تأثير إضافة مستويين مختلفين من المحسن العضوي (الهيومك اسيد) في إتاحة العناصر الكبرى (NPK) لتربة كلسية في ظروف محافظة الحسكة

حسام الحنيف[1*]، صبحي الخشم[2] ،أحمد البليخ [3]

[1] **طالب ماجستير**، قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا

[2] **أستاذ**، قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا
alkhashemsoubhi@gmail.com

[3] **مدرس**، قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا
dr.ahmadalbalikh@alfuratuniv.edu.sy

[*] **الباحث المرسل:** drhussamalhanif@alfuratuniv.edu.sy

الملخص

نُفذت هذه الدراسة في مخبر التربة والمياه التابع لمركز البحوث العلمية الزراعية في مدينة القامشلي (محافظة الحسكة) خلال الأعوام (2017–2018)، بهدف تقييم تأثير المحسن العضوي حمض الهيومك في إتاحة العناصر الغذائية الكبرى (النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم) في تربة كلسية تحت ظروف التحضين المخبري. تضمنت الدراسة مستويين من حمض الهيومك: (H1) بتركيز (1) كغ/دونم و(H2) بتركيز (2) كغ/دونم، إضافة إلى معاملة الشاهد (H0)، وتمت متابعة التحضين خلال ست فترات زمنية امتدت من (7) إلى (60) يومًا. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي باستخدام اختبار أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية (0.05) وجود فروق معنوية بين المعاملات، حيث تفوقت المعاملة (H2) على المعاملتين (H1) و(H0) في متوسطات العناصر الغذائية الثلاثة، إذ بلغ متوسط النتروجين (10.93) ppm، والفوسفور (16.65) ppm، والبوتاسيوم (447.67) ppm. كما بينت النتائج وجود فروق معنوية بين فترات التحضين المختلفة، حيث سجل النتروجين أعلى متوسط له عند الفترة (T3) بمقدار (11.60) ppm، والفوسفور عند الفترة (T5) بمقدار (17.03) ppm، والبوتاسيوم عند الفترة (T4) بمقدار (434) ppm. وأظهر التفاعل بين مستويات حمض الهيومك وفترات التحضين تأثيرًا معنويًا في تحرر العناصر المدروسة، إذ سجلت المعاملة (H2) أعلى القيم، حيث بلغ أعلى تركيز للنتروجين (14.20) ppm عند الفترة (T4)، وأعلى تركيز للفوسفور (23.80) ppm، وأعلى تركيز للبوتاسيوم (495) ppm عند الفترة (T5). وتشير النتائج إلى فعالية حمض الهيومك كمحسن للترب الكلسية من خلال زيادة إتاحة العناصر الغذائية الكبرى وتحسين خصوبة التربة.

الكلمات المفتاحية: حمض الهيومك، النتروجين، الفوسفور، البوتاسيوم، إتاحة العناصر.

ورد للنشر بتاريخ: 19 / 4 / 2026

قبل للنشر بتاريخ : 25 / 6 / 2026

2026 © المؤلف (المؤلفون).هذا المقال منشور بنظام الوصول المفتوح بموجب ترخيصCC BY-NC-SA 4.0

Effect of Adding Two Different Levels of Organic Amendment (Humic Acid) on the Availability of Major Nutrients (NPK) in Calcareous Soil under Al-Hasakah Governorate Conditions

Hussam Al-Hanif [1*], Soubhi Al-Khashem [2] , Ahmad Al-Balikh [3]

[1] **Master's Student**, Department of Soil Science and Land Reclamation, Faculty of Agriculture, Al-Furat University, Deir ez-Zor, Syria.

[2] **Professor**, Department of Soil Science and Land Reclamation, Faculty of Agriculture, Al-Furat University, Deir ez-Zor, Syria. alkhashemsoubhi@gmail.com

[3] **Assistant Professor**, Department of Soil Science and Land Reclamation, Faculty of Agriculture, Al-Furat University, Deir ez-Zor, Syria. dr.ahmadalbalikh@alfuratuniv.edu.sy

(*)Corresponding Author: drhussamalhanif@alfuratuniv.edu.sy

Abstract

This study was conducted in the Soil and Water Laboratory of the Agricultural Scientific Research Center in Al-Qamishli (Al-Hasakah Governorate, Syria) during 2017–2018 to evaluate the effect of humic acid as an organic soil amendment on the availability of major nutrients (nitrogen, phosphorus, and potassium) in a calcareous soil under laboratory incubation conditions. The experiment included two humic acid levels: H1 at a rate of 1 kg dunum^{-1} and H2 at a rate of 2 kg dunum^{-1}, in addition to an untreated control (H0). Soil samples were incubated for six periods ranging from 7 to 60 days. Statistical analysis using the Least Significant Difference (LSD) test at the 0.05 probability level revealed significant differences among the studied treatments. The H2 treatment significantly outperformed both H1 and H0 in the mean concentrations of the three nutrients, recording 10.93 ppm nitrogen, 16.65 ppm phosphorus, and 447.67 ppm potassium. Significant differences were also observed among incubation periods. The highest mean nitrogen concentration (11.60 ppm) was recorded at T3, whereas phosphorus reached its highest mean value (17.03 ppm) at T5, and potassium reached its highest mean value (434 ppm) at T4.

A significant interaction was observed between humic acid levels and incubation periods with respect to nutrient release. The H2 treatment produced the highest nutrient concentrations, reaching 14.20 ppm nitrogen at T4, 23.80 ppm phosphorus at T5, and 495 ppm potassium at T5. These findings indicate that humic acid can be effectively used as a soil amendment in calcareous soils to enhance the availability of major nutrients and improve soil fertility..

Keywords: Humic acid, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Nutrient availability.

Received : 19/4/2026

Accepted : 25/6/2026

© 2026 Author(s). This article is published under the Open Access License CC BY–NC–SA 4.0

1. المقدمة:

تُعد الترب الكلسية من الترب ذات المحتوى المرتفع من كربونات الكالسيوم وارتفاع درجة التفاعل، مما يؤدي إلى انخفاض جاهزية العناصر الغذائية نتيجة تعرضها لعمليات الامتزاز والترسيب والتثبيت داخل التربة، الأمر الذي يحد من كفاءة استفادة النبات منها (Qetrani et al., 2024).

ومع تزايد المشكلات البيئية المرتبطة بتدهور خصوبة التربة والاضطرابات البيئية الناتجة عن التوسع الزراعي، ازداد الاهتمام بالمحسنات العضوية ودورها في دعم الزراعة المستدامة وتحسين النشاط الحيوي للتربة (Buscot and Varma, 2005).

وتتمثل أهمية هذا البحث في دراسة تأثير إضافة مستويات مختلفة من حمض الهيومك في إتاحة العناصر الغذائية الكبرى (NPK) في تربة كلسية خلال فترات تحضين مختلفة.

1.1. مبررات البحث:

1. تربة المنطقة كلسية وفقيرة بالعناصر الغذائية (NPK) بسبب ارتفاع نسبة الكلس وضعف المادة العضوية، مما يؤدي إلى تثبيت هذه العناصر.
2. نتيجة الاستخدام الكبير للأسمدة الكيميائية وما تسببها من اضرار لابد من البحث عن بدائل مستدامة محسنة للتربة.
3. اهتمام الأبحاث والدراسات السابقة بتأثير العناصر على النبات عند إضافة المحسنات وقلة الدراسات حول كيفية تحرر هذه العناصر في التربة.

2.1. هدف البحث:

1. دراسة إضافة مستويين من الهيومك أسيد في إتاحة العناصر الكبرى (NPK) لتربة كلسية عند فترات زمنية
2. دراسة العلاقة بين المستوى المضاف وفترة التحضين في نمط اتاحة العناصر.

2. الدراسات السابقة:

تُعد المادة العضوية أساس بناء خصوبة التربة، إذ تتحلل بفعل النشاط الميكروبي إلى مركبات معدنية بسيطة ومركبات دبالية غروية تسهم في تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للتربة، كما تساعد في زيادة السعة التبادلية الكاتيونية وتحسين بناء التربة ورفع قدرتها على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية.

ويمثل حمض الهيومك الجزء الأكثر فعالية في المادة العضوية، لما يتميز به من طبيعة غروية وسعة تبادلية كاتيونية مرتفعة، وقدرته على التأثير في جاهزية العناصر الغذائية في التربة (Havlin et al., 2017). كما يسهم في تحسين الخواص الحيوية للتربة وزيادة النشاط الميكروبي المرتبط بدورة العناصر الغذائية، مما ينعكس إيجابًا على جاهزيتها للنبات (Ampong et al., 2022).

وفيما يتعلق بعنصر النتروجين، أظهرت الدراسات الحديثة أن استخدام أسمدة حمض الهيومك يسهم في رفع كفاءة استخدام النتروجين وتحسين امتصاصه من قبل النبات، مما ينعكس على زيادة الإنتاجية (Ma

et al., 2024). كما أن إضافة حمض الهيومك بتركيزات منخفضة أدت إلى زيادة معنوية في امتصاص النتروجين والفوسفور في نباتات الذرة، مما يدل على دوره في تعزيز إتاحة العناصر الكبرى وكفاءة استخدامها (Jing et al., 2022).

أما بالنسبة للفوسفور، فقد أكدت الدراسات أن حمض الهيومك يحدّ من تثبيت الفوسفور في الترب الكلسية من خلال إعاقة تكوّن وترسيب فوسفات الكالسيوم وتحسين هجرة الفوسفور داخل التربة، مما يزيد من نسبته المتاحة للامتصاص (Francioni et al., 2024). كما أدى دمجه مع الأسمدة الفوسفاتية إلى تحسين إتاحة الفوسفور ورفع كفاءة استخدامه وإنتاجية المحاصيل مقارنة بالأسمدة التقليدية (Zhang et al., 2024).

وفيما يتعلق بعنصر البوتاسيوم، تسهم الأحماض العضوية الناتجة عن تحلل المادة العضوية، ومن بينها حمض الهيومك، في إذابة بعض المعادن الحاوية على البوتاسيوم وتقليل تثبيته في التربة، مما يزيد من جاهزيته للنبات (Song et al., 2010).

3. مواد البحث وطرائقه:

1.3. تنفيذ البحث:

تم أخذ عينة مركبة لتربة البحث على عمق (0–15) سم جففت هوائيًا ونظفت وطحنت ثم نخلت للحصول على ناعم التربة < (2) ملم، تم تحضين ناعم التربة للتربة المدروسة لمدة (60) يوم بعد إضافة المحسن العضوي الهيومك أسيد وفق المعاملات المدروسة وأخذ من كل معاملة (900) غ تربة وزعت على ثلاثة مكررات ضمن أصص بلاستيكية بمعدل (300) غ تربة لكل مكرر ثم وضعت هذه الأصص ضمن الحاضنة عند درجة حرارة (25) مْ. جرى ترطيب عينات التربة إلى (60%) من السعة الحقلية باستخدام الماء المقطر، وتمت المحافظة على هذا المستوى الرطوبي طوال فترة التحضين من خلال الوزن الدوري وتعويض الفاقد من الماء.

تم أخذ عينات تربة بمعدل (10) غ من كل مكرر جففت هوائياً وقدرت فيها العناصر الأساسية (NPK) بفواصل زمنية (T1 T2 T3 T4 T5 T6).

المعاملات المدروسة للتربة كانت كالتالي:

المعاملة الأولى: الشاهد (H0) (دون إضافة الهيومك أسيد)

المعاملة الثانية (H1): الهيومك أسيد بتركيز 1كغ/دونم.

المعاملة الثالثة (H2): الهيومك أسيد بتركيز 2كغ/دونم.

2.3. مواد البحث:

1.2.3. التربة: تم الحصول على التربة المراد دراستها من منطقة القامشلي (مركز البحوث العلمية الزراعية).

تم تحليل تربة الموقع المدروس لمعرفة ما يلي:

1- التحليل الميكانيكي لتحديد قوام التربة (%) بطريقة الهيدرومتر Hydrometer.

2- تقدير درجة الحموضة في مستخلص العجينة المشبعة بواسطة جهاز pH-meter.

3- تقدير الناقلية الكهربائية EC (ديسيمنز/متر) في مستخلص العجينة المشبعة باستخدام جهاز الناقلية الكهربائية.

4- كربونات الكالسيوم الكلية $CaCO_3$% بطريقة جهاز الكالسيمتر.

5- السعة التبادلية الكاتيونية بطريقة أسيتات الأمونيوم.

6- تقدير المادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة (Walkley and Black 1934).

7- الآزوت المتاح بطريقة Berthlot باستخدام جهاز سبيكتروفوتومتر.

8- الفوسفور المتاح بطريقة أولسن باستخدام جهاز سبيكتروفوتومتر.

9- البوتاسيوم بطريقة التحليل باللهب باستخدام جهاز الفلام Flame photometry.

يبين الجدول (1) أهم الخصائص الفيزيائية للتربة المدروسة (التركيب الميكانيكي والكثافة الظاهرية والحقيقية بالإضافة الى المسامية الكلية)

الجدول (1). الخواص الفيزيائية للتربة المدروسة

العمق (سم)	التركيب الميكانيكي%			الكثافة غ/سم^3		المسامية الكلية
	رمل	سلت	طين	الظاهرية	الحقيقية	%
15-0	22	26	52	1.27	2.63	51.71

بينما يبين الجدول (2) بعض الخصائص الكيميائية للتربة المدروسة (نسبة المادة العضوية وكربونات الكالسيوم ومقدار النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم المتاح ودرجة الملوحة والحموضة والسعة التبادلية الكاتيونية)

الجدول (2). الخواص الكيميائية للتربة المدروسة (قبل إضافة المحسن الحيوي)

العمق (سم)	%		مغ/كغ			EC	pH	CEC
	المادة العضوية	$CaCO_3$	الآزوت المتاح ($NH_4^+ + NO_3^-$)	P_2O_5	K_2O	Ds/m		ميلي مكافئ/ 100 غ تربة
15-0	1.28	27.2	6.2	10.7	378	0.6	7.8	37

2.2.3. المحسن العضوي:

تم استخدام حمض الهيومك أسيد، وهو أحد مكونات المواد الهيومكية الناتجة عن التحلل الحيوي للمادة العضوية، ويتميز بتركيب معقد يتكون من سلاسل وحلقات كربونية ذات أوزان جزيئية مرتفعة، ويتدرج لونه من البني إلى الأسود، كما يتميز بعدم ذوبانه في الماء تحت الظروف الحامضية عند pH أقل من (2)، بينما يذوب في الأوساط القلوية وعند قيم pH الأعلى من ذلك (Vikram et al., 2022).

3.3. مكان تنفيذ البحث:

تم تنفيذ البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية بالقامشلي التابعة لمحافظة الحسكة حيث تم تحضين العينات بعد حقنها بالمحسن العضوي الهيومك أسيد في مخبر الأحياء الدقيقة في المركز كما تم تحليل الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم في مخبر التربة والمياه التابع للمركز.

4.3. التحليل الإحصائي:

تم تنفيذ التجربة وفق التصميم العشوائي الكامل (CRD) بطريقة عاملية، حيث تضمنت الدراسة ثلاثة مستويات من الهيومك أسيد (H0)، (H1)، (H2) وست فترات تحضين، وبثلاثة مكررات لكل معاملة. وتم تحليل النتائج إحصائيًا باستخدام برنامج GenStat، كما قورنت المتوسطات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية (0.05).

4. النتائج والمناقشة

1.4. أثر إضافة الهيومك اسيد على تحرر (NPK):

يُلاحظ أن استجابة العناصر الغذائية الثلاثة للإضافة العضوية لم تكن متساوية، إذ تختلف طبيعة تحرر العناصر الغذائية وتثبيتها في التربة تبعًا لصورها الكيميائية وآليات تفاعلها داخل التربة. كما تسهم المادة العضوية والأحماض الدبالية في تحسين السعة التبادلية الكاتيونية وتنظيم تحرر العناصر الغذائية وتقليل فقدها أو تثبيتها في التربة (Havlin et al., 2017)، إضافةً إلى دورها في تنشيط النشاط الميكروبي والإنزيمي المرتبط بدورة العناصر الغذائية، مما ينعكس على زيادة جاهزية بعض العناصر الغذائية، ولا سيما النتروجين (Ampong et al., 2022).

تشير النتائج في الجدول (3) إلى تفوق المعاملة (H2) معنوياً على باقي المعاملات في متوسط النتروجين المتاح، إذ بلغ (10.93) ppm بنسبة زيادة بلغت (60.73%) مقارنة بـ (H0)، تلتها المعاملة (H1) بمتوسط (9.42) ppm وبزيادة بلغت (38.52%). ويرجع هذا الارتفاع إلى دور الهيومك أسيد في تنشيط النشاط الميكروبي والإنزيمي المرتبط بدورة النتروجين، إضافةً إلى دور الهيومك أسيد في تحسين السعة التبادلية الكاتيونية والمساعدة في الاحتفاظ بالنتروجين في صورة أكثر استقرارًا وجاهزية للنبات داخل التربة (Havlin et al., 2017; Ampong et al., 2022; Ma et al., 2024).

أما بالنسبة للفوسفور، فقد تفوقت المعاملة (H2) معنوياً على باقي المعاملات، إذ بلغ متوسط الفوسفور المتاح (16.65) ppm بنسبة زيادة بلغت (40.27%) مقارنة بـ (H0)، تلتها المعاملة (H1) بمتوسط (14.63) ppm وبزيادة بلغت (23.27%). ويعود ذلك إلى قدرة الهيومك أسيد على تقليل ترسيب فوسفات الكالسيوم من خلال تكوين معقدات مع الكالسيوم ومنافسة أيونات الفوسفات على مواقع الامتزاز، إضافةً إلى دوره في تحسين الظروف الكيميائية الدقيقة المحيطة بالفوسفور في التربة وزيادة حركته في محلول التربة، مما يزيد من جاهزيته للنبات (Ge et al., 2020; Francioni et al., 2024).

أما بالنسبة للبوتاسيوم، فقد تفوقت المعاملتان (H1) و(H2) معنوياً على معاملة (H0)، في حين لم يظهر فرق معنوي بينهما، إذ بلغ متوسط البوتاسيوم المتاح (425.22) ppm في المعاملة (H1) و(447.67) ppm في المعاملة (H2)، وبنسب زيادة بلغت (11.68%) و(17.59%) على التوالي مقارنة بـ (H0). وسبب ارتفاع البوتاسيوم المتاح هو دور الهيومك أسيد في زيادة السعة التبادلية الكاتيونية وتقليل تثبيت البوتاسيوم على أسطح معادن الطين، إضافةً إلى دور المجموعات الكربوكسيلية والفينولية في تسهيل تبادل الكاتيونات وزيادة تحرره إلى محلول التربة (Havlin et al., 2017; Ampong et al., 2022). ومن المُلاحظ أن استجابة البوتاسيوم كانت أقل مقارنة بالنتروجين والفوسفور، ويعود ذلك إلى أن جزءًا كبيرًا من البوتاسيوم يوجد ضمن البنية المعدنية لمعادن التربة، مما يجعل تحرره أبطأ نسبيًا وأقل تأثرًا بالإضافة العضوية مقارنة بالعناصر التي تتأثر بصورة أكبر بالنشاط الميكروبي وعمليات الامتزاز والتحرر في التربة مثل النتروجين والفوسفور (Song et al., 2010).

الجدول (3). تغير قيم (NPK) (متوسط ثلاث مكررات) عند إضافة الهيومك اسيد.

CV %	**LSD 0.05	H2	H1	H0	البيان
2.89	0.43	10.93 a	9.42 b	6.80 c	**N**
2.34	0.56	16.65 a	14.63 b	11.87 c	**P**
3.84	26.56	447.67 a	425.22 a	380.67 b	**K**

المتوسطات المتبوعة بحروف مختلفة ضمن الصف الواحد تختلف معنويًا عند مستوى احتمال 0.05 وفق اختبار أقل فرق معنوي (LSD)، أما المتوسطات المتبوعة بالحرف نفسه فلا تختلف معنويًا

2.4. تأثير فترة التحضين على قيم (NPK)

عند مقارنة متوسطات عنصر النتروجين خلال فترات التحضين المدروسة يتبين أن تحرر هذا العنصر ازداد تدريجياً مع تقدم فترة التحضين حتى بلغ أعلى قيمة له عند الفترة (T3) بمتوسط (11.60) ppm، والتي تفوقت معنوياً على جميع فترات التحضين الأخرى. تلتها الفترة (T4) بمتوسط (10.80) ppm والتي تفوقت معنوياً على باقي الفترات باستثناء الفترة (T3). ثم جاءت الفترة (T5) بمتوسط (9.47) ppm وتفوقت معنوياً على الفترات (T1) و(T2) و(T6). في حين سجلت الفترة (T2) متوسطاً بلغ (8.40) ppm وتفوقت معنوياً على الفترتين (T1) و(T6)، بينما لم تظهر فروق معنوية بين الفترتين (T1) و(T6)، إذ بلغ متوسط النتروجين فيهما (7.03) و(7.00) ppm على التوالي.

أما بالنسبة لعنصر الفوسفور فقد بينت النتائج زيادة تدريجية في متوسط الفوسفور المتاح مع تقدم فترة التحضين، حيث ارتفع من (11.97) ppm عند الفترة (T1) إلى (13.27) ppm عند الفترة (T2) ثم إلى (14.83) ppm عند الفترة (T3)، ليواصل الارتفاع عند الفترة (T4) مسجلاً (16.83) ppm، ويبلغ أعلى قيمة له عند الفترة (T5) بمتوسط (17.03) ppm. ولم تظهر فروق معنوية بين الفترتين (T4) و(T5)، في حين تفوقتا معنوياً على جميع الفترات الأخرى. كما تفوقت الفترة (T3) معنوياً على الفترتين

(T2) و(T1)، وتفوقت الفترة (T2) معنوياً على الفترتين (T1) و(T6)، بينما لم تظهر فروق معنوية بين الفترتين (T1) و(T6) إذ بلغ متوسط الفوسفور فيهما (11.97) و(12.37) ppm على التوالي.

أما بالنسبة لعنصر البوتاسيوم فقد تراوحت قيمه خلال فترات التحضين المختلفة بين (402) و(434) ppm، حيث سجل أعلى متوسط عند الفترة (T4) بواقع (434) ppm، ولم يختلف معنوياً عن الفترتين (T5) و(T3)، بينما تفوق معنوياً على الفترة (T1). كما لم تظهر فروق معنوية بين الفترات (T2) و(T3) و(T5) و(T6)، في حين سجلت الفترة (T1) أدنى متوسط للبوتاسيوم بلغ (402) ppm.

الجدول (4). اثر فترة التحضين على (NPK).

البيان	T1	T2	T3	T4	T5	T6	**L.S.D 0.05	%C.V
N	7.03 ^{e}	8.40 ^{d}	11.60 ^{a}	10.80 ^{b}	9.47 ^{c}	7.00 ^{e}	0.43	2.89
P	11.97 ^{d}	13.27 ^{c}	14.83 ^{b}	16.83 ^{a}	17.03 ^{a}	12.37 ^{d}	0.56	2.34
K	402 ^{c}	407 ^{bc}	416 ^{abc}	434 ^{a}	432 ^{ab}	414 ^{abc}	26.56	3.84

المتوسطات المتبوعة بحروف مختلفة ضمن الصف الواحد تختلف معنويًا عند مستوى احتمال 0.05 وفق اختبار أقل فرق معنوي (LSD)، أما المتوسطات المتبوعة بالحرف نفسه فلا تختلف معنويًا

3.4. تأثير تفاعل فترات التحضين مع مستويات مختلفة من المحسن العضوي (الهيومك أسيد) في تحرر عنصر النتروجين:

يتضح من نتائج الجدول (5) أن إضافة المحسن العضوي الهيومك أسيد كان لها تأثير معنوي في زيادة إتاحة عنصر النتروجين في التربة مقارنة بمعاملة (H0)، إذ تفوقت المعاملتين (H1)، (H2) على المعاملة (H0) في معظم فترات التحضين.

ففي معاملة (H1) ازداد متوسط النتروجين المتاح تدريجياً مع تقدم فترة التحضين ليبلغ أعلى قيمة له عند الفترة (T3) بمتوسط (13.20) ppm، محققاً زيادة معنوية بلغت (69.23%) مقارنة بـ (H0) في الفترة نفسها (7.80) ppm، ثم بدأ بالانخفاض بعد ذلك في الفترات اللاحقة حيث سجل (11.60) ppm عند الفترة (T4) ثم (9.40) ppm عند الفترة (T5) قبل أن ينخفض إلى (6.90) ppm عند الفترة (T6).

أما معاملة (H2) فقد أظهرت استجابة أعلى وأكثر وضوحاً، إذ ارتفع تركيز النتروجين المتاح تدريجياً مع تقدم فترة التحضين ليصل إلى (13.80) ppm عند الفترة (T3)، ثم بلغ أعلى قيمة له عند الفترة (T4) بمتوسط (14.20) ppm، وبزيادة معنوية بلغت (115.15%) مقارنة بـ (H0) في الفترة نفسها (6.60) ppm، مما يدل على كفاءة المستوى الأعلى من الهيومك أسيد في تعزيز تمعدن النتروجين خلال المراحل الوسطى من فترة التحضين.

وعند المقارنة بين المستويين (H1) و(H2) يتبين أن المعاملة (H2) أعطت قيماً أعلى من (H1) في جميع فترات التحضين، إلا أن الفروق المعنوية بينهما ظهرت في معظم الفترات باستثناء الفترة الأولى

(T1) حيث كان الفرق بين المعاملتين محدوداً. وقد بلغت نسبة الزيادة عند الفترة (T3) نحو (4.55%) لصالح (H2)، بينما اتسع الفارق عند الفترة (T4) ليصل إلى (22.41%)، مما يشير إلى أن زيادة مستوى الهيومك أسيد أدت إلى تعزيز عمليات تحرر النتروجين في التربة.

كما يُلاحظ أن تركيز النتروجين المتاح بدأ بالانخفاض في الفترتين (T5) و(T6) في كلا المستويين، وذلك بسبب استهلاك جزء من النتروجين المتحرر من قبل الكتلة الميكروبية المتنامية أو دخوله في عمليات التثبيت الميكروبي والتحولات المرتبطة بدورة النتروجين في التربة (Havlin et al., 2017). كما قد يكون الانخفاض مرتبطًا جزئيًا بفقد بعض صور النتروجين في الترب الكلسية خلال فترة التحضين، سواء نتيجة التطاير أو بعض التحولات الحيوية المرتبطة بظروف الرطوبة داخل الأصص.

ويُفسَّر هذا السلوك بأن حمض الهيومك يعمل كمصدر عضوي يحسن الخصائص الكيميائية والبيولوجية للتربة، ويزيد من نشاط الأحياء الدقيقة المرتبطة بدورة النتروجين، مما يؤدي إلى رفع إتاحة النتروجين خلال فترات التحضين المتوسطة، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه (Ma et al., 2024) حول دور الأسمدة الهيومكية في تحسين كفاءة استخدام النتروجين وزيادة جاهزيته في التربة.

كما أن هذه النتائج تتوافق مع ما توصل إليه (العتبي وآخرون، 2018) من أن إضافة الهيومك أسيد تؤدي إلى زيادة النتروجين المتاح في التربة نتيجة تحسين خصائصها الكيميائية والحيوية وتنشيط العمليات الميكروبية المرتبطة بدورة النتروجين، مما ينعكس إيجابًا على كفاءة تمعدنه وجاهزيته للنبات.

الجدول (5). تأثير تفاعل فترات التحضين مع مستويات مختلفة من المحسن العضوي (الهيومك أسيد) في تحرر عنصر النتروجين.

فترة التحضين	معاملات المحسن العضوي الهيومك أسيد		
	H0	H1	H2
T1	6.50 ^{i}	7.10 ^{h}	7.50 ^{g}
T2	7.20 ^{h}	8.30 ^{f}	9.70 ^{e}
T3	7.80 ^{g}	13.20 ^{b}	13.80 ^{a}
T4	6.60 ^{i}	11.60 ^{d}	14.20 ^{a}
T5	6.40 ^{i}	9.40 ^{e}	12.60 ^{c}
T6	6.30 ^{i}	6.90 ^{h}	7.80 ^{g}
L.S.D 0.05	0.43		
C.V%	2.89		

المتوسطات المتبوعة بحروف مختلفة تختلف معنويًا عند مستوى احتمال 0.05 وفق اختبار LSD، بينما المتوسطات المتبوعة بالحرف نفسه لا تختلف معنويًا.

4.4. تأثير تفاعل فترات التحضين مع مستويات مختلفة من المحسن العضوي (الهيومك أسيد) في تحرر عنصر الفوسفور:

تشير نتائج الجدول (6) إلى أن إضافة المحسن العضوي الهيومك أسيد كان لها تأثير معنوي في زيادة متوسط الفوسفور المتاح في التربة مقارنة بمعاملة (H0)، حيث تفوقت معاملتا (H1) و(H2) على (H0) في جميع فترات التحضين. ويُلاحظ أن الفوسفور المتاح في معاملة (H0) بقي منخفضًا نسبيًا وتراوح بين (11.10)–(12.40) ppm عبر مختلف الفترات، مما يعكس محدودية تحرره في غياب الإضافة العضوية، ويتوافق ذلك مع طبيعة الترب الكلسية مرتفعة المحتوى من كربونات الكالسيوم، إذ تسهم أسطح $CaCO_3$ في زيادة ترسيب وادمصاص الفوسفور وتقليل جاهزيته في التربة.

أما عند المعاملة بالمستوى الأول من المحسن العضوي (H1) فقد ازداد متوسط الفوسفور المتاح تدريجيًا مع تقدم فترة التحضين، إذ ارتفع من (11.90) ppm عند (T1) إلى (15.20) ppm عند (T3)، ثم بلغ ذروته عند الفترة (T4) بمتوسط (18.90) ppm مقارنة بـ (H0) الذي سجل (12.20) ppm عند نفس الفترة، وبزيادة بلغت (54.92%). وبعد ذلك انخفض الفوسفور المتاح عند الفترة (T5) إلى (15.40) ppm ثم إلى (12.90) ppm عند (T6)، مما يدل على أن ذروة التأثير للمستوى الأول كانت عند الأسبوع الرابع من التحضين.

أما المستوى الثاني من الهيومك أسيد (H2) فقد أظهر تفوقًا واضحًا على كل من (H0) و(H1) في معظم فترات التحضين، حيث ازداد الفوسفور المتاح تدريجيًا من (12.50) ppm عند (T1) إلى (16.90) ppm عند (T3)، ثم (19.40) ppm عند (T4)، ليبلغ أعلى قيمة له عند الفترة (T5) بمقدار (23.80) ppm مقارنة بـ (H0) الذي سجل (11.90) ppm عند نفس الفترة، وبزيادة بلغت (100%)، وبزيادة قدرها (54.55%) مقارنة بـ (H1) عند نفس الفترة. ثم انخفض الفوسفور المتاح عند (T6) إلى (13.10) ppm، مما يدل على أن زيادة مستوى الإضافة أدت إلى إطالة فترة الذروة ورفع قيمة الفوسفور المتاح. وقد يكون سبب هذا الانخفاض هو إعادة تثبيت جزء من الفوسفور المتحرر نتيجة إعادة ترسيبه تدريجيًا على أسطح كربونات الكالسيوم أو دخوله في صور أقل ذوبانية مع تقدم فترة التحضين، إضافةً إلى احتمال استهلاك جزء منه بواسطة الأحياء الدقيقة ضمن عمليات التثبيت الميكروبي للفوسفور.

وعند المقارنة بين أعلى متوسط للفوسفور المتاح في المعاملتين، يتبين أن أعلى قيمة في (H2) ((23.80) ppm عند (T5)) تفوقت على أعلى قيمة في (H1) ((18.90) ppm عند (T4)) بفارق (4.90) ppm وبنسبة زيادة بلغت (25.93%)، مما يؤكد أن رفع مستوى الهيومك أسيد لا يزيد فقط من كمية الفوسفور المتحرر بل يمدد فترة تحرره ويؤخر زمن الذروة.

هذا السلوك يعود إلى التنافس بين المجاميع الفعالة في الهيومك أسيد مثل COO^- وOH^- مع أيونات الفوسفات على مواقع الادمصاص على سطح كربونات الكالسيوم، مما يؤدي إلى تقليل طاقة ربط الفوسفور

وزيادة جاهزيته (Ohno et al., 2005)، إضافة إلى دور المواد الدبالية في تغليف دقائق التربة ومعادن الكربونات وتقليل ترسيب فوسفات الكالسيوم (Ge et al., 2020). كما أن إطلاق الأحماض العضوية يسهم في زيادة ذوبانية المركبات الفوسفاتية (El-Sharkawy and Abdel Razzak, 2010)، وهو ما ينسجم مع الامتداد الزمني لتحرر الفوسفور وبلوغ الذروة المتأخرة في المستوى الأعلى (H2). كما قد تسهم المواد الدبالية في تنشيط بعض الأنشطة الإنزيمية المرتبطة بتمعدن الفوسفور العضوي، مما يساعد على زيادة إتاحة الفوسفور خلال فترات التحضين. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه (العتبي وآخرون، 2018) من أن إضافة الهيومك أسيد تؤدي إلى زيادة معنوية في جاهزية الفوسفور في التربة وتحسين ديناميكيته خلال فترات التحضين المختلفة.

الجدول (6). تأثير تفاعل فترات التحضين مع مستويات المحسن العضوي (الهيومك أسيد) في تحرر عنصر الفوسفور.

فترة التحضين	معاملات المحسن العضوي الهيومك أسيد		
	H0	H1	H2
T1	11.50 i	11.90 h	12.50 g
T2	12.10 h	13.50 f	14.20 e
T3	12.40 g	15.20 d	16.90 c
T4	12.20 h	18.90 b	19.40 b
T5	11.90 h	15.40 d	23.80 a
T6	11.10 i	12.90 g	13.10 f
L.S.D 0.05	0.56		
C.V%	2.34		

المتوسطات المتبوعة بحروف مختلفة تختلف معنويًا عند مستوى احتمال 0.05 وفق اختبار LSD، بينما المتوسطات المتبوعة بالحرف نفسه لا تختلف معنويًا.

5.4. تأثير تفاعل فترات التحضين مع مستويات المحسن العضوي (الهيومك أسيد) في تحرر عنصر البوتاسيوم:

تبين نتائج هذا البحث أنَّ إضافة المحسن العضوي الهيومك أسيد إلى التربة قد أثرت معنوياً في زيادة تركيز البوتاسيوم المتاح مقارنةً بمعاملة (H0)، إذ تفوقت جميع معاملات الهيومك أسيد على (H0) في مختلف فترات التحضين. ويُلاحظ أن استجابة البوتاسيوم للإضافة العضوية كانت أقل وضوحًا مقارنة بالفوسفور، وقد يكون سبب ذلك هو ارتفاع المحتوى الابتدائي للبوتاسيوم في التربة (378) ppm، إضافةً إلى ارتباط جزء كبير منه بالبنية المعدنية لمعادن الطين في التربة ذات المحتوى الطيني المرتفع (52%) طين، مما يجعل تحرره أبطأ نسبيًا وأكثر ارتباطًا بعمليات التجوية والتحلل المعدني التدريجي مقارنة بالعناصر الأكثر ديناميكية في التربة.

فقد أعطت المعاملة (H1) أعلى متوسط للبوتاسيوم المتاح عند الفترة (T4) إذ بلغ (450) ppm مقارنةً بـ (379) ppm لـ (H0) عند الفترة نفسها، وبزيادة معنوية قدرها (18.73%). أما المعاملة (H2) فقد أظهرت استجابة أعلى وأكثر وضوحًا مقارنة بـ (H0)، فقد سجلت أعلى قيم للبوتاسيوم المتاح عند الفترتين

(T4) و(T5) دون وجود فروق معنوية بينهما وفق التحليل الإحصائي، إذ بلغت القيمة عند الفترة (T5) نحو (495) ppm مقارنةً بـ (380) ppm لـ (H0)، وبزيادة معنوية بلغت (30.26%).

وعند المقارنة بين مستويي الهيومك أسيد، يتضح أن زيادة مستوى الإضافة أسهمت في تعزيز تحرر البوتاسيوم وإطالة فترة ذروته، إذ ازداد تحرر البوتاسيوم تدريجيًا في المعاملة (H1) حتى بلغ ذروته عند الفترة (T4) ثم بدأ بالانخفاض بعد ذلك، في حين استمر الارتفاع في المعاملة (H2) حتى الفترة (T5) قبل أن يبدأ بالانخفاض النسبي عند الفترة (T6)، مما يشير إلى سلوك تحرر تدريجي للبوتاسيوم تحت تأثير المستوى الأعلى من الهيومك أسيد.

ويفسر ذلك بأن الأحماض العضوية والمواد الدبالية لها دور في تعزيز عمليات التجوية والتحلل المعدني لبعض المعادن الحاوية على البوتاسيوم، إضافةً إلى دورها في زيادة السعة التبادلية الكاتيونية وتقليل تثبيت البوتاسيوم على أسطح معادن الطين، مما يزيد من تحرره إلى محلول التربة (Ampong et al., 2022; Song et al., 2010). كما تسهم المجموعات الكربوكسيلية والفينولية في تسهيل تبادل الكاتيونات مما قد يسهم في تقليل انتقال البوتاسيوم إلى الصور غير المتبادلة، مما يساعد في الحفاظ على جزء أكبر منه في الصورة المتاحة للنبات. ويُعد هذا التأثير مهمًا في الترب الكلسية والطينية، حيث يتحكم كل من المحتوى المرتفع من كربونات الكالسيوم والطين في ديناميكية البوتاسيوم وتوازن صوره المتبادلة وغير المتبادلة خلال فترات التحضين المختلفة.

كما يُحتمل أن استمرار زيادة البوتاسيوم خلال الفترات المتوسطة والمتأخرة من التحضين يرتبط باستمرار عمليات التحلل المعدني والتجوية التدريجية للمعادن الحاوية على البوتاسيوم مع الزمن تحت تأثير النشاط الحيوي والأحماض العضوية الناتجة عن تحلل المادة العضوية. وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه (الجميلي، 2012) من أن إضافة الأحماض العضوية تسهم في زيادة جاهزية البوتاسيوم نتيجة تقليل تثبيته على معادن الطين، كما تنسجم مع ما ذكره (Song et al., 2010) حول دور الأحماض العضوية الناتجة عن تحلل المادة العضوية في تقليل تثبيت البوتاسيوم وزيادة قابليته للتحرر مع الزمن.

هذه النتائج تتفق أيضًا مع ما توصل إليه (العامري، 2014) من أن نسبة البوتاسيوم المتاح تزداد بإضافة الهيومك أسيد، كذلك تتوافق هذه النتائج مع ما أورده (العتبي وآخرون، 2018) من أن زيادة مستويات الهيومك أسيد تؤدي إلى تعزيز تحرر البوتاسيوم مع تقدم فترة التحضين وبلوغ الذروة في الفترات المتوسطة إلى المتأخرة من التحضين تحت الظروف المخبرية.

الجدول (7). تأثير تفاعل فترات التحضين مع مستويات المحسن العضوي (الهيومك أسيد) والتداخل بينهما في تحرر عنصر البوتاسيوم.

فترة التحضين	معاملات المحسن العضوي الهيومك أسيد		
	H0	H1	H2
T1	380 d	424 c	403 c
T2	383 d	415 c	424 c
T3	381 d	429 b	438 b
T4	379 d	450 b	473 a
T5	380 d	423 c	495 a
T6	381 d	410 c	453 b
L.S.D 0.05	26.56		
C.V%	3.84		

المتوسطات المتبوعة بحروف مختلفة تختلف معنويًا عند مستوى احتمال 0.05 وفق اختبار LSD، بينما المتوسطات المتبوعة بالحرف نفسه لا تختلف معنويًا.

5. الاستنتاجات والتوصيات

1.5. الاستنتاجات

• أدت إضافة المحسن العضوي الهيومك أسيد إلى زيادة معنوية في إتاحة العناصر الكبرى (NPK) في التربة المدروسة تحت ظروف التحضين المختبري مقارنةً بمعاملة (H0)، وكان المستوى (H2) أكثر كفاءة في رفع جاهزية العناصر الغذائية، ولا سيما الفوسفور.

• أظهر تفاعل مستويات الهيومك أسيد مع فترات التحضين اختلافًا واضحًا في ديناميكية تحرر العناصر الغذائية، إذ بلغ النتروجين أعلى استجابة خلال الفترة (T3–T4)، في حين استمر تحرر الفوسفور والبوتاسيوم حتى الفترة (T5)، مما يشير إلى دور الهيومك أسيد في إطالة فترة توفر العناصر الغذائية في التربة.

• أظهر الفوسفور أعلى استجابة للإضافة العضوية مقارنةً ببقية العناصر، في حين كانت استجابة البوتاسيوم أقل وضوحًا نتيجة ارتفاع محتواه الابتدائي وارتباط جزء منه بمعادن التربة الطينية الكلسية.

2.5. التوصيات

• يُوصى باستخدام الهيومك أسيد بالمستوى (H2) في الترب الكلسية لتحسين جاهزية العناصر الكبرى (NPK)، ولا سيما الفوسفور، وزيادة فترة توفر العناصر الغذائية في التربة.

• يُنصح بإدماج الهيومك أسيد ضمن برامج التسميد المتكامل في الترب الكلسية بهدف تحسين كفاءة استخدام العناصر الغذائية وتقليل تثبيتها في التربة.

• يُوصى بإجراء تجارب حقلية طويلة الأمد لدراسة تأثير الهيومك أسيد في ديناميكية تحرر العناصر الغذائية وإنتاجية المحاصيل تحت الظروف الزراعية الحقيقية، ولا سيما في الترب الكلسية والطينية.

"تم استخدام أدوات مساعدة في التدقيق اللغوي وتحسين جودة النص، مع مراجعة جميع التعديلات من قبل المؤلفين لضمان دقة المصطلحات العلمية."

"تمت الاستعانة بأدوات ترجمة مدعومة بالذكاء الاصطناعي، مع مراجعة بشرية لضمان دقة المعنى والمصطلحات العلمية."

6. المراجع

1.6. المراجع العربية

1. جميلي، محمد عبيد سلوم. (2012). التأثير المتداخل للرش بالحامضين الدباليين (الهيومك والفولفيك) وطريقة التسميد البوتاسي في نمو وحاصل البطاطا (أطروحة دكتوراه غير منشورة). كلية الزراعة، جامعة بغداد.
2. عامري، أمير صادق عبيد. (2014). تأثير الأسمدة الورقية في نمو وحاصل الباقلاء (*Vicia faba L.*) (رسالة ماجستير غير منشورة). كلية الزراعة، جامعة بابل، العراق.
3. عتبي، علاء خضير جبارة؛ سعد، تركي مفتن؛ هلول، رحيم علوان. (2018). تأثير إضافة حمض الهيومك والفولفيك في إتاحة العناصر الكبرى NPK في التربة وفي وزن وعدد العقد الجذرية وحاصل نبات الباقلاء (*Vicia faba L.*). مجلة المثنى للعلوم الزراعية، 6(2)، 20–25.

2.6. المراجع الأجنبية

1. Ampong, K.; Thilakaranthna, M.S.; Gorim, L.Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621.
2. Buscot, F.; Varma, A. (Eds.). (2005). *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. Soil Biology, Vol. 3. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
3. El-Sharkawy, G.A.; Abdel-Razzak, H.S. (2010). Response of cabbage plants (*Brassica oleraceae* var. *capitata* L.) to fertilization with chicken manure, mineral nitrogen fertilizer and humic acid. *Alexandria Science Exchange Journal*, 31, 416–432.
4. Francioni, M.; Palmieri, M.; Fiorentini, M.; Deligios, P.A.; Monaci, E.; Vischetti, C.; Boaretto Rossa, Ü.; Trozzo, L.; Bianchini, M.; Rivosecchi, C.; Ledda, L.; Orsini, R.; Santilocchi, R.; D'Ottavio, P. (2024). Scarcity of P-fertilisers: Humic-complexed phosphate as an adaptive solution for wheat and maize under rainfed conditions. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 102778.
5. Ge, X.; Wang, L.; Zhang, W.; Putnis, C.V. (2020). Molecular understanding of humic acid-limited phosphate precipitation and transformation. *Environmental Science & Technology*, 54(1), 207–215.

6. Havlin, J.L.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D. (2017). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 8th ed. Pearson Education Limited, USA.
7. Jing, J.; Zhang, S.; Yuan, L.; Li, Y.; Chen, C.; Zhao, B. (2022). Humic acid modified by being incorporated into phosphate fertilizer increases its potency in stimulating maize growth and nutrient absorption. *Frontiers in Plant Science*, 13, 885156.
8. Ma, Y.; Cheng, X.; Zhang, Y. (2024). The impact of humic acid fertilizers on crop yield and nitrogen use efficiency: A meta-analysis. *Agronomy*, 14(12), 2763.
9. Ohno, T.; Griffin, T.S.; Liebman, M.; Porter, G.A. (2005). Chemical characterization of soil phosphorus and organic matter in different cropping systems in Maine, U.S.A. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(4), 625–634.
10. Qetrani, S.; Bouray, M.; Oukarroum, A. (2024). Phosphorus mobilization and acquisition in the alkaline-calcareous rhizosphere: A synthesis. *Rhizosphere*, 30, 100907.
11. Song, S.; Lehne, P.; Le, J.; Ge, T.; Huang, D. (2010). Yield, fruit quality and nitrogen uptake of organically and conventionally grown muskmelon with different inputs of nitrogen, phosphorus and potassium. *Journal of Plant Nutrition*, 33, 130–141.
12. Vikram, N.; Sagar, A.; Gangwar, C.; Husain, R.; Kewat, R.N. (2022). Properties of humic acid substances and their effect in soil quality and plant health. In: Hasanuzzaman, M. (Ed.), *Humus and Humic Substances - Recent Advances*. IntechOpen, London, UK, pp. 1–14. DOI: 10.5772/intechopen.105803.
13. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37(1), 29–38.
14. Zhang, Z.; Ma, Y.; Tian, Y.; Liu, P.; Zhang, M.; Liu, Z.; Zhu, X.; Wang, C.; Zhuang, Y.; Zhang, W.; Feng, Z.; Wang, J.; Chen, Q. (2024). Co-application of coated phosphate fertilizer and humic acid for wheat production and soil nutrient transport. *Agronomy*, 14(8), 1621.