بمعنى آخر، لا يتواجد الفوسفور بشكل منفصل في التربة، بما في ذلك الجزء المتاح منه، بل يوجد إما مدمصاً على سطوح أو مدمجاً داخل البنية الشبكية للفلزات المعدنية، وبالتالي يمكن أن يتحرر بعضاً منه بسهولة، في حين أن البعض الآخر ليس كذلك.

انتشرت طريقة الاستخلاص المتتابع للفوسفور لِـ (Hedley *et al.*,1982) حيث جذبت كثيراً من الانتباه كأسلوب لاستخلاص أشكال مختلفة من P التربة، وتشمل تقييماً لمدى توفر الفوسفور المتاح في الترب، كما كانت أول خطوة لتحديد كل من الفوسفور اللاعضوي (المعدني Pi) والفوسفور العضوي (Po) وبعدها الفوسفور المعدني والعضوي الأكثر ثباتاً، وفي مدى إتاحتهم للكائنات الحية الدقيقة والنبات، وذلك باستخدام محاليل استخلاص تستند على انتقائية الاستخلاص للمحلول المحضر لاستخلاص قسم من P باستخدام محاليل مختلفة وبطريقة متتابعة. ويمكن تلخيص أجزاء الفوسفور المستخلصة بتلك الطريقة حسب درجة ذوبانها بـ: **1)** فوسفور قابل للذوبان (متاح) Labile-P يمكن استخلاصه بـ (Resin-Pi و $NaHCO_3$-Pi, Po)، **2)** فوسفور معتدل الإتاحة (moderately available-P) يوجد في مستخلصات (HCl-Pi، و NaOH-Pi, Po)، **3)** فوسفور صعب الإتاحة المتبقي في التربة Staple-P (HCl-Pi و Residual-P) (Yang and Post, 2011).

أهمية البحث وأهدافه:

من الأهمية بمكان متابعة التغيرات التي تطرأ في توزع الفوسفور بين أشكاله العضوية والمعدنية بصورة عامة، وتقييم كمية الفوسفور المثبت بعد التسميد الفوسفاتي، ودور الهيومات كمحسن عضوي مضاف للتربة على تلك التغيرات، إضافة لتقدير مدى الحاجة للتسميد الفوسفاتي في ضوء تلك التغيرات. وبالتالي تتلخص أهداف هذا البحث بـ:

1- دراسة تأثير السماد الفوسفاتي TSP وهيومات البوتاسيوم على توزع الفوسفور المتاح بشقيه العضوي والمعدني.

2- تقييم دور الهيومات في الحد من ارتباط الفوسفور المضاف مع مركبات الكالسيوم خلال فترة الزراعة.

3- دراسة تغيرات الفوسفور المتبقي في التربة بين أشكاله العضوية والمعدنية.

طرائق البحث ومواده

- **موقع التجربة:**

نفذت التجربة الحقلية خلال موسم النمو 2018 والزراعة بتاريخ 20 نيسان في محطة بحوث ستخيرس التابعة لمركز البحوث العلمية الزراعية – اللاذقية – سورية، تقع في المنطقة الساحلية وإحداثياتها الجغرافية (N35°.33'02', E35°.52'58'). يوضح الجدول (1) البيانات المناخية للمحطة للعام 2018.

جدول (1): معدلات الهطول المطري الشهري ومتوسطات درجات الحرارة في منطقة الزراعة عام 2018.

البيانات من المحطة المناخية لمحطة بحوث ستخيرس.

الشهر	الهطول المطري (مم)	الحرارة العظمى مْ	الحرارة الصغرى مْ
شباط	89.3	17.7	10
آذار	26.7	21.8	12.6
نيسان	43	22.9	13.4
آيار	80.8	27.1	19.5

حزيران	61.8	28.6	21.9
تموز	0.3	30.2	24
آب	-	30.5	24.5

- **المادة النباتية:**

تم استخدام الذرة الصفراء الصنف الشائع الاستخدام Tango F1 مصدره الولايات المتحدة الأميركية كمحصول اختبار يتميز بمجموع جذري كثيف.

- **التربة قبل الزراعة:**

جمعت عينة مركبة من تربة الحقل قبل الزراعة على عمق (0– 30 سم) جففت هوائياً ونخلت لتمر من منخل ذو فتحات 2 مم وخضعت للتحليل المخبري لتحديد أهم خواصها الخصوبية (Ryan *et al*., 2001)، والموضحة في الجدول (2).

جدول (2): بعض خواص التربة الفيزيائية والخصوبية على عمق (0–30 سم).

آزوت كلي %	P (مغ/كغ تربة)		$CaCO_3$ %		OM %	EC $ds.cm^{-1}$	pH	القوام	التركيب الحبيبي		
	متاح	ذائب	فعالة	كلية		مستخلص (5:1)			رمل%	سلت%	طين%
0.19	18.9	3.9	10.4	49.7	0.88	0.124	7.6	طينية لومية	44	18	38
الكاتيونات المتاحة (ميليمكافىء/100 غ تربة)						الكاتيونات الذائبة (مغ/كغ تربة)					
Na^+	K^+		Mg^{+2}	Ca^{+2}		Na^+	K^+	Mg^{+2}		Ca^{+2}	
0.066	0.844		10.7	34.5		8.1	13.3	30.0		230.0	

- **تصميم التجربة:**

صممت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بواقع ثلاث مكررات استخدمت فيها خمسة مستويات من السماد الفوسفاتي المركز TSP (46% P_2O_5) والتي أضيفت قبل الزراعة: (0 – 30 – 60 – 90 – 120 – 240 كغ P/هكتار، P0 إلى P5، على التوالي). كما استخدم مركب هيومات البوتاسيوم كمصدر عضوي كامل الذوبان في الماء ذو المنشأ الألماني المعروف باسم POWHUMUS WSG_{85} يحتوي على شوائب من الفوسفور الكلي، محتواه من هيومات البوتاسيوم 80–85%، حجم حبيباته أقل من 100 ميكرون، كثافته الظاهرية 0.55 كغ/لتر، سعة التبادل الكاتيونية 400–600 ميليمكافئ/100غرام، تتراوح درجة تفاعله pH بين 9 – 10.5. المحتوى بمعدل (0– 25 كغ/هكتار، HA0 و HA25)، مع الإشارة أن معدل 25 كغ/هكتار هو المعدل الموصى بإضافته للمحاصيل الحقلية من قبل الشركة. أضيف الهيومات إلى التربة على ثلاث مراحل بعد إذابته في الماء وتوزيعه يدوياً وبشكل متجانس على صفوف الزراعة وتزامن ذلك بعد إضافة السماد النيتروجيني مباشرة، ثلث الكمية عند الزراعة وثلث الكمية عند مرحلة ظهور 10 أوراق (V10) وثلث الكمية بمرحلة بدء طرد النورة الزهرية المذكرة (VT). تمت عمليات التسميد والري والخدمة كما هي موضحة في حتى وزملاءه (2020).

- **جمع عينات التربة:**

جمعت عينات تربة بشكل عشوائي من الطبقة السطحية (0– 30 سم) لكل قطعة تجريبية وذلك في مرحلة حصاد (بعد 101 يوم من الزراعة). جمعت عينة ممثلة من كل قطعة في كيس سجل عليه بيانات العينة وزمن السحب لتنقل إلى المخبر. جففت العينات هوائياً ونخلت لتمر من منخل ذو فتحات 100 mesh (150 ميكرومتر).

- **التحاليل المخبرية:**

1– تجزئة الفوسفور: خضعت العينات للاستخلاص المتتابع للفوسفور (Hedley *et al*., 1982)، وذلك بأخذ 0.5 غ من التربة، تخض بـ 30 مل من محلول الاستخلاص لمدة 16 ساعة والطرد المركزي لمدة 15 دقيقة بسرعة 5000 دورة/دقيقة (مخطط 1). في البداية يتم خض العينات بالماء المقطر (30 مل) بوجود أكياس الرزن 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 *0.5M* لمدة 2 ساعة ويحفظ المحلول لقياس الفوسفور المعدني (Inorganic P, Pi)، ويعاد تنشيط الرزن بنقع أكياسه بمحلول $NaHCO_3$ *0.5M* لمدة 48 ساعة على الأقل، ومن ثم الغسيل بالماء المقطر حتى تعادل درجة pH الماء، يتم بعد ذلك استخلاص عينات التربة بمحاليل $NaHCO_3$ *0.5M*، ثم NaOH *0.5M*، ثم HCl *1M* بشكل متتابع، يرشح رائق محاليل الاستخلاص في كل مرة وتحفظ العينات على درجة حرارة 5م° لحين تقدير الفوسفور. ويقدر الفوسفور المتبقي (Residual-P) بنقل عينات التربة كمياً إلى أنابيب الهضم وباستخدام خلطة من حمضي البيروكلوريك والكبريت (10:1) هضمت هضماً رطباً. ويتم تقدير الفوسفور في المستخلصات بطريقة موليبدات الأمونيوم– حمض الأسكوربيك (Murphy and Riley., 1962).

أ. تقدير الفوسفور المعدني: تقدير الفوسفور المعدني (Pi) أو المتفاعل مع الموليبدات (MRP): تم تقدير الفوسفور المتفاعل مع الموليبدات (Molybdate Reactive P, MRP) في جميع المستخلصات بطريقة موليبدات الأمونيوم – حمض الأسكوبيك. وتعود تسمية الفوسفور المقدر بطريقة الموليبدات في مستخلصي البيكربونات بـ MRP على اعتبار أن الموليبدات تتفاعل مع الفوسفور المعدني وجزء من الفوسفور العضوي الذي تحصل له عملية الحلمأة (Hydrolysis) في هذا المستخلصين نتيجة الحموضة في وسط التفاعل التي تتطلبها طريقة تحضير محلول موليبدات الأمونيوم (Hens and Merckx, 2001).

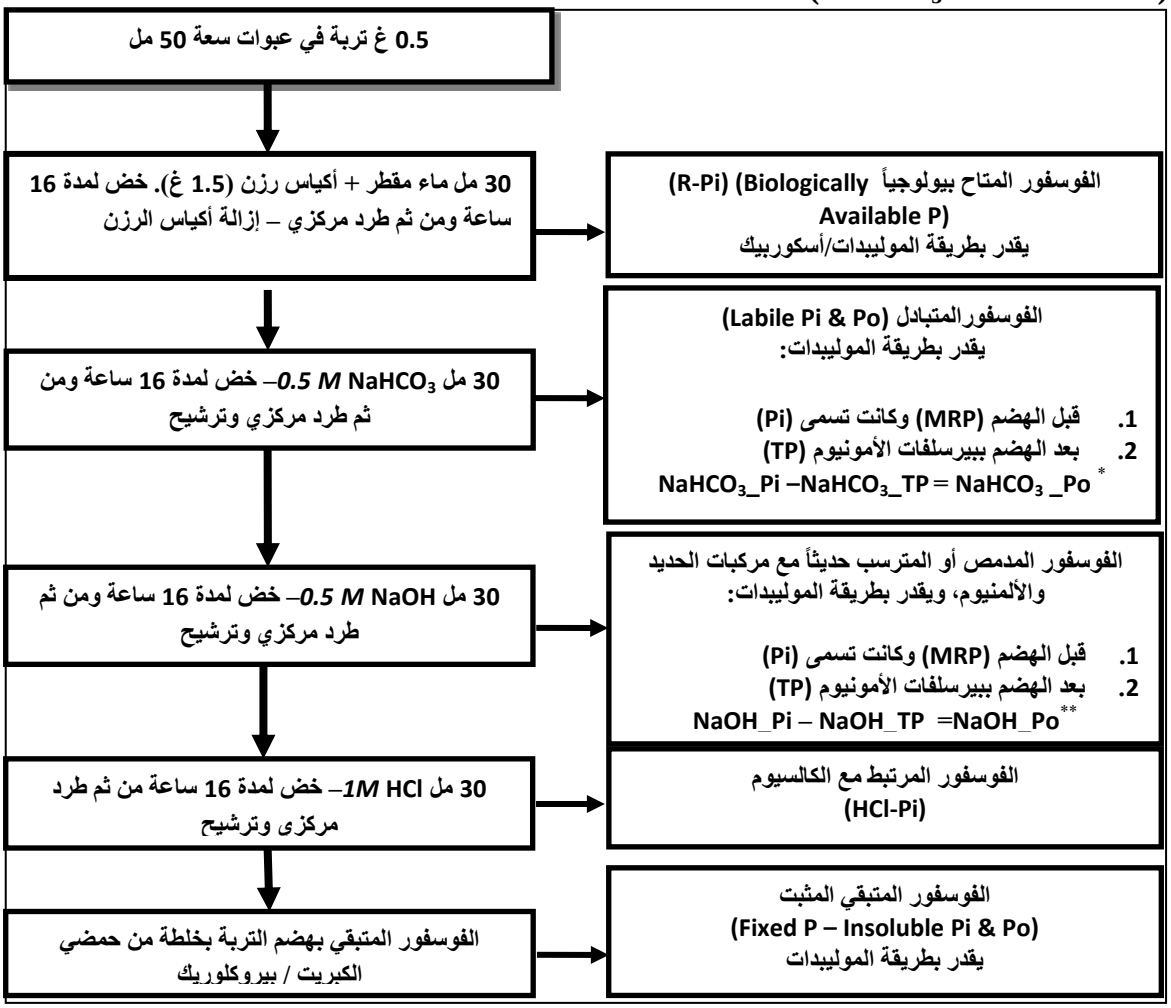
ب. تقدير الفوسفور العضوي (Po) في مستخلص البيكربونات: تحتوي محاليل مستخلص البيكربونات والماءات على كمية من الفوسفور العضوي، ولذلك تم تقدير الفوسفور الكلي (TP) في هذه المستخلصات في وسط حمضي (1 مل من H_2SO_4 *11 N*) ووجود مادة مؤكسدة من بيرسلفات الأمونيوم (0.3 غ) لتحطيم مركبات الفوسفور العضوية، ويتبع ذلك تقدير الفوسفور في محلول الهضم بطريقة الموليبدات – اسكوربيك. ويتم حساب قيم الفوسفور العضوي بطريقة الفرق وفق مايلي:

$$\mathbf{Po = TP – MRP}$$

ج. تقدير الفوسفور العضوي الكلي (Total-Po): يُؤخذ وزنتين 0.5غ من التربة الجافة هوائياً ويتم هضمها بحسب الطريقة التي اقترحها (Kuo, 1996)، كلا العينات المرمدة Ignited (550 مْ لمدة 1 ساعة) والغير مرمدة unignited تستخلص بـ 30 مل من محلول H_2SO_4 *1M* مع الرج لمدة 16 ساعة، ويحسب Total-Po بطرح الفوسفور المقدر في العينة غير مرمدة من العينة المرمدة. ومنها يمكن تقدير الفوسفور المتبقي في التربة بحسب طريقة

الاستخلاص المتتابع لـ (Hedley *et al*., 1982) بهضم كامل التربة بعد مرورها بمراحل الإستخلاص السابق ذكرها. ثم يُحسب الفوسفور العضوي المتبقي كالتالي:

Residual-Po = Total-Po – ($NaHCO_3$-Po + NaOH-Po)



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

*$NaHCO_3$-P = الفوسفور المستخلص بواسطة محلول البيكربونات $NaHCO_3$ *0.5M*.

**NaOH-Po = الفوسفور العضوي المتواجد في مستخلص الماءات NaOH *0.5M*.

يشمل الفوسفور المعدني جميع أشكال الفوسفور الناتجة من المستخلصات Resin-P، $NaHCO_3$-MRP، NaOH-MRP و HCl-Pi. ويشمل الفوسفور العضوي ما يتم استخلاصه من التربة خلال التجزئة عند استخدام المحاليل ذات الطبيعة القلوية وهي الـ $NaHCO_3$ وNaOH. بينما يقدر الفوسفور المتبقي Residual-P في التربة بشكليه المعدني والعضوي بعد الهضم (Hedley *et al*., 1982).

- **التحليل الاحصائي:**

خضعت معطيات التجربة لتحليل التباين العام (ANOVA) بحسب مصادر التباين: الفوسفور (P) والهيومات (H) والتداخل بينهما (P*H) ، وتم فصل المتوسطات وتحديد قيمة أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية 5%، وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي (SAS Institute, 1999).

النتائج والمناقشة:

أولاً: توزع الفوسفور المعدني في التربة الكلسية:

بينت نتائج تحليل التباين على أشكال الفوسفور تأثير مرتفع المعنوية لإضافة الفوسفور أو الهيومات إلى التربة الكلسية على مجمل أشكال الفوسفور المعدني (Resin-Pi، $NaHCO_3$-MRP، NaOH-MRP و HCl-Pi) بعد حصاد الذرة. وانعكس ذلك إيجاباً على نتائج تحليل التباين عند التداخل في إضافة الهيومات والسماد الفوسفاتي على جميع الأشكال آنفة الذكر الجدول (3).

1- الفوسفور المعدني المتاح:

يمثل المستخلص بالريزن Resin-Pi الفوسفور المعدني المتاح بيولوجياً وهو متاح مباشرة للإمتصاص من قبل النبات، لذلك فهو يتأثر بدرجة كبيرة بمجمل التفاعلات البيولوجية الناشئة في التربة خلال فترة الزراعة، وهذا ما أدى لارتفاع قيمته بشكل واضح في جميع معاملات الدراسة مقارنة بالفوسفور المتاح بيولوجياً قبل الزراعة Native_P. حيث سجلت قيمة الفوسفور المعدني المتاح بيولوجياً في تربة الأصل قبل الزراعة 28 مغP/كغ تربة، وارتفعت قيمتها في عينات التربة المسحوبة بعد الحصاد إلى 40.5 مغP/كغ تربة في معاملة الشاهد بدون هيومات P_0HA_0، ووصلت أقصاها إلى 45.9 مغ P/كغ لدى إضافة 180 كغTSP /هكتار والذي كان مرتفع معنوياً عن معاملة الشاهد بدون هيومات. أدى إضافة الهيومات إلى التربة الكلسية إلى انخفاض تدريجي للفوسفور المستخلص بالريزن مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي. فكانت أعلى قيمه في معاملة الشاهد P_0HA_1 وأدناها في المعاملة P_5HA_1 (44.6 و 32.7 مغ P/كغ) على التوالي (جدول 1). بينما سجلت أول انخفاض معنوي للفوسفور المستخلص بالريزن عند معدل تسميد 180 كغTSP /هكتار 37.8 مغ P/كغ مقارنة بالشاهد. وبالتالي فقد كان لإضافة 25 كغ/هكتار من مركب الهيومات عند معدلات مرتفعة من التسميد الفوسفاتي تأثير عكسي على كمية الفوسفور المتاح بيولوجياً، حيث انخفضت معنوياً بوجود الهيومات في المعاملتين P_4HA_1 و P_5HA_1 مقارنة بمثيلاتها عند غياب الهيومات.

ترافقت تلك النتائج مع ارتفاع كمية الفوسفور المتاح المتفاعل مع المولبيدات $NaHCO_3$-MRP، وتشابهت نتائج الفوسفور المعدني المتفاعل مع المولبيدات والمستخلص بالبيكربونات مع الفوسفور المتاح بيولوجياً لدى معاملات التسميد الفوسفاتي بدون هيومات، وتراوحت القيم بين 42.3 مغ P/كغ عند إضافة 60 كغTSP/هكتار وارتفعت أعلى ما يمكن إلى 44.5 مغ P/كغ في معاملة الشاهد بدون تسميد P_0HA_0 وكذلك عند إضافة 180 كغTSP/هكتار دون تسجيل أي اختلاف معنوي بين تلك النتائج.

جدول 3: توزع الفوسفور بين أشكاله المعدنية والعضوية في التربة الكلسية

بعد حصاد محصول الذرة (تمثل القيم متوسط ثلاث مكررات مقدرة بـ مغP/كغ تربة) .

Total P	الفوسفور المتبقي		∑ Po	الفوسفور العضوي Po		الفوسفور المعدني Pi					TSP كغ/هكتار
	RESI_Po	RESI_Pi		NaOH	$NaHCO_3$	HCl	NaOH	$NaHCO_3$	Resin		
1023.3	114.8	13.9	215.7	141.5	74.2	552	39	60	28		Native_P
922^{e}	66.7^{d}	68.2^{a}	145.9^{d}	86.5^{d}	59.4^{d}	533.7^{f}	22.6^{de}	44.5^{bcd}	40.5^{bc}		0
944^{d}	78.1^{d}	59.8^{ab}	150.9^{d}	89.3^{d}	60.5^{d}	548.7^{d}	21.3^{de}	42.3^{d}	43.2^{ab}	HA_0	30
972^{c}	95.5^{bcd}	51.6abc	161.5^{c}	99.9^{c}	61.6^{d}	556.2^{c}	21.3^{de}	42.3^{d}	43.2^{ab}		60

985^{bc}	111.0^{abc}	42.3^{abc}	162.2^{c}	101.7^{bc}	60.5^{d}	561.2^{b}	22.6^{de}	43.4^{cd}	43.2^{ab}		120
1017^{a}	125.9^{ab}	36.5^{abc}	174.7^{b}	113.8^{a}	61.0^{d}	567.5^{a}	22.6^{de}	44.5^{bcd}	45.9^{a}		180
1025^{a}	127.1^{a}	41.5^{abc}	178.4^{b}	117.8^{a}	60.5^{d}	570.0^{a}	20.1^{e}	43.4^{cd}	44.6^{ab}		240
929^{e}	83.7^{cd}	41.9^{abc}	166.7^{c}	98.4^{c}	68.4^{c}	522.4^{h}	21.3^{de}	47.9^{bc}	44.6^{ab}	HA_1	0
956^{d}	95.0^{bcd}	42.9^{abc}	175.0^{b}	106.2^{b}	68.8^{bc}	528.7^{g}	22.6^{de}	49.0^{b}	43.2^{ab}		30
984^{bc}	119.6^{ab}	27.5^{bc}	187.4^{a}	114.0^{a}	73.4^{abc}	535.0^{f}	23.9^{cd}	49.0^{b}	41.9^{abc}		60
998^{b}	119.1^{ab}	31.0^{bc}	189.4^{a}	114.5^{a}	74.9^{ab}	541.2^{e}	26.4^{c}	49.0^{b}	41.9^{abc}		120
1023^{a}	127.7^{a}	25.6^{c}	190.1^{a}	113.7^{a}	76.4^{a}	555.0^{c}	30.2^{b}	56.7^{a}	37.8^{c}		180
1031^{a}	127.7^{a}	25.2^{c}	191.3^{a}	114.1^{a}	77.2^{a}	556.2^{cb}	37.5^{a}	60.4^{a}	32.7^{d}		240
15.1	29.0	33.9	7.92	5.64	6.43	4.53	3.6	4.65	5.06		$LSD_{0.05}$
$P \geq F$											
0.0001	0.0001	0.2268	0.0001	0.0001	0.1879	0.0001	0.0001	0.0009	0.1488		P
0.0057	0.0576	0.0131	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0051		HA
NS	NS	NS	0.0793	0.0001	0.2364	0.0087	0.0001	0.0031	0.0017		P×HA

لم يكن لإضافة 25 كغ/هكتار من الهيومات إلى التربة الكلسية دور في تحسين كمية الفوسفور المعدني المتفاعل مع المولوبيدات بالنسبة للمعاملات المنخفضة من التسميد الفوسفاتي (أقل من 180 كغTSP/هكتار) وتراوحت القيم بين 47.9 و 49 مغ P/كغ تربة. بينما أدت إضافة الهيومات إلى زيادة في كمية الفوسفور المتاح في التربة بدءاً من عتبة إضافة 180 كغTSP/هكتار ولتصبح أكثر معنوية عند التسميد الفوسفاتي بمعدل 240 كغTSP/هكتار وسجلت كمية الفوسفور المتفاعل مع المولوبيدات عندها 60.4 مغ P/كغ تربة. وبهذا فقد بلغت نسبة الزيادة في كمية الفوسفور المعدني المتفاعل مع المولوبيدات NaHCO$_3$-MRP في المعاملتين P_5HA_1 و P_4HA_1 مقارنة بمثيلاتها بدون هيومات حوالي 39% و 27% على التوالي.

الجدير بالذكر هو ارتفاع كمية الفوسفور NaHCO3-MRP في التربة قبل الزراعة لتكاد تكون متقاربة مع نتائج الفوسفور المتفاعل مع المولوبيدات في المعاملة P5HA1 (جدول 3)، وهذا يعود إلى دور نبات الذرة في استنزاف جزء من الفوسفور المتاح في تربة الأصل للحصول على احتياجاته ما أدى إلى انخفاض قيمتها عند المعدلات الأولى من التسميد الفوسفاتي سواء بوجود أو عدم وجود الهيومات، ولم تستطيع التربة تعويض ذلك الانخفاض من الفوسفور المتفاعل مع المولوبيدت إلا بعد الوصول لمعدل تسميد أعلى من 180 كغTSP/هكتار بوجود الهيومات P4HA1. وهنا ينبغي التنويه أن الحفاظ على محتوى التربة الأصل من الفوسفور المتاح عند تطبيق عمليات التسميد يعد من الخطوات الأساسية لاستدامة موارد التربة والحد من استنزاف خصوبتها.

2- الفوسفور المعدني المثبت:

لم يسجل زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي لدى المعاملات بدون هيومات تغيرات واضحة في كمية الفوسفور المعدني المرتبط بأكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم في التربة الكلسية المدروسة (مستخلص NaOH-Pi). وتراوحت القيم فيها بين 20.1 و 22.6 مغ P/كغ تربة. تشير تلك النتائج إلى انخفاض محتوى التربة المدروسة من الأكاسيد وهنا

نتوقع أن يغلب سطوح الكربونات في الهيمنة على معظم تفاعلات الفوسفور في التربة وتأثيرها على تغيرات أشكال الفوسفور المعدني فيها.

كذلك الحال، لم يلاحظ أي تغيرات معنوية في كمية الفوسفور المعدني المستخلص بـ NaOH-Pi عند إضافة الهيومات بوجود معدلات منخفضة من الفوسفات حتى الوصول لـ 60 كغTSP/هكتار. بينما سجلت أول ارتفاع معنوي لها بدءاً من معدل التسميد 120 كغTSP/هكتار مقارنة بالشاهد P_0HA_1 وبالمعاملات بدون هيومات. ترافقت بعدها زيادة كمية الفوسفور المعدني المستخلص بالماءات مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي لتصل إلى 37.5 مغ P/كغ تربة في المعاملة P_5HA_1 وهي زيادة بمقدار 76% عن الشاهد P0HA1. مع العلم أنه يمكن أن يصبح هذا الجزء من الفوسفور متاحاً عند توفر ظروف الأكسدة والإرجاع المناسبة، فعند انخفاض قيم Eh في التربة السطحية (0−25 سم) سيعمل على تحويل أشكال الـ Fe و Mn من أشكالها الغير ذائبة إلى أشكال ذائبة مما سيؤدي بالمحصلة لتحرر الفوسفور من تلك المركبات (Hu, 2008)، ولهذا وصف ذلك الجزء من الفوسفور بشكليه العضوي والمعدني بالشكل معتدل الإتاحة moderatry-P (Yang and Post, 2011).

لقد شكل الفوسفور المرتبط مع مركبات الكالسيوم والمستخلص بـ 1 مول HCL الجزء الأكبر من الفوسفور المعدني المستخلص من التربة المدروسة. وهذا ما نتوقعه كون التربة المدروسة تحوي على 49.7% منها كربونات كالسيوم كلية (جدول 2)، وبالتالي تعمل سطوح الادمصاص فيها إلى ربط أنيونات الفوسفات الذائبة الموجودة في التربة بشكل فوسفات الكالسيوم. وازدادت كمية الفوسفور المرتبط مع معقدات الكالسوم مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي المتبعة، فتراوحت قيم الفوسفور في المعاملات بدون هيومات بين 533 و 570 مغ P/كغ تربة في P_0HA_0 و P_5HA_0 على التوالي. وأدى معدل التسميد 30 كغTSP/هكتار إلى ظهور أول ارتفاع معنوي لكمية الفوسفات المستخلصة بـ HCl مقارنة بالشاهد.

أما بالنسبة للمعاملات التي تلقت إضافة هيومات للتربة الكلسية فقد أظهرت نتائج تقدير الفوسفور المعدني المرتبط بمركبات الكالسيوم انخفاض في كمية الفوسفور المستخلصة عند كل معدل تسميد فوسفاتي مقارنة بمثيلاتها من المعاملات بدون الهيومات، وتراوحت بين 522.4 و 556.2 مغ P/كغ تربة لدى المعاملتين P_0HA_1 و P_5HA_1 على التوالي فكانت نسبة الانخفاض لكلا المعاملتين مقارنة بمثيلاتها بدون هيومات أعلى من 2%. وتعد هذه النسبة جيدة في ظل ارتفاع كمية الفوسفور المثبت مع معقدات الكالسيوم في التربة المدروسة. وبالتالي فقد ساهمت الهيومات بالحد من ارتباط الفوسفور المضاف مع مركبات الكالسيوم فيها وتشكيل معقدات فوسفات الكالسيوم راسبة بالرغم من الزيادة التدريجية لمعدلات التسميد الفوسفاتي.

في الترب الكلسية ينخفض الفوسفور المتاح بسبب تفاعلات الإدمصاص والترسيب للفوسفور ليس فقط الأصلي Native-P بل والمضاف مع معقدات الكالسيوم أو أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم المتواجدة في التربة (Brady and Weil, 2008). اللافت هو انخفاض قيمة الفوسفور المرتبط مع الكالسيوم عند المعاملات بوجود الهيومات ليكون مترافقاً مع ارتفاع الجزء المتاح من الفوسفور بأشكاله العضوية والمعدنية. ويمكن أن يعزى السبب إلى دور الهيومات في تعزيز نشاط ميكروبات التربة البكتيرية والفطرية التي يعود لها الأثر البالغ في تحطيم المركبات الفوسفورية الثابتة وتحول الفوسفور التي تحتويها هذه المركبات إلى أشكال أكثر إتاحة في التربة (Hu, 2008). بالإضافة إلى دورها في تحفيز الجذور لإفراز بعض الأحماض العضوية منخفضة الوزن الجزيئي التي تعمل على مخلبة أنيونات الفوسفات في محلول التربة وتمنع تشكل فوسفات الكالسيوم خاصة عند عوز النبات لعنصر الفوسفور.

كما يمكن للهيومات أن تعمل على تحرير نسبة من أنيونات الفوسفات التي كانت مرتبطة أصلاً بهذه المركبات بسبب شغلها لسطوح الادمصاص المعدنية (Guppy *et al*., 2005).

ثانياً: توزع الفوسفور العضوي في التربة الكلسية:

تحتوي المستخلصات القلوية (البيكربونات والماءات) التي تستخدم في عملية التجزئة على أجزاء من الفوسفور بشكله العضوي والذي يشكل نسبة جيدة لايمكن إهمالها من الفوسفور الكلي لتلك المستخلصات. لذا تم تقدير الفوسفور المرتبط عضوياً بكلا المستخلصين، ويبين الجدول (3) هذه النتائج. لقد كان تأثير معدلات التسميد الفوسفاتي معنوياً في نتائج تحليل التباين لكمية الفوسفور العضوي المستخلص بـ $NaHCO_3$ ($P = 0.1879$) ، وكذلك الحال سبب إضافة الهيومات تباينات معنوية في كمية الجزء العضوي من الفوسفور لكلا المستخلصين ($P = 0.0001$).

لوحظ في المعاملات التي تلقت معدلات متدرجة من التسميد الفوسفاتي بلا هيومات حالة توازن في كمية الفوسفور المتاح المرتبط عضوياً $NaHCO_3$-Po، فلم يتم تسجيل أي تغيرات معنوية فيها، وتراوحت القيم بين 59.4 و 61.6 مغ P/كغ تربة. بينما أدت معدلات التسميد الفوسفاتي المتزايدة بوجود الهيومات إلى زيادة متدرجة وخطية في الفوسفور العضوي المستخلص بالبيكربونات لتصل إلى 77.2 مغ P/كغ تربة في عند إضافة 240 كغTSP/هكتار P_5HA_1. وسجلت الأخيرة ارتفاع في كمية الفوسفور العضوي المتاح بحوالي 28% عن معاملات التسميد الفوسفاتي بدون الهيومات.

تمكنت الهيومات المضافة إلى التربة الكلسية بمعدل 25 كغ/هكتار أن تؤدي دوراً هاماً في الحفاظ على كمية الفوسفور العضوي المتاح $NaHCO_3$-Po ضمن المجال الذي كانت عليه قبل الزراعة 74.2 مغ P/كغ تربة، خاصة عند معدل تسميد فوسفاتي أكبر من 60 كغTSP/هكتار. تشير تلك الدلائل إلى أن النباتات المزروعة بدون إضافة الهيومات يمكنها أن تستنزف جزءاً من الفوسفور المتاح المرتبط عضوياً وذلك بالرغم من زيادة التسميد الفوسفاتي إلى معدلات تفوق حاجة النبات. بينما ساهمت الهيومات في الحفاظ على الجزء العضوي من الفوسفور والذي يشكل مصدراً داعماً لاحتياجات النبات من الفوسفور بعد معدنته خاصة عند المعدلات المنخفضة من التسميد الفوسفاتي (حتى وعلوش، 2017).

ففي تجربة تحضين لـ 12 نوع من الترب مختلفة الخواص، لوحظ زيادة في تركيز الفوسفور المتاح وزيادة في الأشكال اللاعضوية للفوسفور التي كانت مرتبطة بأشكال متبلورة قابله انخفاض في الشكل العضوي لفوسفور التربة (Scalenghe *et al*., 2010)، و تجدر الإشارة أن معظم تغيرات الفوسفور المتاح بشقه العضوي Po لا يمكن أن يستفيد منه النبات إلا بعد حدوث عمليات التمعدن. يبرز هنا أهمية زيادة النشاط الحيوي خلال فترة الزراعة والذي يؤدي لحدوث تحولات الجزء العضوي من الفوسفور من أشكال مثبتة إلى أشكال أكثر إتاحة للنبات (McGill and Cole, 1981).

يشكل الفوسفور المرتبط مع أكاسيد الحديد والألمنيوم Fe-P، Al-P مصدراً احتياطياً لـ P لأنها توفر مواقع ادمصاص لتثبيت P معتدل الاتاحة moderately-P (Shenoy and Kalagudi, 2005). تميزت كمية الفوسفور العضوي المرتبط بالأكاسيد والتي استخلصت بالماءات بانخفاض كميتها في التربة الكلسية بعد الزراعة عند مقارنتها بتربة الأصل. وتراوحت القيم بين 86.5 و 117.8 مغ P/كغ تربة لدى المعاملات بالتسميد الفوسفاتي بدون الهيومات P0HA0 و P5HA0 على التوالي. وارتبطت تلك الزيادة خطياً مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي. بينما سجلت معاملة الشاهد في التربة التي تلقت هيومات P0HA1 = 98.4 مغ P/كغ تربة لتتفوق معنوياً عن معاملة الشاهد

P0HA0 وتتقارب مع كمية الفوسفور العضوي المستخلص بالماءات عند المعاملة P5HA0. فيما لم يلاحظ أي اختلاف معنوي لكمية الفوسفور العضوي بمستخلص الماءات مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي بوجود الهيومات أعلى من 60 كغTSP/هكتار. لقد ثبت أن للمركبات الدبالية الموجودة في التربة أهمية بالغة في ربط الفوسفور عضوياً مع أكاسيد الحديد والألمنيوم بعملية ادمصاص كيميائي أو عبر جسور، حيث تتواجد بعض أيونات الفوسفور في مستخلص NaOH *0.5M* بشكلها العضوي فتكون مرتبطة مع مركبات التربة العضوية مثل أحماض الهيوميك مرتفعة الوزن الجزيئي لتشكل هيوميك فوسفات وتصبح أكثر ثباتاً، كما أنه من الممكن أن يحدث انحلال لبعض الفوسفور المعدني Pi المدمص على باقي مكونات التربة وليرتبط عضوياً مع الهيوميك مؤدياً ذلك لارتفاع قيم الـ NaOH-Po (علوش وحتى، 2018 ;Wang *et al*, 2006).

يمثل الفوسفور العضوي الكلي القابل للإتاحة مجموع الفوسفور العضوي المستخلص بالبيكربونات والماءات ($NaHCO_3$_Po + NaOH_Po) كما هو موضح في الجدول (3). لقد بلغ مجموع الشكلين من الفوسفور العضوي المتاح Total_Po في تربة الأصل الكلسية 215.7 مغ P/كغ تربة. تميزت نتائج التربة بعد زراعة محصول الذرة في مجمل معاملات التسميد الفوسفاتي (بوجود أو غياب الهيومات) بزيادة مجموع الفوسفور العضوي مترافقاً بذلك مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي، مع التأكيد على حدوث انخفاض واضح لدى المعاملات التي لم تتلقى إضافة بالهيومات لتتراوح بين 145.9 و 178.4 مغ P/كغ تربة عند مقارنتها بتربة الأصل. بينما تراوحت بين 166.7 إلى 191.3 مغ P/كغ تربة في المعاملات التي تلقت الهيومات. حيث أدى التسميد بالفوسفور حتى 240 كغTSP/هكتار إلى زيادة في مجموع الفوسفور العضوي المستخلص بحوالي 22% بالنسبة للمعاملات بدون هيومات وبحوالي 31% عند إضافة الهيومات وذلك مقارنة بالشاهد P_0HA_0.

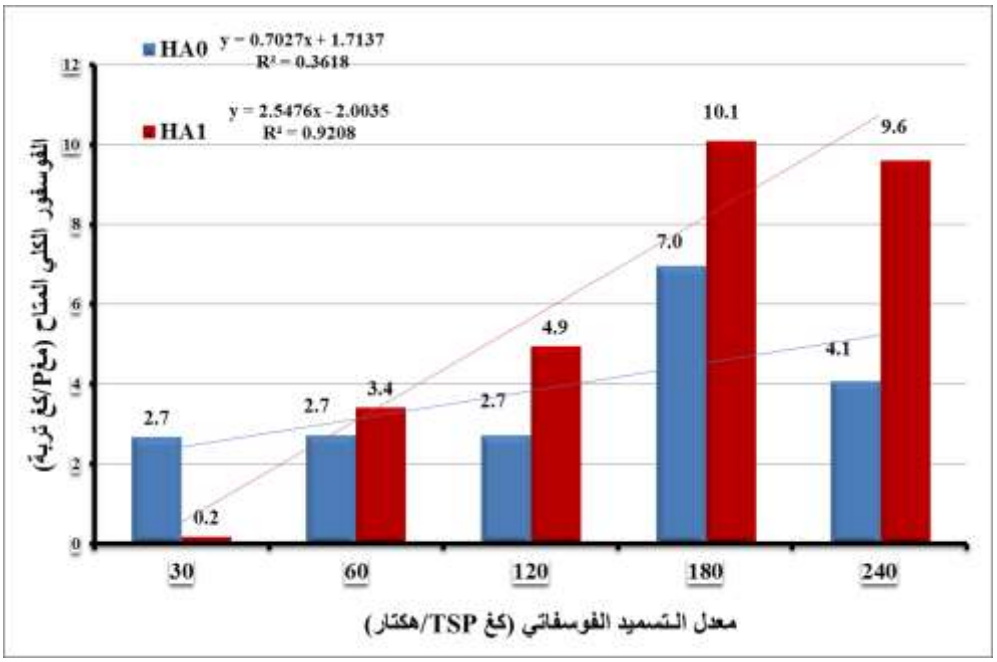
من خلال مجمل المعطيات السابقة يتضح لنا الدور الهام لفوسفور التربة العضوي في امداد النبات باحتياجاته في المعدلات المنخفضة من التسميد وهذا ما أكدته دراسات (حتى وعلوش، 2017). كما تبين الدور الواضح للهيومات في الحفاظ على مستوى جيد من الفوسفور العضوي من خلال مخلبة أنيونات الفوسفات الذائبة عبر جسر كاتيوني، وكذلك في منافسة سطوح الادمصاص لمركبات الكالسوم وبالتالي منع ترسيب الفوسفور (Weeks and Hettiarachchi, 2019; Shafi & Sharif, 2019). لكن يتوقع عند ارتفاع تركيز الـ P عن حاجة النبات، أن يتحول الـ Po لأجزاء أكثر استقراراً recalcitrant ويمكن أن تبقى في التربة، وذلك الجزء من labile-Po يتحول لِـ non-labile Po (Braose *et al*., 2015).

3- العلاقة بين الفوسفور الكلي المتاح ومعدل التسميد الفوسفاتي:

يمثل مجموع الفوسفور الذي يتم استخلاصه بالريزن ومستخلص البيكربونات بشقية المتفاعل مع المولبيدات والعضوي ($NaHCO_3$ (Pi+Po) + Resin = labile soil-P). معظم الفوسفور المتاح للنبات (Bowman *et al*., 1978). جمعت قيم الفوسفور المتاح (المعدنية منها والعضوية) وطرح الناتج في كل منها بما يماثلها من الشاهد، وذلك لتمثيل العلاقة بين الفوسفور الكلي المتاح ومعدل التسميد الفوسفاتي المضاف TSP في التربة المدروسة شكل (1). بينت تلك العلاقة وجود حالة استقرار في كمية الفوسفور الكلي المتاح عند معاملة التربة الكلسية بمعدلات متزايدة من السماد الفوسفاتي بدون هيومات وتراوحت القيم بين 2.7 مغP/كغ لترتفع عند المعدل الرابع من التسميد الفوسفاتي إلى 7 مغP/كغ، وتعاود بعدها الانخفاض إلى 4.1 مغP/كغ عند التسميد بـ 240 كغTSP/هكتار. تشير هذه النتائج أن

احتياج نبات الذرة من الفوسفور كان أقل ما يمكن بدءاً من معدل التسميد 180 كغTSP/هكتار، والتي ظهر فيها زيادة في كمية الفوسفور المتاح مقارنة باحتياجات نبات الذرة من الفوسفور.

عند إضافة الهيومات، تبينت حالة انخفاض واضحة في الكمية الكلية المتاحة 0.2 مغP/كغ عند المعدل المنخفض من التسميد الفوسفاتي بوجود الهيومات 30 كغTSP/هكتار. ذلك الانخفاض لم يسبب أثر سلبي على نمو للنبات، بل على العكس فقد زادت الكمية الممتصة من الفوسفور عند ذات المعدل من التسميد وبشكل معنوي مقارنة بالشاهد (حتى وآخرون، 2020). استعادت التربة توازنها بعد زيادة التسميد الفوسفاتي إلى عتبة 60 كغTSP/هكتار فكان مجموع ما هو متاح حوالي 3.4 مغP/كغ، وترتفع بشكل متدرج مع زيادة معدلات التسميد فوسفاتي لتصبح معدل الزيادة 10.1 مغP/كغ إلى 180 كغTSP/هكتار وبدون تسجيل تغير ملحوظ عند التسميد بمعدل 240 كغTSP/هكتار.



شكل 1: تأثير الهيومات في العلاقة بين مجموع الفوسفور المتاح المعدني والعضوي ومعدل التسميد الفوسفاتي

اللافت بالأمر هو جودة العلاقة بين مجموع أشكال الفوسفور المتاحة المعدنية منها والعضوية وبين معدلات التسميد الفوسفاتي بوجود الهيومات R = 0.9609. تلك النتائج تقدم دليلاً آخر على زيادة الكمية المتاحة من الفوسفور مع زيادة التسميد الفوسفاتي عند إضافة الهيومات، وبالمقابل ستؤدي حكماً إلى انخفاض الكمية المثبتة من الفوسفور في التربة الكلسية. وهذا ما أكدناه سابقاً.

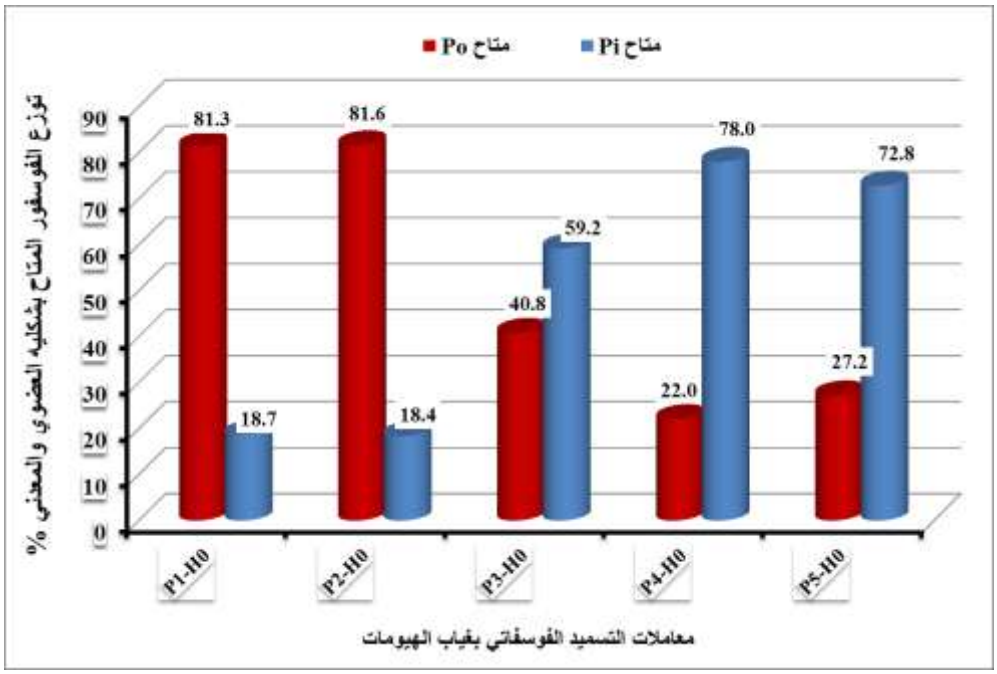
ولتحديد الشكل الأكثر تأثيراً على التباينات الحاصلة في الفوسفور الكلي المتاح بالنسبة للمعاملات التي تلقت الهيومات نلاحظ أن مصدر تلك التغيرات ناتجاً عن الفوسفور العضوي، حيث ارتبطت زيادة الفوسفور الكلي المتاح إيجاباً مع الفوسفور العضوي المستخلص ببيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$-Po) وكانت العلاقة خطية ذات جودة ارتباط R= 0.9515. بينما غابت جودة العلاقة بين الفوسفور الكلي المتاح والفوسفور العضوي بالنسبة لمعاملات التسميد الفوسفاتي بغياب الهيومات (جدول 4).

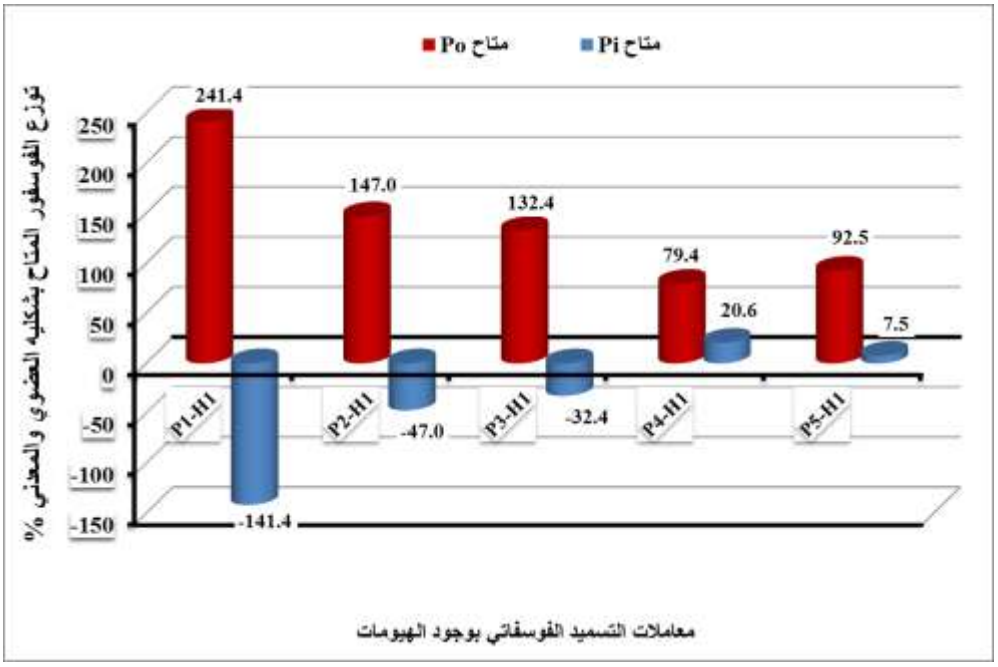
جدول 4: العلاقة بين الفوسفور الكلي والعضوي المتاح (∑ lable-P : $NaHCO_3$-Po)

المعاملة بالهيومات	الطبقة السطحية (0 – 30 سم)	
HA_0	y = 1.194x + 75.11	R = 0.4328
HA_1	y = 1.104x + 84.734	R = 0.9515

4- توزع الفوسفور المتاح بين شكليه العضوي والمعدني:

بالاعتماد على حسابات الفرق بعد طرح كل معاملة بالشاهد الخاص بها فإنة يتم حساب توزعات الفوسفور الذي تمت إضافته بين الأشكال المختلفة الناتجة عن التجزئة المتتابعة للفوسفور، لقد شكّل الفوسفور العضوي المستخلص بالبيكربونات في المعاملات بدون الهيومات إذا ما حسب كنسبة مئوية من مجموع ماهو متاح في التربة labile-P (Resin-Pi + $NaHCO_3$-MRP + $NaHCO_3$-Po) حوالي 81.3 و 81.6% وذلك عند معدلات إضافة 30 و 60 كغTSP/هكتار على التوالي (شكل 2)، وتنخفض هذه النسبة مع زيادة معدلات التسميد لتصل إلى 22% و 27% عند مستويي الإضافة 180 و 240 كغTSP/هكتار على التوالي.





شكل 2: توزع الفوسفور المتاح العضوي والمعدني في التربة الكلسية بعد الزراعة (تشير القيم على الأعمدة النسبة المئوية التي يشكلها الشكل الفوسفوري من مجموع الفوسفور المتاح labile-P).

واكب هذا الإنخفاض ارتفاع تدريجي للفوسفور المعدني المتاح عند زيادة معدلات التسميد بحال التسميد بغياب الهيومات. توضح هذه النتائج أن معدلات التسميد المنخفضة (≤ 60 كغTSP/هكتار) كانت غير كافية لاحتياجات النبات مما سبب انخفاض في كمية الفوسفور المعدني المتاح. بينما شكل معدل التسميد 120 كغTSP/هكتار حالة استقرار في توزع الفوسفور المتاح العائد للتسميد الفوسفاتي المضاف بين الشكلين العضوي والمعدني.

أما بالنسبة لمعاملات التسميد الفوسفاتي بوجود الهيومات تركّزت التغيرات الحاصلة على الشكل المعدني من الفوسفور المتاح (Resin-Pi + $NaHCO_3$-MRP) مقارنة بالشكل العضوي $NaHCO_3$-Po حتى الوصول لمستوى إضافة 120 كغTSP/هكتار شكل (2). ويؤكد انخفاض كمية الفوسفور المعدني وارتفاع الفوسفور العضوي فيها كنسبة مئوية من الكلي المتاح وجود حالة تعضد للفوسفور المضاف للتربة ولجزء مهم للفوسفور في تربة الأصل.

بينما لوحظ تضاؤل ذلك الفارق وارتفاع للشكل المعدني كنسبة مئوية من مجموع الفوسفور المتاح عند مستوى إضافة 180 كغTSP/هكتار ليصبح 20% و 74.4% عضوي، مع الإشارة أن أغلب ما هو متاح فيها قد تواجد بالشكل العضوي Po والذي لا يمكن أن يستفيد منه النبات في احتياجاته إلا بعد حدوث عمليات التمعدن، يبرز هنا زيادة النشاط الحيوي خلال فترة الزراعة والذي أدى لحدوث تحولات للجزء العضوي من الفوسفور من أشكال مثبتة إلى أشكال أكثر إتاحة للنبات. أشارت بعض التجارب على الترب القلوية إلى زيادة الفوسفور المتاح وكذلك الذائب في محلول التربة عند إضافة أحماض الهيوميك، كما حدّ من تثبيت الفوسفور مع مركبات الكالسيوم Ca-P (Wang *et al.*, 1995).

ثالثاً: توزع الفوسفور المتبقي في التربة بين أشكاله العضوية والمعدنية في التربة الكلسية:

بينت دلائل تحليل التباين وجود تأثير معنوي لكل من التسميد الفوسفاتي أو الهيومات على الشكل العضوي المتبقي في التربة وأقل معنوية على الشكل المعدني فيها. بينما كان لتأثير التداخل في إضافة الفوسفور مع الهيومات تغيرات غير معنوية في المعاملات المدروسة جدول (3).

لوحظ تفوق كبير لكمية الفوسفور العضوي المتبقي مقارنة بالفوسفور المعدني المتبقي في التربة الكلسية قبل الزراعة 114.8 و 13.9 مغ P/كغ تربة على التوالي. بينما سببت زراعة الذرة الصفراء إلى الوصول لحالة توازن في الجزئين العضوي والمعدني المتبقي لدى عينة الشاهد بلا هيومات P_0HA_0 = 66.7 و 68.2 مغ P/كغ تربة على التوالي. ويبرز دور الهيومات بشكل واضح في الحفاظ على تفوق الجزء العضوي عن المعدني المتبقي في عينات التربة بعد الحصاد عند عدم التسميد الفوسفاتي P_0HA_1 = 83.7 و 41.9 مغ P/كغ تربة على التوالي.

في المعاملات التي لم تتلق إضافة الهيومات لوحظ ارتفاع تدريجي للفوسفور المتبقي العضوي Residual Po مترافقاً مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي فتراوحت بين 66.7 و 127.1 مغ P/كغ تربة في المعاملات P_0HA_0 و P_5HA_0 على التوالي. كان معدل التسميد 120 كغTSP/هكتار كافياً لتحافظ التربة الكلسية على محتواها من الشكلين المعدني والمعضوي المتبقي فيها مقارنة بتربة الأصل قبل الزراعة. بينما شكلت إضافة 240 كغTSP/هكتار ارتفاع معنوي فقط للشكل العضوي المتبقي فيها عن باقي معاملات التسميد المتبعة في الدراسة.

لقد ترافق الارتفاع التدريجي للفوسفور العضوي بوجود انخفاض تدريجي أيضاً للفوسفور المعدني المتبقي أيضاً مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي فتراوحت القيم بين 68.2 و 36.5 مغ P/كغ تربة في المعاملات P_0HA_0 و P_3HA_0 على التوالي. ولم يلاحظ تغيرات معنوية للفوسفور المعدني المتبقي مهما زادت معدلات التسميد الفوسفاتي.

شكلت إضافة الهيومات سبباً في زيادة كمية الفوسفور العضوي المتبقي في التربة لدى معاملة الشاهد (P_0HA_1 = 83.7 مغ P/كغ تربة) بزيادة وقدرها 25% عن الشاهد بدون الهيومات. وارتفعت تلك الزيادة مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي لتكون أعلى معنوية عند معدل التسميد 180 كغTSP/هكتار (P_5HA_1 = 127.7 مغ P/كغ تربة) مقارنة بالشاهد P_0HA_1 بزيادة وقدرها 52%، وبحوالي 91% عن الشاهد بدون الهيومات P_0HA_0.

رابعاً: العلاقة بين أشكال الفوسفور المستخلصة بطريقة هيدلي ومعدلات التسميد الفوسفاتي:

يلخص الجدول (5) العلاقة بين أشكال الفوسفور في التربة المستخلصة بعملية التجزئة ومعدل التسميد الفوسفاتي بوجود أو بغياب الهيومات. في معاملات التسميد بدون الهيومات يلاحظ غياب الارتباط بين زيادة معدل التسميد والأشكال المتاحة من الفوسفور المستخلصة بالبيكربونات ($NaHCO_3$-MRP,Po) وكذلك الحال في للفوسفور المعدني المستخلص بالماءات. بينما توافقت معدلات الفوسفور العضوي الموجود في مستخلص الماءات معنوياً مع زيادة معدل التسميد الفوسفاتي. وكذلك الحال بالنسبة للفوسفور المرتبط مع مركبات الكالسيوم.

جدول 5: العلاقة الناتجة بين أشكال الفوسفور المستخلصة من التربة بعد الحصاد ومعدلات التسميد الفوسفاتي المضاف.

	Resin-Pi	$NaHCO_3$		NaOH		HCl-Pi	Residual-P	
		MRP	Po	Pi	Po		Po	Pi
HA_0	0.6489*	NS	NS	NS	0.9539**	0.8415**	-0.7835**	0.921**
HA_1	-0.9093**	0.854**	0.8702**	0.9473**	0.5331*	0.9618**	-0.6692*	0.7388**

لقد ازدادت تراكيز الفوسفور التي تم استخلاصها تتابعاً بصورته المعدنية أو العضوية بجميع أشكاله، المتاح ($NaHCO_3$-MRP,Po) أو المتواجد في مستخلص (NaOH-Pi,Po) أو المرتبط مع الكالسيوم في مستخلص *1M* HCl مع زيادة معدل التسميد الفوسفاتي تحت تأثير الهيومات، وكانت هذه الزيادات تدريجية وبشكل طردي، كما تمتعت علاقات الارتباط فيها بمعامل ارتباط جيدة في جميع هذه الأشكال المستخلصة، بينما تباينت العلاقات الخطية الناتجة في معدل الزيادة والتي حددتها ميل المعادلة الخطية فكانت عكسية في الفوسفور المستخلص بالرزن. اللافت بالأمر هو الارتباط العكسي بين زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي وكمية الفوسفور العضوي المتبقي بالتربة الكلسية بوجود أو غياب الهيومات (جدول 3). أدت إضافة الهيومات إلى زيادة في الشكل المعدني المتبقي Residual-Pi مترافقاً مع زيادة معدلات التسميد الفوسفاتي في التربة الكلسية. ولكن بدرجة أقل معنوية مقارنة بالمعاملات HA_0. يشير ذلك إلى دور الهيومات في إحداث تغيرات واضحة في الشق المعدني للفوسفور المتبقي في التربة من خلال تحفيز النشاط الميكروبي خلال فترة الزراعة إضافة لمفرزاته الجذرية من أحماض عضوية ومركبات كربوهيدراتية تعزز حالة التمعدن للشكل العضوي. إن بحث ديناميكية الفوسفور في التربة كبير ومعقد جداً، ولا زال يحتاج الكثير من الفهم ليمكّننا من الإدارة الجيدة للتربة بهدف الوصول إلى التركيز الأمثل للفوسفور والكافي للوصول إلى الإنتاجية المثلى للنباتات المزروعة.

الاستنتاجات والتوصيات

1- تمكنت الهيومات المضافة إلى التربة الكلسية أن تؤدي دوراً هاماً في الحفاظ على كمية الفوسفور العضوي المتاح $NaHCO_3$-Po ضمن المجال الذي كانت عليه قبل الزراعة 74.2 مغ P/كغ تربة، خاصة عند معدل تسميد فوسفاتي أكبر من 60 كغTSP/هكتار.

2- ارتبطت زيادة الفوسفور الكلي المتاح إيجاباً مع الفوسفور العضوي المستخلص ببيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$-Po) وكانت العلاقة خطية ذات جودة ارتباط R= 0.9515. بينما غابت جودة العلاقة بين الفوسفور الكلي المتاح والفوسفور العضوي بالنسبة لمعاملات التسميد الفوسفاتي بغياب الهيومات.

3- أظهرت نتائج تقدير الفوسفور المعدني المرتبط بمركبات الكالسيوم انخفاض في كمية الفوسفور المستخلصة عند كل معدل تسميد فوسفاتي تحت تأثير الهيومات مقارنة بمثيلاتها من المعاملات بدون الهيومات. وبالتالي فقد ساهمت الهيومات بالحد من ارتباط الفوسفور المضاف مع مركبات الكالسيوم فيها وتشيكل معقدات فوسفات الكالسيوم بالرغم من الزيادة التدريجية لمعدلات التسميد الفوسفاتي.

المراجع:

1. حتى، أسامة ؛ علوش، غياث. *دراسة ديناميكية الفوسفور في بعض الترب السورية وتأثيرها في نمو الذرة الصفراء* (*Zea mays* L.) *: تجارب أصص وتحضين مخبرية*. أطروحة ماجستير. قسم علوم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة تشرين، سورية، 2017، 96 صفحة.

2. علوش، غياث ؛ حتى، أسامة. *حركية الفوسفور المضاف وتحولاته بين الأشكال المختلفة للفوسفور في بعض الترب السورية: دراسة تجزئة الفوسفور في التربة*. مجلة جامعة تشرين – سلسلة العلوم البيولوجية، 39 (3)، 2018، 20 صفحة.

3. حتى، أسامة ؛ علوش، غياث؛ زينة، ربيع. *تأثير الفوسفور وهيومات البوتاسيوم في النمو ومؤشرات الإنتاجية لنبات الذرة الصفراء* (*Zea mays* L.) *المزروع في تربة كلسية*. المجلة السورية للبحوث الزراعية، 7 (3)، 2020، 356-371.

4. AMANULLAH, DR.; and KHAN, ADIL. *Phosphorus and Compost Management Influence Maize (Zea mays) Productivity under semiarid condition with and without phosphate solubilizing bacteria*. Frontiers in plant science. 2015. 6.

5. BOWMAN, R.A and COLE, C.V. *Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO3 extractions*. Soil Sci, 1978. 125. 49-54.

6. BRADY, N.C and WEIL, R.R. *The Nature and Properties of Soils***.** 14th ed; Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 2008. 490.

7. BRAOSE, L.B; CRUZ, M.C; FERREIRA, M.E. and KUHNEN, F. *Organic phosphorus fractions in soil fertilized with cattle manure*. R. Bras. Ci. Solo, 2015. 39, 140-150.

8. DEGRYSE, F., B. AJIBOYE., R.D. ARMSTRONG and M.J. MCLAGHLIN. *Sequestration of phosphorus-binding cations by complexing compounds is not a viable mechanism to increase phosphorus efficiency*. Soil Science Society of America Journal, 2013. 77(6): 2050-2059.

9. DEVAU, N.; P. HINSINGER; E. CADRE; and F. GÉRARD. *Root-induced processes controlling phosphate availability in soils with contrasted P-fertilized treatments*. Plant and Soil, 2011. 348, 203-218.

10. GUPPY, C.N., N.W. MENZIES., P.W. MOODY., and F.P.C. BLAMEY. *Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review*. Soil Research, 43(2): 2005. 189-202.

11. HEDLEY, M. J.; STEWRAT, 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.

12. HENS, M. and MERCKX, R. *Functional characterization of colloidal phosphorus species in the soil solution of sandy soils.* Environmental Science and Technology, 35, 2001. 493–500.

13. HU, Y. The Effects of Oxidation-Reduction Potential on the Solubility of Phosphorus in Agricultural Water Management Systems**.** A thesis submitted of Master of Science. McGill University, 2008. 1- 63.

14. KUO, S. *Phosphorus. In "**Methods of soil analysis" Part 3- Chemical methods,*** SSSA Book Series No. 5. Madison, Wisconsin. 1996, pp. 869-919.

15. LUTZOW, M.V.; I. KOEGEL; E. ECKSCHMITT; and E. MATZNE. *Stabilization of organic matter in temperate soils mechanism and their relevance under different soil condition-a review*, Eur. Soil. Sci., 57. 2006. 426-445.

16. MCGILI, W.B. and COLE, C.V. *Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter*. Geoderma. 26,1981, 267-286.

17. MURPHY, J. and RILEY, J.P. *A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters*. Anal. Chim. Acta. 27, 1962. 31–36.

18. OTHIENO, C.O. *The effect of organic mulches on yields and phosphorus utilization by plants in acid soils*. Plant Soil. 38, 1973. 17–32.
19. RYAN, J; YAN, J; ESTEFAN, and G; RASHID, A. *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual2*. ICARDA. NARC. 2001, 172p.
20. SAS INSTITUTE. ***SAS user's guide: Statistics.*** SAS Inst. Cary, NC. 1999.
21. SCALENGHE, R; EDWARDS, A. C.; BARBERIS, E. AJMONE; and MARSAN, F. *The influence of pulsed redox conditions on soil phosphorus*. Biogeosciences Discuss. 7, 2010. 9009–9037.
22. SHAFI, M. I., and SHARIF, M. *Soil extractable phosphorus contents as affected by phosphatic fertilizer sources applied with different levels of humic acid.* Sarhad Journal of Agriculture, 35(4), 2019. 1084-1093.
23. SHENOY, V.V, and KALAGUDI, G. M. *Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping.* Biotechnology Advances, 23(7-8), 2005. 501-513.
24. SYERS, J.K., JOHNSTON, A.E., and CURTIN, D. *Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: Reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information.* FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bull. 18. 2008. FAO, Rome.
25. TAALAB, A. S., G.W. AGEEB., H.S. SIAM., and S.A. MAHMOUD. *Some Characteristics of Calcareous soils. A review*. Middle East J., 8(1): 2019. 96-105.
26. URRUTIA, O., J. ERRO., I. GUARDADO., S. SAN FRANCISCO., M. MANDADO., R. BAIGORRI., and J. MA GARCIA MINA. "*Physico-chemical characterization of humic-metal-phosphate complexes and their potential application to the manufacture of new types of phosphate-based fertilizers*." Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177 (2): 2014. 128-136
27. WANG, H., ZHU, J., FU, Q., HONG, C., HU, H., and VIOLANTE, A. *Phosphate adsorption on uncoated and humic acid-coated iron oxides*. Journal of Soils and Sediments, 16(7), 2016. 1911-1920.
28. WANG, W; B. T. ANDERSON; N, PHILLIPS; K, KAUFMANN; C, POTTER and R. B, MYNENI. *Feedbacks of vegetation on summertime climate variability over the North American Grasslands*. Part I: Statistical analysis. Earth Interactions, 2006, 10, in press.
29. WANG, X. J., WANG, Z. Q., and LI, S. G. *The effect of humic acids on the availability of phosphorus fertilizers in alkaline soils.* Soil Use and Management, 11(2), 1995. 99-102.
30. WEEKS JR, J. J., and G.M. HETTIARACHCHI. *A review of the latest in phosphorus fertilizer technology: Possibilities and pragmatism*. Journal of Environmental Quality, 48(5): 2019. 1300-1313.
31. YANG, X. and POST, W. M. *Phosphorus transformations as a function of pedogenesis. A synthesis of soil phosphorus data using Hedley fractionation method,* Biogeosciences. 2011, 8, 2907–2916.