Effect of Nitrate and Ammonium Nutrition on tomato growth, Water Nutrients acquisition and pH changes in the Nutrient Solution

Bushra Al-ajoze*
Dr. Ghiath Alloush**

(Received 7 / 9 / 2022. Accepted 30 / 10 /2022)

□ ABSTRACT □

A hydroponic experiment was conducted in a greenhouse during (April-May 2021) at Tishreen University using Nutrient Culture System. The study consisted of different (NO_3^-:NH_4^+) ratios (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100). The experiment lasted for 24 days. Tomato plant growth, pH levels, water absorption and its relation to nutrient acquisition ($H_2PO_4^-$, K^+, NH_4^+, NO_3^-) were measured twice a week based on nutrient depletion from the nutrient solution.

Growth of tomato plants was similar at 100:0, 75:25 and 50:50 (NO_3^-:NH_4^+). A high toxicity effects were recorded at high ammonium concentration in the nutrient solution, especially in 100% ratios. Results showed that shoot dry weight decreased by 36-75.5% at 75% and 100% NH_4, respectively. The root dry weight decreased by 70.3% at the 100% NH_4 treatment.

When Nitrate was the sole nitrogen source, there was an increase in the cumulative absorption of water, NO_3^-, P and K, and decreased with introducing NH_4 to the nutrient solution. It seems that nitrate can regulate NH_4 absorption when both are present in the nutrient solution.

Different forms of nitrogen influenced pH changes (set to pH=6). The pH increased above 7 in 100:0 and 75:25 (NO_3^-:NH_4^+) treatments, while decreased to 4.5 in the 25:75 treatment, and to 3 in the 0:100 treatment. This was due to the effect of nitr[1]ogen form (NO_3^-:NH_4^+) on the release of OH^- \H^+ in order to cation/anion balance in plant uptakes.

Nutrients uptake were better in nitrate treatment especially in 100% and 75% nitrate addition. Water uptake was closely correlated to nutrients uptake, especially nitrate and potassium, which indicate that water uptake is the main driving force for nutrient absorption, which in turn enhances plant growth.

Water consumption increased with the increase of nitrate concentrations, especially in the 100:0 and 75:25 (NO_3^-:NH_4^+) treatments. Plants grown in NH_4 showed a significant decrease in water consumption regardless of NH_4 concentration.

Different forms of nitrogen influenced pH changes (set to pH=6). The pH increased above 7 in 100:0 and 75:25 (NO_3^-:NH_4^+) treatments, while decreased to 4.5 in the 25:75 treatment, and to 3 in the 0:100 treatment. And it seems like tomato plants prefer ammonium over nitrate when they are in equal proportions, this is shown by the low pH detected. This was due to the effect of nitrogen form (NO_3^-:NH_4^+) on the cation/anion uptake balance in plant.

Key words: Hydroponics, tomatoes, nitrogen nutrition, water and nutrient absorption, pH changes.

* **pstgraduate student , Agricultural Engineer at Faculty of Agricultural Engineering University of Tishreen - Lattakia Research Center Email: bushra.alajoze@tishreen.edu.sy**
****Professor - Department of Soil and Water Sciences , Faculty of Agricultural Engineering University of Tishreen - Email: ghiathalloush961@gmail.com**

تأثير التغذية النتراتية والأمونياكية في نمو نبات البندورة وامتصاصه للماء والعناصر الغذائية وتبدلات الـ pH في المحلول الغذائي

بشرى العجوز *

د. غياث علوش **

(تاريخ الإيداع 7 / 9 / 2022. قبل للنشر في 30 / 10 / 2022)

□ ملخّص □

تم تنفيذ البحث خلال شهري نيسان–أيار لعام 2021 في جامعة تشرين، في بيت بلاستيكي على نبات البندورة (صنف بستونا F1) تمت الزراعة ضمن محاليل غذائية، وبوجود نسب متدرجة من النترات:الأمونيوم (0:100، 25:75، 50:50، 75:25، و 100:0). امتدت التجربة لمدة 24 يوماً تم خلالها تتبع النمو، تغيرات الـ pH في المحلول الغذائي، امتصاص الماء وعلاقته بامتصاص العناصر الغذائية (P, K, NH_4^+, NO_3^-) وذلك بمعدل مرتين أسبوعياً، بالاعتماد على فرق التراكيز في المحلول الغذائي.

تشير النتائج إلى أن نمو النباتات في المعاملات 0:100 و 25:75 و 50:50 نترات:أمونيوم كان بشكل متقارب مع تميز بسيط لمعدلات النمو في معاملة 50% نترات بعد 22 يوم من النمو. وقد خفضت زيادة نسبة الأمونيوم في المحلول الغذائي إلى 75% و100% من معدلات نمو نباتات البندورة وبخاصة في المعاملة 100% NH_4 التي أبدت علامات تسمم على النبات، وانخفاض في الوزن الخضري الجاف بمعدل 36 و 75.5% في معاملتي 75:25 و 100:0 (نترات:أمونيوم) على التوالي، وبمعدل 70.3% في الوزن الجذري الجاف لمعاملة 100:0.

حققت النباتات المزروعة في معاملة 100% نترات أفضل امتصاص تراكمي لكل من الماء، والنترات، والبوتاسيوم والفوسفور، ومع زيادة تركيز الأمونيوم في المحلول المغذي وبدءاً من النسبة 25:75 (نترات:أمونيوم) انخفضت الكميات الممتصة منها. كما تفوقت معاملات التغذية النتراتية الكاملة 100% في امتصاص العناصر الغذائية وخاصة بالنسبة للبوتاسيوم بالمقارنة مع المعاملتين 75:25 و 100:0 نترات/أمونيوم. وارتبط امتصاص الماء بصلة وثيقة مع امتصاص كلاً من النترات والبوتاسيوم والفوسفور، مما يشير إلى أن امتصاص الماء يواكب امتصاص العناصر الغذائية والعكس صحيح، ومن ثم النمو. فلقد ازداد استهلاك المياه في المعاملتين 0:100 و 25:75 نترات:أمونيوم، بينما أظهرت النباتات التي تتغذى على الأمونيوم انخفاضاً كبيراً في استهلاك الماء بغض النظر عن تركيز الأمونيوم. كما يبدو أن لوجود النترات إلى جانب الأمونيوم دور في تنظيم امتصاص كل من الماء والأمونيوم.

عكست التغذية الآزوتية تغيرات الـ pH في المحلول الغذائي (ضبط المحلول المغذي على pH=6)، إذ ارتفع pH المحلول في المعاملتين 100 و 75% نترات إلى ما فوق الـ 7 وانخفض في المعاملة 75% NH_4 إلى حدود الـ 4.5 وإلى حدود الـ 3 في المعاملة 100% NH_4. ويعود ذلك إلى تأثير الشكل الآزوتي الممتص (نترات/أمونيوم) في التوازن الكاتيوني/الأنيوني للعناصر الممتصة من خلال تحرير شوارد الهيدروكسيل عند امتصاص النترات وشوارد الهيدروجين عند امتصاص الأمونيوم.

الكلمات المفتاحية: الزراعة المائية، البندورة، التغذية الآزوتية، امتصاص الماء والعناصر الغذائية، تغيرات الـ pH.

* **طالبة ماجستير في قسم علوم التربة والمياه – كلية الزراعة –جامعة تشرين bushra.alajoze@tishreen.edu.sy**

أستاذ في قسم عموم التربة والمياه – كلية الزراعة – جامعة تشرين ghiathalloush961@gmail.com

مقدمة:

يعد الآزوت أحد العناصر المعدنية التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة وهو الذي يحد في أغلب الأحيان من نمو وإنتاجية المحاصيل (Carrillo *et al.*, 2021)، حيث يمتص النبات الآزوت الموجود في وسط النمو عن طريق الجذور بشكليه غير العضوي (NH_4^+, NO_3^-)، والعضوي (مثل اليوريا والأحماض الأمينية والببتيدات) Carrillo *et* (Hachiya *et al.*, 2017; *al.*, 2021). ركز الباحثون على النترات والأمونيوم من بين مصادر الآزوت المختلفة لأنها غالباً ما تكون متواجدة في التربة بمستويات أعلى بكثير من المصادر الأخرى، بالإضافة إلى كون الآزوت العنصر الوحيد الذي يمتصه النبات بشكليه الكاتيوني والأنيوني، وعلى اعتبار أن الآزوت أحد العناصر الغذائية الكبرى التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة يكون لنسبة امتصاص (NH_4^+:NO_3^-) تأثير قوي على التوازن الأنيوني/ الكاتيوني، ويؤثر توافر الآزوت في إنتاجية النباتات، لذلك فمن المهم أن نفهم كيفية التفاعل بين النترات والأمونيوم؟ وكيف يؤثر ذلك على امتصاص الآزوت على المستويات المورفولوجية والفسيولوجية والجزيئية؟ (Hachiya *et al.*, 2017).

يمكن لتغير المناخ في العقود القادمة أن يجبر المزارعين على التكيف مع بيئة أكثر جفافا وأفقر بالمغذيات المعدنيه (Araus *et al.,* 2020)، حيث تشير الدراسات إلى وجود تفاعل قوي بين العناصر الغذائية وحالة الماء، إذ يكون امتصاص العناصر الغذائية مصحوباً بامتصاص الماء (Maurel *et al.*, 2015)، ويعتبر فهم التفاعل بين الأكوابورينات (Aquaporins AQP) (بروتينات متواجدة في الغشاء البلازمي تمتص الماء والمغذيات غير المشحونة) والمغذيات المعدنية أساسياً لتحسين كفاءة امتصاص الماء والعناصر الغذائية، فقد ذكرت العديد من الدراسات أنه من المنطقي اقتراح وجود علاقة بين عملية النتح ووظيفة الأكوابورينات في الأجزاء الخضرية والجذرية (Ding *et al.,* 2018 ; Plett *et al.*, 2020) .

مضى أكثر من نصف قرن منذ أن اقترح Barber (1962) لأول مرة أن تدفق الماء ضروري لامتصاص العناصر الغذائية، ولا يزال دورها في تنظيم تدفق الماء غير مفهوم (Raven, 2008 ; Matimati *et al.*, 2014; Plett *et al.*, 2020)، وتشير الأدلة إلى دور النتح في الضغط الجذري وحركة الماء والمغذيات الذائبة إلى سطح الجذور لتنتقل إلى الأجزاء الخضرية مع تيار النتح الصاعد (Cramer *et al.*, 2009)، وقد بين هؤلاء وجود علاقة قوية بين حركة الماء في التربة وحركة الآزوت إذ يمكن لمزيد من النترات أن تصل إلى سطوح الجذور مع زيادة إجمالي تدفق الماء نحو النبات عند استشعارها لوجود النترات في الوسط. على الرغم من نفيهم لدور النتح في امتصاص العناصر الغذائية في الزراعة المائية في دراسة سابقة في العام (2008) ، وهو استنتاج يبقى على الباحثين التأكد منه!

تعتمد معظم النباتات على نقل الماء لتزويدها بالأيونات، أي بمعنى آخر يكون امتصاص الأيونات في جميع الأنواع مرتبط بالنقل المائي (Hylmo, 1953)، ويشير Wright (1939) إلى أن النباتات ذات معدل النتح العالي قد امتصت كمية أكبر من المعادن، ومع ذلك يقترح الباحث أنه في ظل وجود مغذيات كافية في التربة فإن الامتصاص سيتم وفقاً لقوانين الانتشار دون الحاجة إلى النتح. تشير النتائج التي حصل عليها Wright حول تحديد تأثير النتح على امتصاص الأيونات المعدنية (P,N,Ca,K) من خلال تحليل المحاليل التي نمت فيها نباتات الفول، وفي جميع الحالات، يكون معدل النتح الأعلى مصحوباً بزيادة امتصاص الأيونات المختلفة. لذلك فمن المنطقي وفي ظل المعطيات السابقة القول أن للنتح دوراً في زيادة امتصاص المغذيات، والتي بدورها مرتبطة بامتصاص الماء، ولكن يبقى السؤال: هل ستؤدي زيادة امتصاص العناصر الغذائية إلى زيادة امتصاص الماء؟

ترتبط عملية امتصاص النترات وتمثيلها ارتباطاً وثيقاً باستخدام الماء الذي تنظمه AQP، فلقد وجد Wang وآخرون (2001) أن الإمداد بالنترات قد نظم العديد من جينات AQP، ولوحظ أيضاً انخفاض في التعبير عن AQP عند انخفاض تركيز النترات الخارجية، كما انخفض محتوى المجموعين الخضري والجذري من النترات مما يشير إلى أن الإمداد بالنترات كان مرتبطاً بشكل إيجابي بنشاط AQP، لقد ذكر Wang وآخرون (2016) أن الإمداد بالنترات قد نظم العديد من جينات AQP في نبات البندورة، يمكن لهذه الاستنتاجات أن تفسر النتائج التي حصل عليها Souri) (and Dehnavard, 2017 في دراستهما حول تأثير أشكال الآزوت (الأمونيوم أو النترات) في استهلاك نباتات البندورة للماء، فقد أظهرت النباتات أنماطًا مختلفة من النتح واستهلاك الماء، حيث زاد استهلاك الماء مع زيادة تراكيز النترات، بينما أظهرت النباتات التي تتغذى على الأمونيوم انخفاضاً كبيراً في استهلاك الماء بغض النظر عن تركيز الأمونيوم، وأدى الإمداد بالنترات إلى زيادة معنوية في معدل امتصاص النترات والماء من قبل جذور نباتي الذرة والفاصولياء (Guo *et al.*, 2007; Gorska *et al.*, 2008)، ووجد Gorska وآخرون (2008) أن الزيادة في معدلات امتصاص الجذر للماء قد ارتبطت بالإمداد العالي من النترات (5mM) في الخيار والبندورة.

تؤدي التغذية الأمونياكية إلى انخفاض امتصاص الماء والقدرة الأسموزية للجذور، كما تقلل من جهد الماء في أوراق نباتات البندورة النامية في نظام زراعة مائي (Quebedeaux and Ozbun, 1973)، ويمكن عكس هذا التأثير باستخدام النترات على الرغم من أن التعافي قد يحتاج لفترة طويلة (Ding *et al.*, 2018)، ولوحظ في تجارب الزراعة المحمية أن النباتات التي تنمو بوجود الأمونيوم كمصدر وحيد للآزوت تذبل بشدة في فترات النتح العالي مما يشير إلى أن الأمونيوم يتداخل مع امتصاص وحركة الماء في نبات البندورة (Quebedeaux and Ozbun, 1973). وينخفض معدل امتصاصها للماء مع زيادة نمو النبات الذي يتأثر بمصدر الآزوت، إذ يسبب نقل النبات من محلول تغذية نتراتية إلى محلول تغذية أمونياكية انخفاض سريع في معدل امتصاص الماء، وقد عزي ذلك إلى خلل في عمل الثغور، أو إلى انخفاض في الجهد الأسموزي للجذور في ظل التغذية الأمونياكية، يتضح من هذه الدراسة أن الأمونيوم يمكن أن يغير الآليات الفسيولوجية المشاركة في امتصاص وحركة الماء وقد يكون عاملاً متحكماً يؤدي إلى اضطرابات فسيولوجية ومورفولوجية تحد من استخدامه كمصدر رئيس للآزوت في المحلول الغذائي (Quebedeaux and Ozbun, 1973)، ووجد أن شكل ومستويات الأمونيوم المتاحة تؤثر على امتصاص الجذور للماء وفق آليتين:

- تداخل مباشر مع امتصاص الماء وهي عملية يمكن عكسها بسهولة بواسطة النترات.
- يسبب تغيرات تشريحية وفسيولوجية تتطلب وقتاً طويلاً للتعافي.

بالمقابل تشير نتائج (Wang *et al.*, 2016) إلى وجود ارتباط محتمل بين امتصاص الأمونيوم وامتصاص الماء الذي يتم تنظيمه بواسطة الأكوابورينات، إذ زاد الأمونيوم من قدرة نبات الأرز على تحمل الجفاف عن طريق تحفيز التعبير الجيني ونشاط الأكوابورينات مقارنة بتلك المغذاة بالنترات. يدل اختلاف النتائج المقدمة أن تنظيم التعبير عن AQP يكون بوجود الشكل الآزوتي المفضل للنبات، أي أن الأمونيوم والنترات ينظمان امتصاص الماء والتعبير عن AQP ونشاطها في الأنواع النباتية المختلفة بشكل تفاضلي.

إن لوجود الفوسفور بكميات كافية دوراً في تسريع تعافي نباتات الذرة المعرضة لجهد مائي مقارنة مع النباتات التي لم تغذى بالفوسفور، أي أن الفوسفور يزيد من التعبير عن AQP ويحسن مقدرة النبات على امتصاص الماء بعد زوال الإجهاد المائي (Shangguan *et al.*, 2005)، وظهر أيضا على بذور عباد الشمس المغذاة بالفوسفور المشع

(P^{32}) علاقة إيجابية بين معدل النتح وامتصاص الفوسفور وانتقاله إلى أوراق النباتات، أي ترتبط معدلات النتح الأعلى بكميات أكبر من الفوسفور في الأوراق (Kenneth and Nancy, 1955).

أما البوتاسيوم فهو الكاتيون الأكثر وفرة في النباتات الراقية، ويعمل على تنظيم الضغط الأسموزي ومقاومة الإجهاد المائي (Maurel *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2016)، ونظراً لكونه منظم أسموزي يصاحب امتصاصه تدفق للماء عبر الأكوابورينات أي هناك ارتباط إيجابي بين امتصاص البوتاسيوم والماء، وقد ذكرت دراسات عديدة (Maathuis *et al.*, 2003 ; Guo *et al.*, 2007) أن للبوتاسيوم دوراً في تحفيز امتصاص الماء، وقد تعمل AQP وقنوات البوتاسيوم كمنظم أسموزي يحافظ على أسموزية العصارة الخلوية وتزيد من تحمل النبات للجفاف والإجهادات الأخرى.

أهمية البحث وأهدافه:

غالباً ما تتواجد شوارد الأمونيوم بالإضافة إلى النترات في محلول التربة، ولا يمكن التكهن بتركيز الأمونيوم أو نسبته إلى الآزوت الكلي المعدني في التربة لأن ذلك خاضع للنشاط الحيوي ودرجة تهوية التربة، لذلك كان من الصعوبة بمكان تحديد النسبة المثلى للأمونيوم/النترات عند إجراء الدراسات تحت ظروف التربة. لم تستخدم الدراسات السابقة التي تتبعت امتصاص الماء من قبل النباتات وجود نسب مختلفة من النترات والأمونيوم في المحاليل الغذائية، كما أن تتبع امتصاص الماء خلال أزمنة قصيرة لا يعطي المنظور الحقيقي لعلاقات امتصاص الماء والعناصر الغذائية. لذلك يسلط هذا البحث الضوء على علاقة امتصاص الماء والعناصر الغذائية خلال مرحلة عمرية لنباتات البندورة من مرحلة البادرات إلى مرحلة ظهور العناقيد الزهرية (24 يوم)، لذلك هدفت التجربة إلى الإجابة عن مجموعة من التساؤلات:

1. تأثير نسب النترات/الأمونيوم في معدلات النمو اليومية وامتصاص كلا الشكلين المعدنيين من الآزوت.
2. تأثير نسب النترات/الأمونيوم في معدلات امتصاص الماء وعلاقتها بامتصاص العناصر الغذائية.
3. تأثير شكل التغذية الآزوتية في تغيرات pH الوسط، وتأثير ذلك في امتصاص العناصر الغذائية.

طرائق البحث ومواده:

المادة النباتية:

أجريت التجربة على هجين البندورة بستونا (هجين الجيل الأول F1) المزروع على نطاق واسع في البيوت المحمية في الساحل السوري وهو صنف هولندي. تم الحصول على الشتول بورقتين حقيقيتين مزروعة في صوان فلينية في وسط تورب.

طريقة الزراعة:

نقلت شتول البندورة (*Lycopersicon esculentum* L.) ذات الأوزان الطازجة المتقاربة (2.97 ± 0.42)غ بعد تنظيفها من التورب العالق على جذورها إلى ثقوب في أغطية فلينية مدعمة بشرائط من الإسفنج تضمن تدلي جذورها في أحواض بلاستيكية (عددها 10، حوضين لكل معاملة)، يتسع كل منها لـ 16 ليتر من المحلول الغذائي، وتم تزويدها بالهواء بشكل مستمر بواسطة مضخات.

خضعت الشتول (12 في كل حوض) لفترة حضانة (7 أيام) للسماح للبادرات بتشكيل جذور جديدة، ولحماية الشتول من الذبول نتيجة التعرض إلى الضغط الأسموزي العالي المترافق مع عملية النقل إلى المحاليل الغذائية، فقد تمت زيادة

تراكيز العناصر الغذائية بالتدريج من $\frac{1}{5}$ إلى $\frac{1}{2}$ إلى كامل التركيز خلال مدة أسبوع لمنع الصدمة الأسموزية. تدعى هذه الفترة الزمنية بفترة تحضير الشتول Preculturing.

في بداية التجربة (بعد 7 أيام من التحضين) الزمن 0، تم الإبقاء على 8 شتول متجانسة حجماً ووزناً في كل حوض ووضعت المحاليل الغذائية الكاملة (16 ليتر) حيث احتوت المعاملات على النسب التالية من NH_4^+:NO_3^- (0:100، 25:75، 50:50، 75:25، 100:0). تم تحضير المحاليل الغذائية من الأملاح التالية (Alloush, 2003): $Ca(NO_3)_2$ 1.5 *mM* ، KH_2PO_4 1 *mM* ؛ $MgSO_4$ 0.5 *mM*. أما بالنسبة للعناصر الصغرى B, Mo, Cu, Zn, Mn, Fe فقد تم تزويدها وفقاً لتركيب محلول Long Ashton (Hewitt, 1966). تم توفير الأمونيوم على شكل $(NH_4)_2SO_4$ وتم تعويض الكالسيوم في المعاملات التي تحتوي على الأمونيوم بإضافة كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$. احتوت جميع المعاملات على تراكيز N و Ca بمعدل 42 و 60 مغ/ليتر. ضبطت درجة pH المحاليل الغذائية لكافة معاملات التجربة إلى 6 باستخدام محلول مخفف من HCl 1*N*. تمت التهوية بشكل مستمر طوال التجربة، وبالتالي احتوت المحاليل الغذائية على التراكيز التالية (جدول 1):

جدول 1: تركيز العناصر الغذائية الأساسية في المحلول الغذائي الكامل.

العنصر الغذائي	التركيز (مغ/ليتر)
N	42
P	31
K	39
Ca	60
Mg	12
Fe	2.8

تم تحضير المحاليل الغذائية باستخدام ماء منزوع الشوارد، وضعت الأحواض في البيت البلاستيكي على طاولة ترتفع 1 م عن سطح الأرض. وذلك في الفترةما بين 2021/4/17 ولغاية 2021/5/8.

كما احتوت التجربة على شاهد عبارة عن حوضين وضعا في منتصف التجربة يحوي كل منهما 16 ليتر ماء، وتمت تغطيتهما بألواح الفلين وسدت الثقوب بأشرطة الإسفنج، وتمت التهوية كما في أحواض معاملات التجربة وذلك لقياس التبخر. تم لاحقاً طرح قيم التبخر من قيم الماء المفقود من أحواض التجربة والتي تعبر عن الماء الممتص من قبل نباتات البندورة.

معاملات التجربة:

تضمنت التجربة خمسة معاملات وفق الآتي:

نسبة (NH4:NO3)	تركيز أشكال الآزوت مغ/ل
0:100	NH_4 0 + NO_3 42
25:75	NH_4 10.5 + NO_3 31.5
50:50	NH_4 21 + NO_3 21
75:25	NH_4 31.5 + NO_3 10.5
100: 0	NH_4 42 + NO_3 0

العناية بالتجربة والقياسات:

تم تبديل المحلول الغذائي في الأحواض مرتين أسبوعياً، بوضع محلول غذائي جديد مع ضبط الـ pH إلى 6 وأخذ عينة 50 مل لقياس تركيز العناصر الغذائية في بداية دورة النمو. أما المحلول القديم فتم قياس الماء المفقود بالنتح/تبخر بالوزن على ميزان دقيق، وأخذ منه 1 ليتر لقياس درجة الـ pH والمعايرة الرجعية بمحلول HCl أو NaOH 0.01) N) إلى درجة الـ pH = 6، وهي تعادل كمية شوارد OH^-/H^+ التي أفرزتها جذور النبات إلى المحلول الغذائي، كما تم قياس تراكيز العناصر الغذائية NO_3، NH_4، K، و الـ P في محاليل المعاملات الخمسة، تم قياس النترات على جهاز الطيف الضوئي عند طول موجة 210 nm، والأمونيوم بطريقة برثلوت باستخدام جهاز Spectrophotometer عند طول موجة 660 nm، والفوسفور بطريقة الموليبدنيوم الأزرق، والبوتاسيوم باستخدام جهاز اللهب (Alloush, 2003).

تم في كل زمن تبديل المحلول الغذائي وتتبع التغيرات في الوزن الطازج للنباتات في جميع المعاملات وذلك بأخذ النباتات في كل معاملة كل على حده (كل بحسب الأرقام المعطاة لها)، وتمت إزاحة الماء العالق على الجذور بالتجفيف باستخدام محارم خاصة، وتم تسجيل الوزن الطازج لكامل النبات باستخدام ميزان رقمي. تمت هذه العملية بسرعة ما بين عملية تبديل المحلول الغذائي.

الحسابات والتحليل الإحصائي:

تم حساب الكمية الممتصة من الماء بفارق وزن المحلول الغذائي (16 ليتر) في بداية كل دورة قياس ووزنه في نهاية دورة القياس. كما وتم حساب الكمية الممتصة من العناصر الغذائية بقياس تركيز العنصر في بداية ونهاية كل دورة قياس، ومن ثم أخذ جداء فرق التركيز بحجم المحلول مقسوماً على عدد النباتات في الحوض.

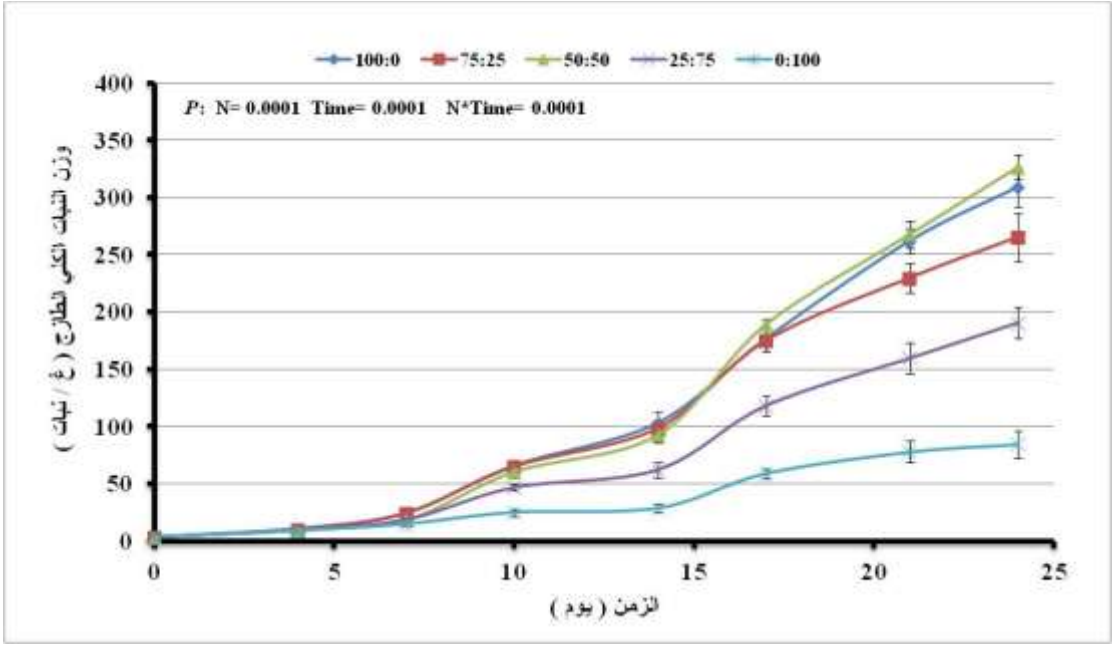
خضعت معطيات التجربة لتحليل التباين العام (ANOVA) على أساس أن مصدر التباين هو تركيز النترات في المحلول (NO_3^-)، كما وتم أيضاً حساب فصل المتوسطات وتحديد قيمة أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية 5% (Little and Hills, 1978) وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي SAS (SAS Institute, 1999).

النتائج والمناقشة:

أولاً: تغيرات النمو:

بدأ النمو بطيئاً في جميع المعاملات حتى اليوم السابع من عمر التجربة دون وجود فروقات معنوية في معدل النمو بين المعاملات (شكل 1)، في اليوم العاشر، ظهرت التأثيرات السلبية لوجود الأمونيوم في المحلول الغذائي بتركيز 75 و 100 % أمونيوم (المعاملتين 75:25 و100:0 NO_3^-:NH_4^+)، وقد استمرت هاتين المعاملتين بنمو أقل معنوياً مقارنة بالمعاملات التي احتوت على نسبة أقل من الأمونيوم في المحلول الغذائي أقل من 50%. كانت معدلات النمو في المعاملتين 25:75 و 50:50 (NH_4^+:NO_3^-) متقاربة مع معاملة الـ 100% نترات حتى اليوم 17، ومن ثم انخفض النمو في المعاملة 25:75 (NH_4^+:NO_3^-) ليكون أقل معنوياً من المعاملتين 100 و 50% نترات في المحلول الغذائي حتى نهاية التجربة (24 يوم)، أي أن وجود نسبة متساوية من النترات والأمونيوم في المحلول الغذائي كان لها تأثير إيجابي في معدلات النمو لكامل النبات، وتتوافق هذه المشاهدات على تأثير الأمونيوم في نمو نباتات البندورة مع Liu وآخرون (2017)، إلا أن تأثير الأمونيوم في المستويين 75 و 100% أمونيوم تحت ظروف تجربتنا كان أعلى قليلاً مقارنة بمشاهداتهم. وقد بلغ معدل الانخفاض في وزن نبات البندورة الطازج لنبات البندورة في اليوم 24 (نهاية التجربة) بمعدل 14.15 و38.36 و72.74 % في المعاملات 25 و75 و100% أمونيوم في المحلول الغذائي، ويشير انخفاض

معدلات النمو إلى تدهور في حالة النبات ونموه نتيجة لوجود الأمونيوم في المحلول الغذائي بتراكيز مرتفعة. كما توقف النمو تقريباً في معاملة الأمونيوم الكاملة (100:0 نترات:أمونيوم)، والذي يعزى إلى وصول الـ pH إلى 3.5 مما تأثير على ثباتية الأغشية البلازمية وتدفق H^+ (Influx) إلى الخلايا الجذرية (Brix *et al*., 2002).



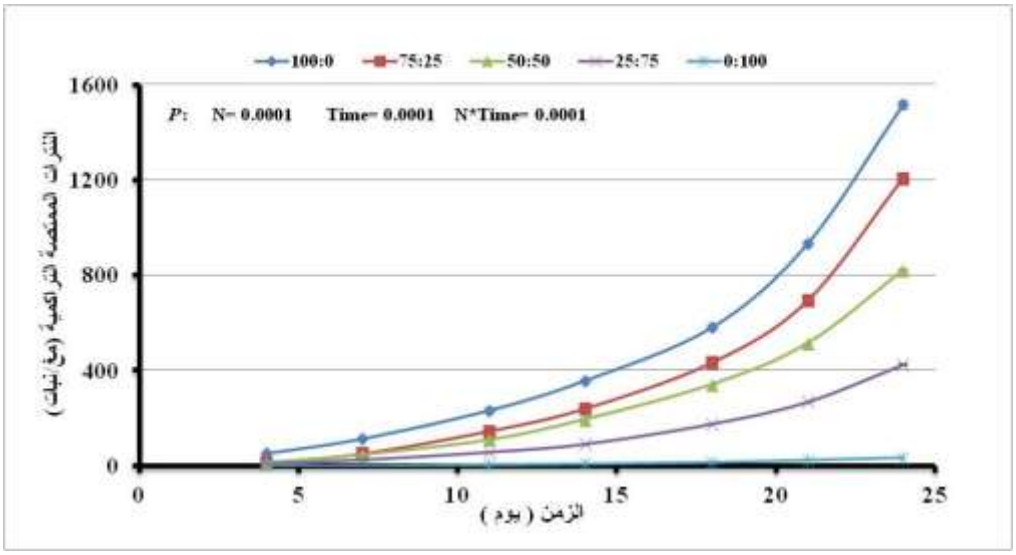
الشكل 1: حركية النمو الخضري تبعاً للزمن بتأثير نسبة أشكال (NO_3^-:NH_4^+) في المحلول الغذائي. البارات هي الانحراف المعياري.

وقد ظهرت أعراض السمية على نباتات البندورة عند وجود الأمونيوم بنسب مرتفعة وبخاصة في المعاملة 100% أمونيوم (المعاملة 100:0 (NO_3^-:NH_4^+))، فكانت النباتات وكما لاحظ (Kirkby and Mengel, 1967) قصيرة ذات أوراق ضيقة صفراء ملتفة، ومجموع جذري قصير ضعيف التطور متهدم مبقع بلون داكن سهل التقطع باليد عند التعامل معه، إذ تعتبر البندورة من النباتات الحساسة إلى متوسطة الحساسية للأمونيوم في وسط النمو (Horchani *et al*., 2001)، وبخاصة في ظروف الزراعة المائية، ولا يوجد آلية واحدة لتفسير سبب سمية الأمونيوم ولكن التفسيرات الرئيسية تشمل استنزاف إمدادات الكربون بسبب متطلبات تمثيل الأمونيوم في الجذور، وانخفاض pH الرايزوسفير، وحدوث خلل في امتصاص الكاتيونات (Balkos *et al*., 2010). فقد جعل فقدان الطاقة نتيجة حركة الأمونيوم غير المجدية من وإلى الجذور عبر الأغشية الجذرية وخلايا الأوراق النبات يتحمل عبء الحفاظ على تدفق ثابت للأمونيوم وإزاحته الكاتيونات الموجودة في النبات (Britto *et al*., 2014)، هذا بالإضافة إلى الخلل الحاصل في التوازن الهرموني (Lu *et al*., 2009). وتشير الدراسات إلى ارتباط تفوق الإمداد المشترك بكلا الشكلين الآزوتيين (النترات والأمونيوم) بقدرتهما في الحفاظ على درجة pH متعادلة تقريباً، وبالتالي تحقيق أفضل امتصاص للعناصر الغذائية الكاتيونية والأنيونية (Lu *et al*., 2009). يفسر (Dijk and Grootjans, 1998) الانخفاض في النمو بشكل أساسي كناتج لانخفاض درجة pH المحلول الغذائي، ولكن وحسب (Horchani *et al*., 2011) يبدو أن هذا التفسير غير صحيح بالمطلق وبخاصة عندما انخفض النمو على الرغم من ضبط الـ pH بدقة.

ثانياً: امتصاص العناصر الغذائية من المحلول الغذائي:

امتصاص النترات:

ازدادت كمية النترات الممتصة التراكمية مع الزمن (والتي تمثل مجموع النترات الممتصة عند كل زمن حصاد) مع ازدياد تركيزها في المحلول (شكل 2)، على الرغم من أن أفضل نمو نباتي أخضر كان في المعاملتين 0:100 و 50:50 (NH4:NO3) (الشكل 1)، إلا أن تراكم النترات في الخلايا النباتية تفوق بمعنوية عالية في المعاملة 0:100 على باقي المعاملات، وهذا ما تشير له التجارب السابقة حيث يزداد معدل الامتصاص مع زيادة تركيز النترات في المحلول (Plett *et al*., 2020)، وانخفضت كمية النترات الممتصة التراكمية مع زيادة نسبة الأمونيوم في المحلول الغذائي هذا يتوافق مع نتائج دراسة سابقة تقول أن وجود الأمونيوم يقلل امتصاص النترات والبوتاسيوم (Takács and Técsi, 1992)، وحسب (kronzucker *et al*., 1999) ، فقد يعود السبب إلى أن وجود الأمونيوم في الوسط المغذي يؤدي إلى تحفيز قصير المدى لخروج النترات (Efflux) وتثبيط دائم لدخوله إلى الجذور(Influx) ، هذا وعلى الرغم من أن امتصاص الأمونيوم يؤمن حاجة النبات من الآزوت بشكل أسهل من امتصاص النترات، لقد أشار Carrillo وآخرون (2021) إلى أن لامتصاص الأمونيوم أولوية واضحة قد تفوق امتصاص النترات بسبب عدم الحاجة إلى إرجاعه في النبات، وأن 50% من الآزوت الممتص في نبات البندورة كان بالشكل الأمونياكي عندما لم يتجاوز تركيزه في المحلول الـ 10% من الآزوت المتاح مع 90% نترات (Bonomelli *et al*., 2021). لم تتواجد أي تراكيز للأمونيوم في المحلول الغذائي لمعاملة الـ 100% نترات، فالمحلول الغذائي تم إمداده بالأوكسجين بشكل دائم على مدار التجربة مما لم يشجع على تحول النترات إلى أمونيوم، بينما العكس كان صحيحاً حيث تم قياس كميات بسيطة من النترات في المحلول الغذائي لمعاملة الـ 100% أمونيوم، والتي نتجت بالضرورة عن نترجة الأمونيوم (Mengel and Kirkby, 2001).



الشكل 2: الكمية التراكمية من النترات الممتصة من قبل نباتات البندورة بتأثير نسبة (NO_3^-:NH_4^+) في المحلول الغذائي خلال 24 يوم من عمر التجربة.

امتصاص البوتاسيوم:

يتخذ امتصاص البوتاسيوم التراكمي منحاً أسيّاً حيث يبدأ بطيئاً ويتسارع مع زيادة معدلات نمو النبات في جميع المعاملات ما عدا المعاملة التي تكون فيها التغذية الآزوتية بالكامل بالشكل الأمونياكي (المعاملة 100:0 نترات: أمونيوم)(شكل 3). لم يكن هناك فرق معنوي في معدلات امتصاص البوتاسيوم التراكمية بمرور الزمن في المعاملتين 25:75 و50:50 (NH_4^+:NO_3^-) مع تفوق المعاملة 0:100، أي أن وجود النترات في المحلول عزز امتصاص وتراكم البوتاسيوم الذي يساهم في زيادة امتصاص النترات بطريقتين أولهما يعمل كمرافق لتعديل شحنة النترات السالبة والثانية ينتقل برفقة المالات من المجموع الخضري نحو الجذور حيث يتم إفراز شوارد HCO_3^- إلى الوسط، فالنبات يمتص النترات لمعادلة شوارد البوتاسيوم الموجودة في الجذور (Kirkby and knight, 1977)، وغالبا ما تكون معدلات امتصاص كل من النترات والبوتاسيوم مرتبطة بشكل جيد لتحقيق التوازن الأنيوني/الكاتيوني أو بسبب دخول البوتاسيوم في عمل أنزيمات تمثيل النترات (Feng *et al.*, 2020)، ويشير الشكل (3) إلى أن وجود الأمونيوم بنسب مرتفعة قد أعاق امتصاص البوتاسيوم (Feng *et al.*, 2020)، وقد أشار Xu وآخرون (2002) في دراستهم على نبات الذرة إلى حدوث تنافس بين الأمونيوم والبوتاسيوم على نواقل البوتاسيوم فيتسبب ارتباط الأمونيوم بها تغيرات تؤثر سلباً على امتصاص البوتاسيوم، بالإضافة إلى التحفيز الأولي المؤقت لخروج البوتاسيوم والتثبيط الدائم لدخوله. كما أشار Findrnegg (1987) إلى أن هنالك إلغاء لامتصاص الـ K ناتج عن شوارد الـ H^+ التي تفرزها الجذور إلى المحلول الغذائي للنباتات المغذاة بالأمونيوم (شكل 3 و 8). من الجدير للذكر ما توصل إليه (Carillo et al., 2021) حيث كان امتصاص البوتاسيوم ثابتا دون تركيز أمونيوم 8mM.

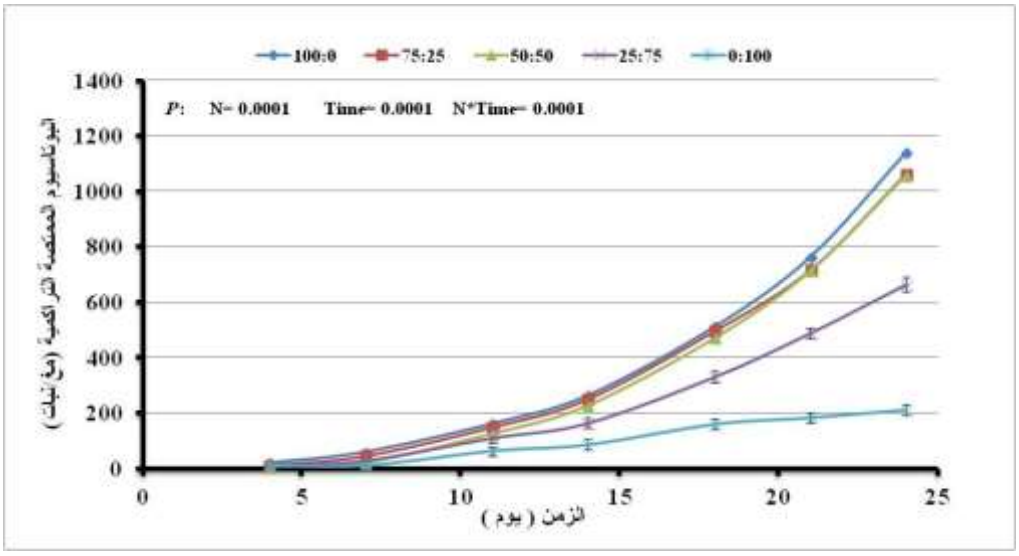
امتصاص الفوسفور:

أثر وجود الأمونيوم سلباً على معدل الامتصاص التراكمي للفوسفور (شكل 4)، فكان أفضل معدل امتصاص بوجود 100% نترات، وانخفض الامتصاص مع زيادة نسبة الأمونيوم في المحلول، ففي هذه الحالة ينحرف التوازن الأنيوني الكاتيوني لصالح الكاتيونات، لذلك كان من الضروري تعويض الشحنة الزائدة عن طريق إفراز شوارد الهيدروجين من الجذر وامتصاص الأنيونات كالفوسفات والكبريتات والكلور مسببة خفض pH الوسط. فرغم تقارب معدلات النمو بين المعاملات (0:100 و 25:75 و 50:50 نترات: أمونيوم) (شكل 1)، إلا أن امتصاص الفوسفور قد انخفض بشكل معنوي في المعاملتين 25:75 و 50:50 مقارنة بمعاملة النترات الكاملة (100% نترات)، وتزداد حدة الانخفاض مع زيادة نسبة الأمونيوم في المحلول إلى 75 و 100%.

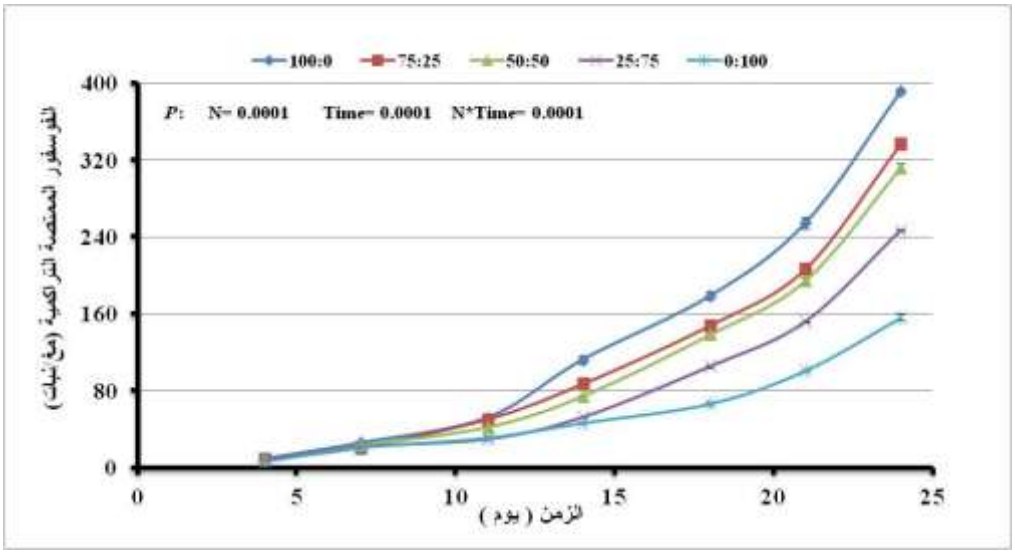
أظهرت نتائج (Issukindarsyah *et al.*, 2021) أن امتصاص الفوسفور لم يختلف باختلاف الشكل الآزوتي المقدم في نبات الفليفلة المزروعة حقلياً وحققت النباتات أفضل امتصاص عند نسبة 50:50، يتنافس الفوسفور والنترات في الامتصاص في حين يعزز وجود الأمونيوم في منطقة انتشار الجذور امتصاص الفوسفور، ويؤثر كل من الأمونيوم والنترات على حموضة الخلية ومنطقة انتشار الجذور وبالتالي يتحكم في امتصاص الكاتيونات والأنيونات.

وفقا لـ (Hoffmann *et al.*, 1994) يزداد امتصاص نبات الذرة للفوسفور بوجود الأمونيوم في التربة نتيجة لعاملين: الأول هو ميل التوازن بين $H2PO_4^-/HPO_4^{-2}$ لصالح الفوسفات الأحادية، أما الثاني فيعود إلى زيادة ذوبان فوسفات الكالسيوم في الظروف الحامضية وبالتالي زيادة إتاحة الفوسفور للامتصاص، أي أن زيادة امتصاص الفوسفور في وجود الأمونيوم هو ناتج ثانوي لانخفاض درجة الـ pH المصاحبة للتغذية الأمونياكية وليس نتيجة لوجود الأمونيوم بحد ذاته وعليه فإن الأمونيوم يحفز امتصاص الفوسفور في الترب القلوية دون أن يعزز نمو الجذور، وعلى اعتبار أننا

أضفنا الفوسفور بصورة فوسفات البوتاسيوم قمنا بتحقيق العاملين سوية دون الحاجة إلى خفض درجة الـ pH وقد يكون هذا هو السبب في تحقيق معاملات التغذية النتراتية أفضل امتصاص للفوسفور.



الشكل 3: الكمية التراكمية من البوتاسيوم الممتصة من قبل نباتات البندورة بتأثير نسبة (NO_3^-:NH_4^+) في المحلول الغذائي خلال 24 يوم من عمر التجربة.

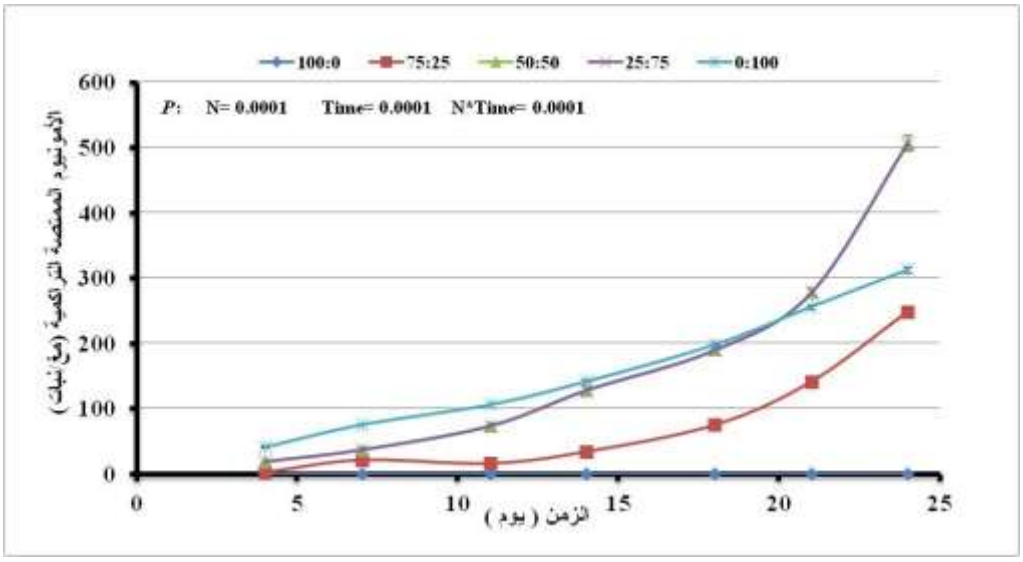


الشكل 4: الكمية التراكمية من الفوسفور الممتصة من قبل نباتات البندورة بتأثير نسبة (NO_3^-:NH_4^+) في المحلول الغذائي خلال 24 يوم من عمر التجربة.

امتصاص الأمونيوم:

لم يتبع امتصاص الأمونيوم تركيزه في المحلول الغذائي عند التراكيز العالية حيث تفوقت المعاملة 75:25 (NO_3^-:NH_4^+) على المعاملة 100% أمونيوم (شكل 5)، إن وجود تركيز منخفض من النترات قد حسن من تراكم المادة النباتية الطازجة في نباتات البندورة (شكل 1) والذي بدوره حسن امتصاص الأمونيوم. إن وجود الأمونيوم بتركيز 100% له تأثير سام على تطور الخلايا وبخاصة في الأوراق وفعالية الجذور بعملية الامتصاص في نبات الفليفلة وفقا لـ (Issukindarsyah *et al.*, 2021). امتصت النباتات في المعاملة 25:75 نترات:أمونيوم كمية محدودة من

الأمونيوم بحدود 250 مغ NH_4–N/نبات في اليوم 24 من عمر التجربة (شكل 5)، في حين امتصت 1200 مغ NO_3–N/نبات (شكل 2).



الشكل 5: الكمية التراكمية من الأمونيوم الممتصة من قبل نباتات البندورة بتأثير نسبة (NO_3^-:NH_4^+) في المحلول الغذائي خلال 24 يوم من عمر التجربة.

ثالثاً: امتصاص الماء وعلاقته بامتصاص العناصر الغذائية:

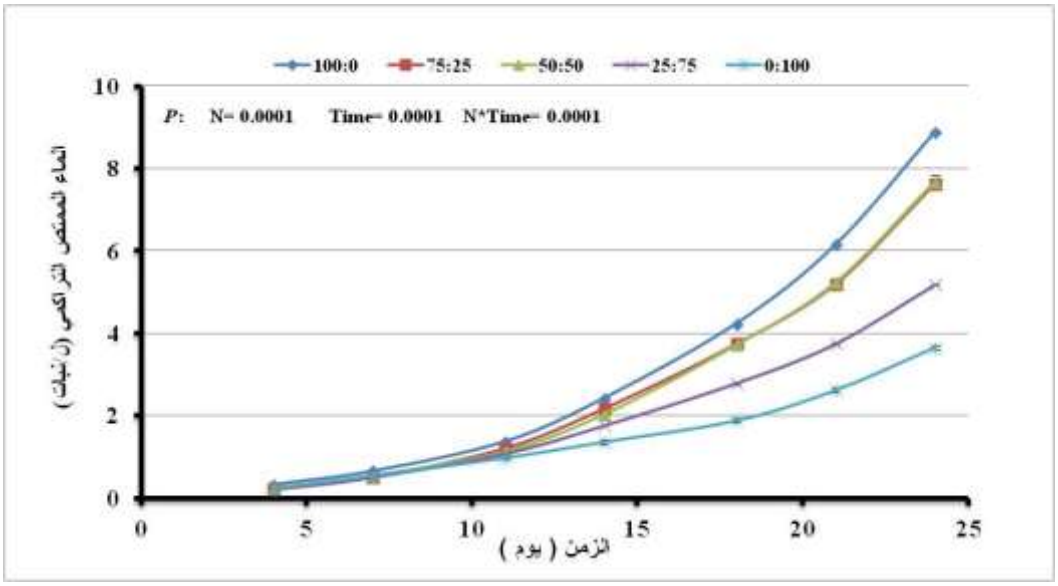
امتصاص الماء:

ظهر التأثير السلبي لوجود الأمونيوم على معدل الامتصاص التراكمي للماء بعد اليوم 11 من الزراعة وإن كان بشكل بطيء حتى اليوم 14 تقريباً لتتفوق المعاملة 0:100 (NO_3^-:NH_4^+) معنوياً على باقي المعاملات مع عدم وجود فرق معنوي بين المعاملتين 25:75 و50:50 (شكل 6)، لقد أدت زيادة الأمونيوم إلى 75 و100% إلى خفض واضح في معدلات الامتصاص التراكمية للماء من قبل نباتات البندورة، وعلى الرغم من تهدم جذور نباتات المعاملة 100% أمونيوم لوحظ وجود امتصاص ضعيف للماء قد يعود ذلك إلى دخول الماء بالانتشار أو عن طريق الجذور الحديثة التي لاحظنا تشكلها على النباتات بعد تهدم الجذور القديمة بفعل سمية الأمونيوم.

إن أفضل امتصاص للماء في نبات البندورة كان بوجود 100% نترات، وتؤدي أي إضافة أمونياكية، وإن كانت بسيطة، إلى خفض كفاءة امتصاص الماء من قبل النبات. قد يكون لدور النترات في تنشيط عمل الأكوابورينات وبالتالي تحسين كفاءة امتصاص الماء في نبات البندورة (Wang *et al.*, 2016)، حيث يكون التعبير عن الأكوابورينات بوجود الشكل الآزوتي الأمثل للنبات. أيضاً وجد انخفاض في التعبير عن جينات ناقلات النترات بوجود الأمونيوم كمصدر للآزوت (Bonomelli *et al.*, 2021)، أي أن النترات يؤثر في التعبير الجيني للنبات، وهذا يتطلب إحداث تغيير في معدلات الامتصاص لعدة أيام (Guo *et al.*, 2002 ; Ding *et al.*, 2018) ، ليتضح الانخفاض في استهلاك الماء بوجود الأمونيوم، الذي ربما يكون نتيجة لانخفاض في مساحة المسطح الورقي (Guo *et al.*, 2007)، وتقليل جهد الماء في أوراق البندورة النامية في نظام الزراعة المائية (Quebedeaux *et al.*, 1973)، كما ويشير Horchani وآخرون (2011) إلى أن انخفاض موصلية الثغور وبالتالي انخفاض النتح في حال

تغذية نباتات البندورة بالأمونيوم مقارنة بالنترات، فللأمونيوم تأثير في العلاقات المائية لنبات البندورة (Ragab, 1980; Britto *et al.*, 2014)، وهذا ما أثر على العمليات الحيوية وبالتالي على محتوى المجموع الخضري من الماء والنمو وامتصاص العناصر الغذائية (Horchani *et al.*, 2011).

لا يخلو الأمر من تناقض في الدراسات المرجعية حول تأثير الأمونيوم في معدلات امتصاص الماء حيث لم يلحظ Guo وآخرون (2002) أي تأثير للشكل الآزوتي على معدل امتصاص الماء في التجارب قصيرة المدى (يومان)، أي أن تأثيره يعتمد على المرحلة الجينية، وبالتالي تغيير شكل الجذور وتفرعها (Wang *et al.*, 2016)، ربما يمكن اعتبار نتائجنا عن تأثير الشكل الآزوتي في المحلول الغذائي الوحيدة التي تقصت امتصاص الماء خلال مدة طويلة بلغت 24 يوم من النمو (شكل 6).



الشكل 6: الكمية التراكمية من الماء الممتصة من قبل نباتات البندورة بتأثير نسبة (NO_3^-:NH_4^+) في المحلول الغذائي خلال 24 يوم من عمر التجربة.

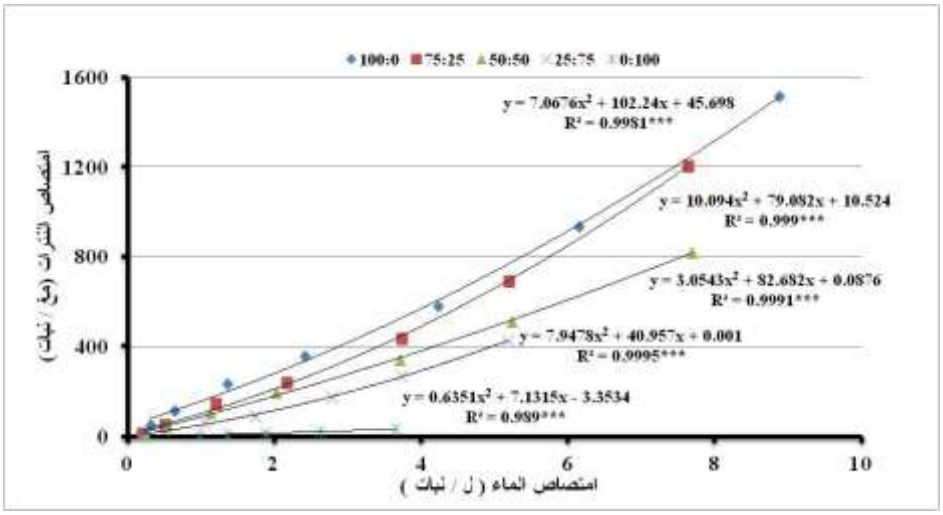
العلاقة بين امتصاص الماء وامتصاص العناصر الغذائية:

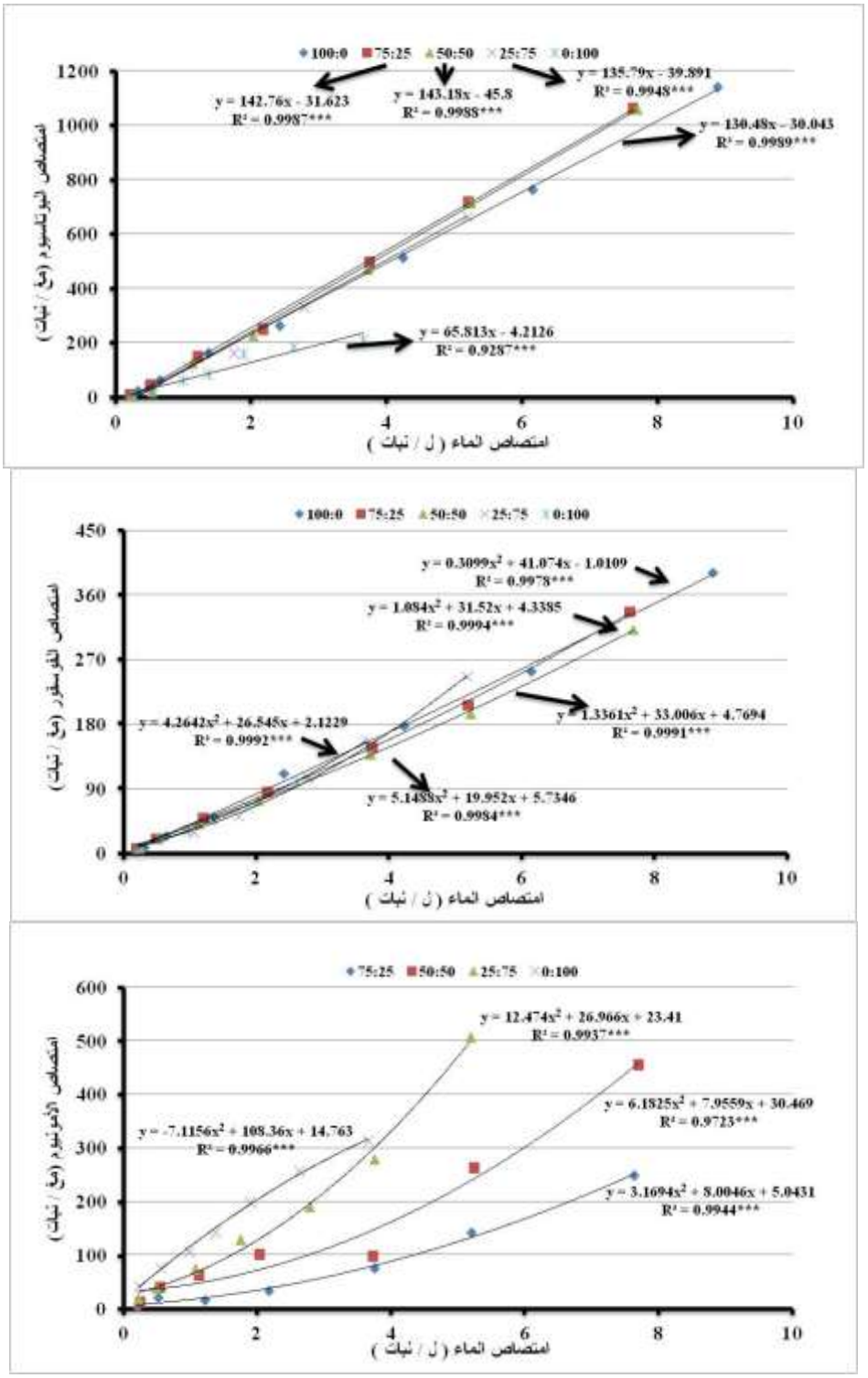
تشير المخططات في الشكل (7) إلى وجود علاقة ارتباط قوية بين امتصاص العناصر الغذائية NO_3–N، K، و الـ P وامتصاص الماء، فكانت أفضل علاقة ارتباط بين امتصاص الماء وامتصاص النترات في المعاملة 0:100 (NH4:NO3) مع إلفة عالية بين المتغيرين، ينحرف الخط البياني نحو امتصاص الماء على حساب امتصاص النترات وتنخفض الكميات الكلية الممتصة مع زيادة تركيز الأمونيوم في المحلول، فالمساهمة الفعالة في امتصاص الماء ربما تعود إلى النترات. فعلى الرغم من وجود نسب من الأمونيوم إلى جانب النترات في باقي المعاملات لم تحصل زيادة في معدل امتصاص الماء لا بل تناقصت مع زيادة تركيز الأمونيوم في المحلول، ربما يقود ذلك إلى استنتاج أن وجود النترات إلى جانب الأمونيوم ينظم امتصاص كل من الماء والأمونيوم، ويشير Hachiya وآخرون (2017) إلى دور قنوات البوتاسيوم التي قد تسهل امتصاص الأمونيوم بوجود النترات، وفي التراكيز العالية من الأمونيوم يتم نقل غاز الأمونيا عبر الأكوابورينات، أي أن للأكوابورينات دور في تعزيز امتصاص الأمونيا بصورتها غير المشحونة بالاعتماد على النترات. إن للنترات دور في تنظيم تدفق الماء عبر الأكوابورينات على الرغم من أن استجابة الجذر للنترات ليست فوريا وإنما تحتاج عدة أيام (Plett *et al.*, 2020) . كما ذكر (Araus *et al.*,

(2020 أن النباتات امتصت كميات أكبر من المياه بوجود كميات أكبر من الآزوت في التربة، أي يمكن للتربة عالية المحتوى الآزوتي أن تزيد قدرة النبات على امتصاص المياه. قد يتسبب N في حدوث تغييرات في الخصائص الهيدروليكية لغشاء الخلية، مما يؤثر وبشكل مباشر على تركيزات النترات داخل الخلايا وبالتالي جذب كميات أكبر من المياه إلى داخل الخلايا، بالإضافة إلى دور الآزوت في زيادة النمو الخضري وبالتالي زيادة امتصاص الماء، أيضاً ذكر Araus اقتراح آخر لدور النترات في زيادة امتصاص المياه يتجلى في زيادة التعبير عن الأكوابورينات.

كما يمكن ملاحظة وجود علاقة ارتباط وثيقة بين امتصاص كل من الفوسفور والبوتاسيوم من جهة، وامتصاص الماء من جهة ثانية وبميل يقارب 45 درجة في جميع المعاملات (ماعدا 100:0 (NH_4^+:NO_3^-) في حال البوتاسيوم)، فللفوسفور والبوتاسيوم تأثير هام في زيادة معدلات امتصاص الماء من قبل نبات البندورة (امتصاص الفوسفور والبوتاسيوم يكون مترافقاً مع امتصاص الماء)، ويكون هذا التأثير أوضح بوجود 100% نترات في المحلول الغذائي، يقل هذا الارتباط مع زيادة نسبة الأمونيوم في المحلول الغذائي.

تكون علاقة الارتباط بين امتصاص البوتاسيوم وامتصاص الماء خطية يزداد فيها امتصاص الماء مترافقاً مع زيادة امتصاص البوتاسيوم، والعكس صحيح، كما كان لوجود الأمونيوم بنسبة 100:0 (NH_4^+:NO_3^-) دور في امتصاص البوتاسيوم ولكن بميل أقل من باقي المعاملات حيث يزيد امتصاص الماء مقارنة بامتصاص البوتاسيوم، أي أن وجود الأمونيوم بمفرده في المحلول قد أعاق امتصاص البوتاسيوم من قبل النبات، وانخفضت بالتالي كمية الماء الممتصة (Bonomelli *et al.*, 2021). نظرا لكون البوتاسيوم عنصر أسموزي فإن امتصاصه يكون مصحوباً بتدفق الماء عبر الأكوابورينات، حيث أن هنالك ارتباط إيجابي بين امتصاص البوتاسيوم وامتصاص الماء (Wang *et al.*, 2016)، كما أن تراكم البوتاسيوم في الجذور يسبب تدرج في الضغط الأسموزي يسحب الماء إلى داخل الجذور (Prajapati and Modi, 2012).





الشكل 7: علاقة امتصاص الماء والعناصر الغذائية من المحلول الغذائي خلال 24 يوم من عمر التجربة.

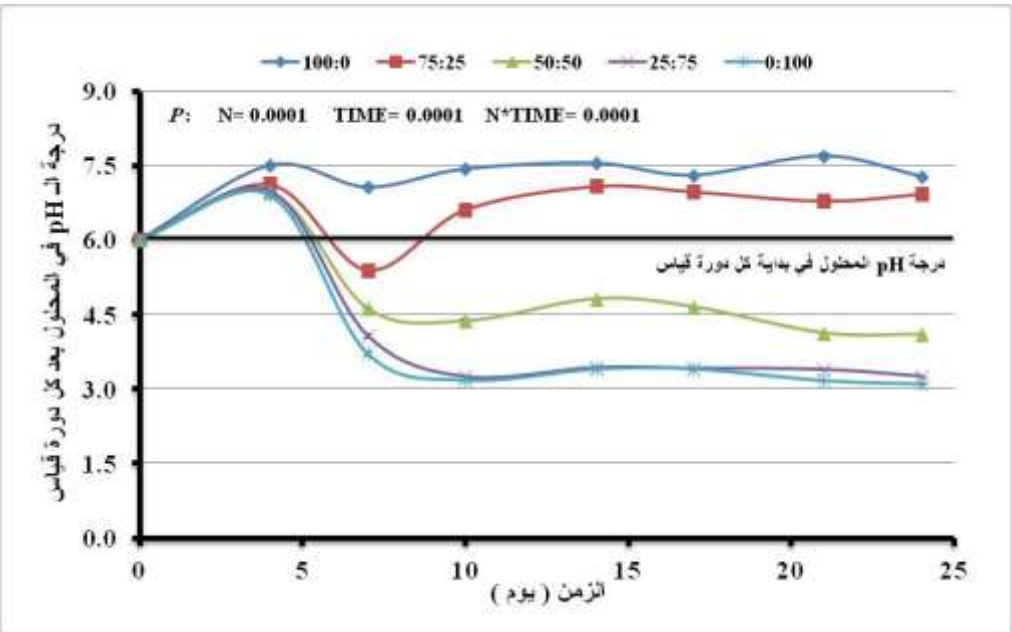
أما بالنسبة للفوسفور فكانت علاقة الارتباط قوية بين امتصاصه وبين امتصاص الماء في جميع المعاملات، لقد خفض ارتفاع نسبة الأمونيوم في المحلول من الكميات الممتصة من الماء والفوسفور، وكانت علاقة الارتباط بين امتصاص الماء وامتصاص الفوسفور في معاملة 100% أمونيوم عالية جداً، وإن كانت الكميات الممتصة قليلة بسبب النباتات الضعيفة محدودة النمو (شكل 1). لقد أشارت العديد من الدراسات إلى أن تعزيز النمو باستخدام التسميد الفوسفاتي

مرتبط بزيادة قدرة النباتات على نقل الماء إذ يتضاءل نشاط وكثافة الأكوابورينات في الجذر أثناء الإجهاد الغذائي كالحرمان من الآزوت والفوسفور (Wang *et al*., 2016). وبشكل عام، ارتبط ارتفاع معدلات امتصاص الماء مع زيادة امتصاص الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم وهذا يتوافق مع ما وصل إليه (Cramer *et al*., 2009).

رابعاً: تغيرات pH المحلول الغذائي:

أدت إضافة الأمونيوم مع النترات كمصدر مشترك للآزوت إلى انخفاض ملحوظ في قيمة الـ pH حيث وصلت إلى حدود pH=4.5 في معاملة الـ 50% أمونيوم، وانخفضت قيمة الـ pH بدرجة أكبر إلى pH=3 في المعاملتين 75:25 و100:0 (NH_4^+:NO_3^-)، بالمقابل كان لزيادة نسبة النترات في المحلول الغذائي للمعاملتين 0:100 و25:75 (NH_4^+:NO_3^-) تأثير في رفع قيمة الرقم الهيدروجيني للمحلول عن pH=6 حيث وصلت قيمته لحدود 7.5 في المعاملة 100% نترات (شكل 8).

إن لامتصاص شاردتي النترات والأمونيوم دوراً هاماً في امتصاص الكاتيونات والأنيونات الأخرى وتؤثر على pH منطقة انتشار الجذور. وعلى اعتبار أن كل من الأمونيوم والنترات يشكلان حوالي 80% من كمية العناصر الكلية الممتصة خلال فترة حياة النبات (Marschner, 1995)، فهو يلعب دوراً كبيراً في التوازنات الأيونية ضمن النبات وفي منطقة انتشار الجذور، ولضمان كفاءة سير التفاعلات الحيوية ضمن الخلايا يطرح فائض الشحنة إلى خارج الجذور، فينتج عن امتصاص جزيء NH_4^+ واحد إفراز (H^+) من الجذر مسببة خفض pH منطقة الريزوسفير (Marschner, 1995 ; Feng *et al*., 2020)، في حين أن امتصاص الـ NO_3^- يترافق مع بروتون معدل للشحنة وطرح (OH^-)، وبالتالي يرتفع pH الوسط (Kirkby and Knight, 1977 ; Zhang *et al*., 2019).

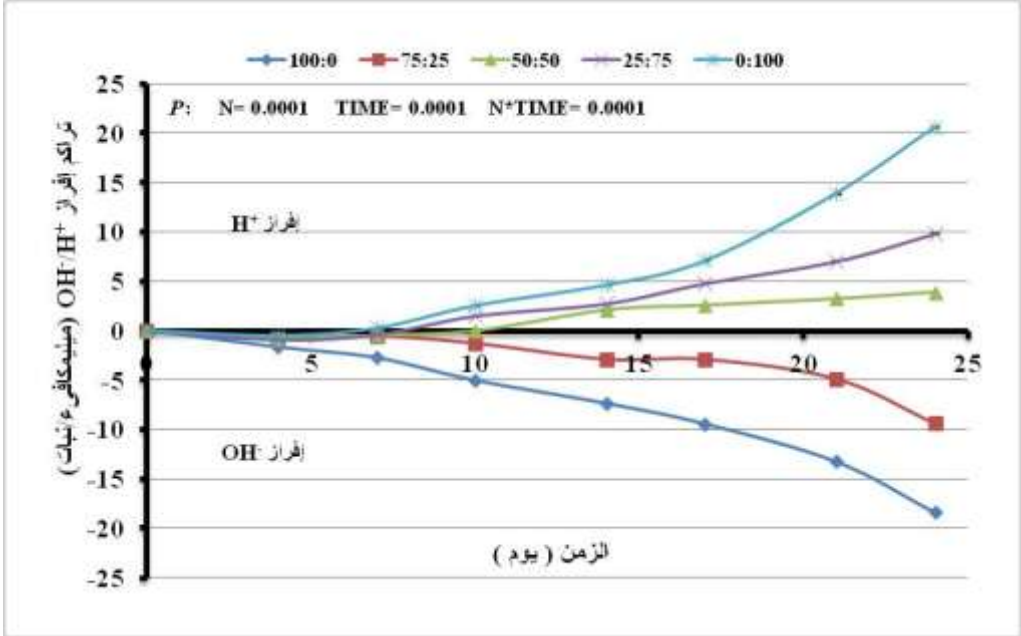


الشكل 8: قيم الـ pH في المحلول الغذائي بعد كل دورة قياس خلال فترة التجربة 24 يوم.

إن انخفاض الـ pH في المعاملة 50:50 إلى حدود الـ 4.5 يشير إلى حدوث تحميض لمنطقة انتشار الجذور، بمعنى آخر قد أفرز النبات H^+ وامتص OH^- هذا مرتبط كما ذكرنا سابقا مع امتصاص النترات والأمونيوم بشكل أساسي أي أن النبات امتص كميات من الأمونيوم تفوق ما امتصه من النترات عند وجودهما بنسب متساوية في المحلول، إذ يبقى

الأمونيوم الشكل الآزوتي الأسهل في الامتصاص على الرغم من تفضيل البندورة للنترات. أشار باحثون آخرون إلى سلوك مماثل في امتصاص النترات والأمونيوم (Gabrin and Dillenburg, 2008)، فقد تمتص النباتات المفضلة للنترات المزيد من الأمونيوم، ويصبح بالتالي اعتماد تراكم المادة الجافة مؤشراً أفضل من معدل الامتصاص على تفضيل الشكل الآزوتي (Gabrin and Dillenburg, 2008). وتبين معدلات إفراز الجذور لشوارد الـ OH^-/H^+ أن معدلات إفراز شوارد الـ H^+ كانت منخفضة في المعاملة 50:50 نترات:أمونيوم، في المراحل المتقدمة من عمر التجربة (بعد اليوم 13)، مع جدوى الإشارة إلى أن النباتات قد فضلت الشكل النتراتي في بداية عمر النبات حتى اليوم السابع.

ويشير الشكل (9) إلى زيادة تراكم إفراز شوارد الهيدروجين والهيدروكسيل مع مرور الزمن مترافقة مع زيادة حجم النبات، استمرت النباتات في المعاملتين 100% و75% نترات في المحلول الغذائي بإفراز شوارد الـ OH، وبدرجة أقل نباتات المعاملة 75% نترات. لقد أفرز النبات في معاملة النترات الكاملة (100% نترات) حوالي 18 ميليمكافىء من شوارد الـ OH^- خلال 24 يوم من النمو. أما في معاملات الـ 50 و 75 و 100% أمونيوم في المحلول الغذائي فقد أفرزت كميات متزايدة من شوارد الـ H^+، ووصلت كمية شوارد الـ H^+ التي أفرزها نبات التغذية الأمونياكية (100%) حوالي 20 ميليمكافىء، الأمر الذي يشير إلى زيادة امتصاص الكاتيونات/الأنيونات في معاملات الأمونيوم أعلى من 50% في المحلول الغذائي.



الشكل 9: الكمية التراكمية من شوارد OH^-/H^+ تم إفرازها من قبل الجذور في المحلول الغذائي خلال فترة التجربة 24 يوم.

تزخر الدراسات المرجعية بإيضاح دور التغذية النتراتية بترجيح التوازن الكاتيوني الأنيوني لصالح الأنيونات وإفراز الجذور لشوارد الـ OH^- وما ينتج عنه من ارتفاع في قيم pH الرايزوسفير (وفي دراستنا في المحلول الغذائي)، بينما أدت التغذية الأمونياكية إلى ترجيح التوازن لصالح الكاتيونات والذي نتج عنه إفراز الجذور لشوارد الـ H^+ وما ينتج عنه من خفض pH المحلول الغذائي (Kirkby and Mengel, 2001; Marschner, 1995). إن تبدلات pH المحلول الغذائي قد تعكس درجة تفضيل نباتات البندورة للشكل الآزوتي وتحت كل نسبة خلط بين الشكلين النتراتي والأمونياكي

(الأشكال 8 و 9 و 10). وتجدر الإشارة إلى أن امتصاص النترات يكون أعلى في درجات الـ pH المنخفضة بحدود 5−5.5 ، بينما تزداد معدلات امتصاص الأمونيوم في الوسط المعتدل المائل للقلوية نتيجة للتنافس بين شاردتي OH^- /H^+ اللتين تسودا في الأوساط الحامضية أو القلوية مع شاردتي الشكلين NO_3^- و NH_4^+ (Boessa and Alloush, 2006).

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. حققت نباتات البندورة في الصنف المدروس أفضل نمو خضري في معاملة 50:50 نترات:أمونيوم
2. يساهم امتصاص الماء في امتصاص كل من النترات والبوتاسيوم والفوسفور وبعلاقة ارتباط خطية.
3. يكون امتصاص كل من النترات والفوسفور والبوتاسيوم مصحوبا بامتصاص الماء.
4. نظم وجود النترات في المحلول امتصاص كل من الماء والفوسفور والبوتاسيوم والأمونيوم.

التوصيات:

1. مشاركة التغذية الأمونياكية مع التغذية النتراتية بما لا يزيد عن 50% أمونيوم من الآزوت الكلي لأنها تؤدي إلى انخفاض في نمو النبات وضعف امتصاص الماء والعناصر المعدنية.
2. متابعة الدراسة لمعرفة مدى تأثير نسب نترات:أمونيوم المختلفة على نمو الثمار وإنتاجية النبات.
3. إجراء تجربة تحت ظروف الحقل لمعرفة مدى تأثير الأشكال الآزوتيه المختلفة على نمو نبات البندورة.

References:

1. بوعيسى، عبد العزيز و علوش، غياث. خصوبة التربة وتغذية النبات. منشورات مديرية المطبوعات - جامعة تشرين – اللاذقية – سورية، 2005.

2. ALLOUSH, G.A., *Responses of chickpea to low phosphorus: pH changes, nutrient uptake rates, and root morphological changes*. Agronomie, Agri. & Environ, Vol 23, 2003, 123-133.

3. ARAUS, V.; SWIFT, J.; ALVAREZ, J.M.; HENRY, A. and CORUZZI, G.M. *A balancing act: how plants integrate nitrogen and water signals*. Journal of Experimental Botany. 71, 2020, 15, 4442–4451.

4. BALKOS, K.D.; BRITTO, D.T. and KRONZUCKER, H.J. *Optimization of ammonium acquisition and metabolism by potassium in Rice (Oryza sativa L. cv. IR-72).* Plant, Cell and Environment. 33, 2010, 23–34

5. BARBER, S.A. *A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability*. Soil science 93, 1962, 39-49.

6. BONOMELLI, C.; FREITAS, S.T.; AGUILERA, C.; PALMA, C.; GARAY, R.; DIDES, M.; BROSSARD, N. and OBRIEN, J.A. *Ammonium Excess Leads to Ca Restrictions, Morphological Changes, and Nutritional Imbalances in Tomato Plants, Which Can Be Monitored by the N/Ca Ratio*. Agronomy, 2021, 11, 1437. https:// doi.org/10.3390/agronomy11071437

7. BOESSA A.H. and ALLOUSH G.A. *Soil fertility and plant nutrition*. Tishreen Univ. fac. Of Agric. Lattakia, Syria, 423, 2006.

8. BRITTO, D.T.; BALKOS K.D.; BECKER A.; COSKUN, D.; HUYNH, W.Q. and KRONZUCKER H. J. *Potassium and nitrogen poising: physiological changes and*

biomass gains in rice and barley. Canadian Journal of Plant Science. 2014. https://doi.org/10.4141/cjps2013-143
9. BRIX, H.; DYHR, K.J. and LORENZEN, B. *Root-zone acidity and nitrogen source affects Typha latifolia L. growth and uptake kinetics of ammonium and nitrate.* Journal of Experimental Botany. 53, 2002, 379, 2441-2450
10.CARRILLO, F. F.; CHIAMOLERAh, T.P. and URRESTARAZU, M. *Effect of ammonium nitrogen on pepper grown under soilless culture.* Journal of Plant Nutritio. 2021
11. CRAMER, M.D.; HOFFMANN, V. and VERBOOM, G.A. *Nutrient availability moderates transpiration in Ehrharta calycina.* New Phytologist. 179: 1048–1057, 2008
12. CRAMER, M. D.; HAWKINS, H. J.; and VERBOOM, G.A. *The importance of nutritional regulation of plant water flux*. Oecologia. 161, 2009, 15–24.
13. DIJK, E. and GROOTJANS, A. (1998*). Performance of four Dactylorhiza species over a complex trophic gradient*. Acta botanica neerlandica, *47*(3), 1998, 351–368.
14. DING, L.; LU, Z.; GAO, L.; GUO, S. and SHEN, Q. *Is Nitrogen a Key Determinant of Water Transport and Photosynthesis in Higher Plants Upon Drought Stress?*. Frontiers in Plant Science. 2018.
15. FENG, H.; FAN, X.; MILLER, A. J. and XU, G. *Plant nitrogen uptake and assimilation: regulation of cellular pH homeostasis.* Journal of Experimental Botany, Vol. 71, No. 15, 2020, 4380–4392.
16. FINDENEGG G.R. *A comparative study of ammonium toxicity at different constant pH of the nutrient solution. Plant and Soil*. 103, 1987, 239–243.
17. GABRIN, M.L. and DILLENBURG, L.R. *Effect of different nitrogen sources on growth, chlorophyll concentration, nitrate reductase activity and carbon and nitrogen distribution in Araucaria angustifolia*. Braz. J. Plant Physiol. 20, 2008, 295-303.
18. GORSKA, A.; Ye, Q.; HOLBROOK, N.M. and ZWIENIECKI, M.A. *Nitrate control of root hydraulic properties in plants: translating local information to whole plant response*. Plant Physiol. 148, 2008, 1159–1167
19. GUO, S.; BRUCK, H. and SATTELMACHER, B. *Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (Phaseolus vulgaris L.) plants*. Plant and Soil. 239, 2002, 267–275,
20. GUO, S.W.; SHEN, Q.R. and BRUECK, H. *Effects of local nitrogen supply on water uptake of bean plants in a split root system*. J. Integr. Plant Biol. 2007.
21. HACHIYA, T. and SAKAKIBARA, H. *Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants*. Journal of Experimental Botany. 68, 10, 2017, 2501–2512.
22. HEWITT, E. J. *Sand and water culture methods used in study of plant nutrition,* Eastern Press, London, 1966, pp. 547.
23. HOFFMANN, C.; LADEWIG, E.; CLASSEN, N. and JUNGK, A. *Phosphorus uptake of maise as affected by ammonium and nitrate nitrogen – Measurments and model calculations*. Agronommen. *157, 1994, 225-232.*
24. HORCHANI, F.; HAJRI, R. and ASCHI-SMITI, S. *Is the sensitivity to ammonium nutrition related to nitrogen accumulation?.* Curr. Bot. 2011, 2(2): 18-22.
25. HYLMO, B. *Transpiration and Ion Absorption.* Physiologia Plantarum. Vol. 6. 1953.
26. ISSUKINDARSYAH; SULISTYANINGSHIH, E.; INDRADEWA, D. and PUTRA, E.T.S. *The effect of ammonium nitrate ratio and support types on the NPK uptake and growth of black pepper(Piper nigrum L.) in field conditions. Poljoprivreda. 27, 2021, (2) 25-33*

27. KENNETH E.W. and NANCY L.B. *Transpiration and the absorption and distribution of radioactive phosphorus in plants*. Plant Physiology. 1955.
28. KIRKBY, E. A. and MENGEL, K. *Ionic Balance in Different Tissues of the Tomato Plant in Relation to Nitrate, Urea, or Ammonium Nutrition.* Plant Physiology. Vol. 42, 1967, 6–14, https://doi.org/10.1104/pp.42.1.6
29. KIRKBY, E.A. and KNIGHT, A.H. *Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation and cation–anion balance in whole tomato plants.* Plant Physiology. 60, 1977, 249–253.
30.KRONZUCKER, H. J.; GLASS A. D-M.; SIDDIQI, M. Y. *Inhibition of nitrate uptake by ammonium in barley. Analysis of component fluxes.* Plant physiology. 120 (1), 1998, 283-292.
31. LITTLE, T.M; HILLS, F.G. *Agricultural experimentation: design and analysis*. Jhon Wiley & sons. USA, 1978, Pp: 350.
32.LIU, Y. and VON WIREN, N. *Ammonium as a signal for physiological and morphological responses in plants.* Journal of Experimental Botany. 68, 2017, 10, 2581–2592.
33. LU, Y.L.; XU, Y.C. and SHEN, Q. *Effects of different nitrogen forms on the growth and cytokinin content in xylem sap of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) seedlings*. Plant Soil 315, 2009, 67.
34. MAATHUIS, F. J. M.; FILATOV, V.; HERZYK, P.; KRIJGER, G.C.; AXELSEN, K.B.; CHEN, S. X.; GREEN, B. J.; LI, Y.; MADAGAN, K. L. and SANCHEZ F. R. *Transcriptome analysis of root transporters reveals participation of multiple gene families in the response to cation stress*. Plant J. 35, 2003, 675–692.
35.MARSCHNER H. *Mineral nutrition of higher plants. London, UK: Academic Press*. 1995
36. MATIMATI, I.; VERBOOM G.A. and CRAMER M.D. *Nitrogen regulation of transpiration controls massflow acquisition of nutrients.* Journal of Experimental Botany. Vol. 65, No. 1, 2014, pp. 159-168
37.MAUREL, C.; VERDOUCQ, L.; LUU, D.T. and SANTONI, V. *Plant aquaporins: Membrane channels with multiple integrated functions*. Annu. Rev. Plant Biol. 59, 2008, 595–624.
38. MAUREL, C.; BOURSIAC, Y.; LUU, D.T.; SANTONI, V.; SHAHZAD, Z. and VERDOUCQ, L. *Aquaporins in plant.* Physiol. Rev. 95, 2015, 1321–1358.
39. MENGEL, K; KERKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2001, 849 pp.
40. PLETT, D. C.; RANATHUNGE, K.; MELINO, V. J.; KUYA, N.; UGA, Y. and KRONZUCKER, H. J. *The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity.* Journal of Experimental Botany, Vol. 71, No. 15, 2020, 4452–4468
41. PRAJAPATI, K. and MODI H.A. *The importance of potassium in plant growth – a review*. Indian Journal of Plant Sciences, 2319-3824, Vol. 1(02-03), 2012, 177-186
42. QUEBEDEAUX, B. and OZBUN, J. L. *Effects of Ammonium Nutrition on Water Stress, Water Uptake, d Root Pressure in Lycopersicon esculentum Mill.* Plant Physiol. 52, 1973, 677-679
43. RAGAB, S.M. *Water uptake and trans-potential in sunflower roots as influenced by ammonium ions*. J. Agric. Sci. 94, 1980, 145-150.
44.RAVEN J.A. *Transpiration: how many functions?* New Phytologist. 179, 2008, 905-907.
45. SAS INSTITUTE. *SAS user's guide: Statistics*. SAS Inst., Cary, NC.1999.
46. SHANGGUAN, Z. P.; LEI, T.W.; SHAO, M.A.; and XUE, Q.W. *Effects of phosphorus nutrient on the hydraulic conductivity of sorghum (Sorghum vulgare Pers.) seedling roots under water deficiency.* J. Integr. Plant Biol. 47, 2005, 421–427.
47. SOURI, M. K. and DEHNAVARD, S. *Characterization of tomato growth and fruit quality under foliar ammonium sprays*. 2017.

48. TAKACS, E. and TECSI, L. *Effects of NO_3^-/NH_4^+ Ratio on Photosynthetic Rate, Nitrate Reductase Activity and Chloroplast Ultrastructure in three Cultivars of Red Pepper (Capsicum annuum L.)*. Journal of Plant Physiology. Vol. 140, 1992, 298-305
49. WANG, M.; DING, L.; GAO, L.; LI, Y.; SHEN, Q. and GUO, S. *The Interactions of Aquaporins and Mineral Nutrients in Higher Plants*. International Journal of Molecular Sciences, 17(8), 2016, *1229*
50. WANG, Y.H.; GARVIN, D.F. and KOCHIAN, L.V. *Nitrate-induced genes in tomato roots. Array analysis reveals novel genes that may play a role in nitrogen nutrition*. Plant Physiol. 127, 2001, 1323–1323.
51. WRIGHT, K.E. *Transpiration and the absorption of mineral salts*. Am. Soc. of Plant Biologists. 1939.
52. XU, G.; WOLF, S. and KAFKAFI, U. *Ammonium on potassium interaction in sweet pepper*. J. of Plant Nutri. Vol. 25, 2002
53.ZHANG, J., Lv, J., DAWUDA M.M., XIE, J., YU, J., Li, J., ZHANG, X., TANG, C., WANG, C., and GAN, Y. *Appropriate Ammonium-Nitrate Ratio Improves Nutrient*