دراسة مخبرية حول إمكانية نمو نبات الإيكورنيا في المياه الصناعية الملوثة بالعناصر الثقيلة وقدرته على امتصاص هذه العناصر

أ.م.د. تميم عليا **م.د. حسين جنيدي** **لينا سلامة، طالبة ماجستير**
قسم كيمياء البيئة **قسم النظم البيئية** **قسم كيمياء البيئة**
المعهد العالي لبحوث البيئة – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية

الخلاصة

الايكورنيا نبات مائي استوائي أمريكي الأصل، ينمو على سطح المياه العذبة، استُخدم في الآونة الأخيرة في معالجة مياه الصرف الصحي، كما توجد له العديد من الاستخدامات والتطبيقات لمعالجة مياه الصرف الصناعي، وذلك بهدف تخفيض تراكيز العناصر الثقيلة. أُستُخدم النبات في البحث الحالي لخفض تراكيز الرصاص والكادميوم من الأوساط المائية ذات تراكيز محددة؛ تم خلالها دراسة التغيرات الحاصلة على قدرة تحمل النبات للتراكيز المختلفة من خلال متابعة التغيرات المرفولوجية التي ظهرت خلال مدة التجربة بالترافق مع قياس التغيرات الحاصلة على تراكيز العناصر الثقيلة في الوسط المائي بمعدل كل يومين خلال مدة التجربة. في نهاية التجربة جُمعت النباتات وحُددت نسب العناصر الثقيلة في كل من الجزء الهوائي (الخضري) والجزء المائي (الجذري). من خلال النتائج تم التوصل إلى أن النبات قادر على امتصاص الرصاص ومراكمته في قسمه الجذري أكثر من قسمه الهوائي مع محافظته على نموه وشكله حتى تركيز 100مغ/ليتر في حين أنه لم يستطع العيش بشكل جيد ضمن الأوساط المائية التي تحوي الكادميوم بتراكيزه المدروسة ضمن المجال (3.07−61.93 ملغم/لتر).

الكلمات الدالة: العناصر الثقيلة، نبات الايكورنيا، مياه الصرف الصناعي.

Laboratory Study about the Possibility of Eichhornia Growth in Industrial Wastewater and its Ability to Absorb Heavy Metals

Abstract

Eichhornia crassipes is a tropical aquatic plant of American origin that grows on the surface of fresh water. Eichhornia at recent time is used to treat domestic and industrial wastewater. In this research, Eichhornia is used to decrease the concentrations of lead and cadmium in water media. The current changes over the plants endurance for different concentrations by continuing the morphological changes, which have appeared during the experiment, has been studied. The heavy metals concentrations of the media are measured during two days. At the end of the experiment, analysis for metals are also carried out on the plant samples to determine the effect of different media on metal accumulation by roots and aerial parts of the plants. The results showed that the plant is able to absorb the lead and accumulate it in its rooted part more than aerial part along with the preservation of its growth and shape at the concentration up to 100ppm. However, it cannot survive in a good way in the water media which contain cadmium of concentrations (3.07-61.93ppm).

Keywords: Heavy metal, Eichhornia, Industrial Wastewater.

المقدمة

الايكورنيا هو نبات مائي استوائي أمريكي الأصل يتميز بوروده الجميلة ينمو على سطح المياه العذبة (أنهار وبحيرات) ويعتمد النبات في نموه على المغذيات المتوفرة في المياه وعلى كثافة الضوء ودرجة حرارة الجو[1]. عملت التغيرات المناخية ودخول الملوثات إلى الأوساط المائية على انتشار هذا النبات على نطاق واسع بعيداً عن أماكن نموه التقليدية. كما استُخدم هذا النبات في معالجة مياه الصرف الصحي لقدرته العالية على النمو وتحمله لمستوىً عالٍ من تراكيز الملوثات مثل [النترات والفوسفات بالإضافة إلى الـ BOD والعناصر الثقيلة المختلفة (Pb, As, Zn, Mn, Co, Cd, Fe,…)]. كما استخدم كعامل مساعد للمعالجة بالعمليات الكيميائية والفيزيائية المكلفة وغير الفعّالة في بعض الحالات[2]. حديثاً ركّزت العديد من الدراسات على إمكانية استخدام هذا النبات والنباتات المائية الأخرى في خفض نسبة المعادن الثقيلة من المياه الملوثة [15,13,11-3,1]. دُرس في أحد الأبحاث إمكانية إزالة الزرنيخ من مياه الشرب باستخدام نبات الايكورنيا ووُجد أن الايكورنيا تقوم بتجميع معظم الزرنيخ في حويصلاتها والقليل منه في جذورها[3]. كما دُرست إمكانية إزالة الرصاص من مياه الصرف الصناعي باستخدام نبات الايكورنيا ووُجد أن الرصاص يتجمّع بشكل رئيس في الجذور بينما يكون تركيزه منخفضاً في الأوراق[4]. تضمنت العديد من الدراسات إجراء مقارنة لقدرة بعض النباتات المائية على إزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصناعي ومنها نبات الايكورنيا حيث وُجد أن أوراق نبات الإيكورنيا راكمت الكروم بشكل أساسي بينما تجمّع الكادميوم في الجذور [5]. وعند مقارنة الايكورنيا بنوعين من النباتات المائية (P. stratiotes and S. polyrrhiza) وجد أنها الأفضل من حيث قدرتها على امتصاص المعادن الثقيلة [6]. وفي دراسة أخرى استُخدم نبات الايكورنيا لإزالة الكروم والتوتياء بتراكيز مختلفة فكانت نسبة الإزالة لمعدن الكروم 84% ولمعدن التوتياء 95% وظهرت علامات مورفولوجية لسميّة الكروم عند التراكيز 10-20ملغم/لتر[7]. وفي دراسة فعّالية النبات وقدرته على امتصاص الحديد (Fe) بوجود تراكيز مختلفة من المغذيات (TN,TP) وُجد أن النبات يجمع أكبر قدر ممكن من المعدن في الأوساط الفقيرة بالمغذيات [1]. وفي دراسة أخرى تمّ فيها استنبات الايكورنيا في أوساط مائية تحوي مزيج من العناصر الثقيلة (Pb,Ni,Cd,Co,Cr,Cu,Mn,Zn) بتراكيز مختلفة وهي (1,3,5,7,10,50,100 ملغم/لتر) ووسطين يحوي كلٌ منهما تركيز 100ملغم/لتر من كل من الرصاص و الكادميوم بشكل منفرد وأظهرت الدراسة أن النبات حافظ على اخضراره ونما بشكل جيد في الأوساط التي تحوي مزيج المعادن بتركيز (1.3ملغم/لتر) والوسط المائي الذي يحوي الرصاص بشكل منفرد بتركيز (100 ملغم/لتر) [13]. وكذلك بيّنت دراسة أخرى أن الايكورنيا في الأوساط المائية العالية التركيز -(<10ملغم/لتر) للمعادن (As,Cr,Hg,Ni,Pb,Zn) كل بمفرده [الدراسة كانت للأوساط المائية ذات تراكيز تتراوح بين (5-50 ملغم/لتر)]- بدأ بالذبول و انخفضت قدرته على إزالة العناصر من الأوساط المائية ماعدا النباتات التي نمت في الأوساط المائية التي تحوي تراكيز عالية لكل من الرصاص و الزنك فقد حافظ النبات على شكله و قدرته على الإزالة[15] .

من خلال الدراسة التي أجريت باستخدام نبات الايكورنيا في إزالة العناصر الثقيلة من مياه الصرف الصناعي تبين عدم قدرة النبات على تحمل الأوساط الملوثة بكل من الرصاص والكادميوم والمنغنيز عند وجودها مجتمعة بتراكيز مختلفة. تمّ تحديد التراكيز في البحث المذكور والمبينة في الجدول (1) اعتمادا على تصميم سطوح الاستجابة Response Surface

والذي استُخدم بالاستعانة بالبرنامج الإحصائي minitab 13 حيث حُدّد في التصميم التركيز الأعلى والأدنى لكل من الرصاص بـ100–300ملغم/لتر والمنغنيز بـ5–10ملغم/ليتر والكادميوم بـ15–50ملغم/لتر وهذه التراكيز تمثل تركيز العناصر الثقيلة الرئيسة في مياه الصرف الصناعي الناتج عن معامل البطاريات[12]. تمّ في البحث الحالي متابعة دراسة تأثير العناصر الثقيلة المدروسة بشكل منفرد وقدرة النبات على العيش بوجود التراكيز المدروسة لهذه العناصر كل بمفرده.

هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية استخدام نبات الإيكورنيا ضمن بيئة مراقبة كطريقة طبيعية صديقة للبيئة وغير مكلفة للتخلص من العناصر الثقيلة الموجودة في مياه الصرف الصناعي مما يمكّن من خفض تأثيراتها البيئية الضارة جداً ويساعد على إعادة استخدامها في مجالات زراعية وهذا يزيد من كمية المياه المتاحة ويعزّز الأمن المائي وخاصة في سورية التي تعاني من نقص المياه باعتبار أنه ينتمي إلى منطقة شبه جافة ويعتمد بشكل كبير على الزراعة في اقتصاده الوطني.

مواد البحث وطرائقه

بالرغم من كون نبات الايكورنيا هو نبات حجْري في سورية إلا أنه بدأ بالانتشار منذ عدّة أعوام. فقد اكتُشف وجوده في نهر الكبير الجنوبي(جنوبي مدينة طرطوس) منذ حوالي خمسة أعوام– يمثّل النهر المذكور الحد الطبيعي للحدود السورية اللبنانية– كما شوهد في الأعوام اللاحقة في نهر الأبرش الذي يقع شمال نهر الكبير الجنوبي ويبعد عنه قرابة 3 كم. أُحضرت نباتات الايكورنيا المُستخدمة في هذا البحث من المنطقة القريبة من مصب نهر الأبرش على البحر الأبيض المتوسط.

تم في هذا البحث استخدام 24 وعاءً بلاستيكياً في حيز مفتوح ومغطى بطبقة بلاستيكية شفافة ترتفع عن النبات بمقدار1.5 متر وطُمرت هذه الأوعية في التراب بهدف العزل الحراري. وُضع في كل وعاء 5 لتر من الماء منزوع الشوارد وزُودت بأنابيب مربوطة بمضخة هواء لتأمين التهوية المناسبة الدورية للماء بهدف محاكاة الظروف الطبيعية لنمو النبات وأضيف إلى كل وعاء 5 مل من محلولٍ مغذٍ للنبات يحتوي على مواد مغذية وفقاً للتراكيز الآتية: 1.5 mol/l $Ca(NO3)_2$ و 0.5mol/l $MgSO_4$ و 0.05mol/l Fe-EDTA كما تمّت تغذية النبات باستخدام سماد ورقي تجنباً لترسّب العناصر الثقيلة لدى وضع أملاح العناصر المغذية في المحلول المائي. والهدف من استخدام السماد الورقي هو تأمين كل من الفوسفور والبوتاسيوم والعناصر النادرة اللازمة لنمو النبات. وقد تمّ تحضير السماد وفقاً لتعليمات الشركة المنتجة له، بتمديده بالماء منزوع الشوارد بنسبة 250 سم^3/100لتر ماء ليصار إلى استخدامه بطريقة الرش على الأوراق كل ثلاثة أيام.ويبين الجدول (2) تركيب السماد الورقي المستخدم.

أُضيفت العناصر الثقيلة إلى العبوات التي تحتوي على الماء منزوع الشوارد بشكل أملاح النترات [أُضيف الرصاص على شكل محلول نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$ والمنغنيز على شكل محلول نترات المنغنيز المائية $Mn(NO_3)_2.H_2O$ والكادميوم على شكل محلول نترات الكادميوم رباعية الهيدرات $Cd(NO_3)_2.4H_2O$]. ووُضعت في الأوعية نباتات متقاربة الوزن وتمت المحافظة على حجم الماء فيها بإضافة الماء منزوع الشوارد إليها يومياً. كما أُضيف 5 مل من المغذيات الآنفة الذكر كل ثلاثة أيام وذلك للمحافظة على الوسط الملائم لنمو النبات. تمّ خلال مدة التجربة متابعة وتسجيل حالة النباتات يومياً من خلال متابعة التغيرات الشكلية (المورفولوجية) التي طرأت عليها خلال مدة إجراء التجربة كما تمّ وزن النبات في بداية التجربة وعند نهايتها ومتابعة التغيرات

في تراكيز العناصر الثقيلة في المحلول بأخذ عينة من المحلول الناتج في بداية التجربة وكل يومين خلال مدة إجرائها لتحديد نسبة العناصر الثقيلة (الرصاص، المنغنيز ،الكادميوم). وبنهاية التجربة أُخذ النبات ووُزن ثم فُصل القسم الجذري (الجذور) عن القسم الهوائي (الأوراق والحويصلات) وجُفف كل جزء بشكل منفصل ثم وُزن وطُحن للحصول على مسحوق متجانس. قُدّرت نسبة العناصر الثقيلة في المسحوق الناتج بعد هضمه بالطريقة الرطبة حيث أُخذ (0.25غرام) من العينات وأضيف إليها 11 مل من (65% extra pure HNO_3) و5 مل من (35% extra pure H_2O_2) وهُضّمت باستخدام المايكروويف (Questron Technologies Corp) وفقا لبرنامج الهضم التالي:200W لمدة 3min و400W لمدة 5min و200W لمدة 80min [13].استُخدم جهاز الامتصاص الذري بتقنية اللهب (Shimadzo AA6800) لتحديد نسبة العناصر الثقيلة في المحلول، وفي النبات. علماً أن حدود الكشف بهذه الطريقة عن الرصاص هي 2.5ملغم/لتر وعن الكادميوم هي 0.12 ملغم/لتر وعن المنغنيز هي 0.28 ملغم/لتر و RSD=2%.

نتائج تجربة الرصاص

التغيرات المورفولوجية الحاصلة للنبات

لتقدير قدرة النبات على مقاومة وجود الرصاص أجريت التجربة باستخدام خمسة تراكيز من الرصاص خلال الفترة الواقعة بين (2008/5/20-2008/6/5) و كانت درجة حرارة الجو تتراوح بين 24-30°م. دُونت نتائج مراقبة التغيرات المورفولوجية الحاصلة للنبات في الجدول (3) ومن خلاله نلاحظ أن النبات استطاع أن ينمو بشكل جيد في الأوساط المائية التي تحوي الرصاص حتى تركيز 100ملغم/لتر دون ظهور أي تغيرات سلبية على شكل النبات .

مما سبق نستطيع القول إن النبات يستطيع العيش والنمو بشكل جيد في الأوساط المائية التي تحوي الرصاص حيث تصل قدرة تحمله لهذا العنصر الثقيل إلى حدود (100ملغم/لتر).

تأثير تراكيز الرصاص المختلفة على نمو النبات وقيم pH الأوساط المائية

في نهاية التجربة تمّ تحديد تغير أوزان النباتات المستخدمة وحامضية الأوساط ويظهر الجدول (4) النتائج التي تم التوصل إليها. من خلال الجدول (4) نلاحظ أن وزن النبات لعينة الشاهد قد زاد بنسبة 196% في حين أن النسبة المئوية لزيادة وزن النبات المستنبت في الوسط المائي ذو التركيز 31.5ملغم/لتر كانت بحدود 120 % وكانت للنباتات المستنبتة في الأوساط المائية ذات التركيز 100ملغم/لتر بحدود 35 % بالرغم من أن النبات استطاع المحافظة على شكله ولونه الأخضر إلا أن نموه في الأوساط المائية العالية التركيز كان أقل منه في الأوساط المائية المنخفضة التركيز. مما سبق يمكن القول إنه كلما زاد تركيز الرصاص في الوسط المائي كلما كانت النسبة المئوية لزيادة وزن النبات أقل أي أن زيادة تركيز الرصاص في الأوساط المائية يكون عاملاً مثبّطاً لنمو النبات ويمكن ملاحظة ذلك من الشكل (1) حيث نجد أن العلاقة بين النسبة المئوية لتغير وزن النبات في بداية التجربة ونهايتها مع تركيز الرصاص في الأوساط المائية هي علاقة أسيّة عكسية أي أن هذه النسبة تتناقص مع زيادة تركيز الرصاص في الأوساط المائية بحيث تقترب من الصفر عند التراكيز المرتفعة من الرصاص في الأوساط المائية وهذا يعني أن النبات يتحمل تركيز محدد من الرصاص في الأوساط المائية التي ينمو فيها.

وبإجراء التقييم الإحصائي للنسبة المئوية لزيادة وزن النباتات نجد أنه يوجد تأثير معنوي لزيادة نسبة الرصاص على معدل نمو النبات فكلّما زاد تركيز الرصاص في الوسط المائي انخفض معدل نمو النبات.كما نجد أن نسبة الرصاص في الوسط المائي

تؤثر على تغير قيمة الـ pH خلال فترة إجراء التجربة ونلاحظ أن عملية المعالجة بهذا النبات تساهم في رفع pH الأوساط كما هو مبين في الجدول (4). بإجراء التقييم الإحصائي وفقاً لطريقة توكاي TuKey للمقارنة بين متوسطات درجة حامضية الأوساط المائية عند درجة موثوقية 95% للكشف عن وجود فروق معنوية بين قيم تغير pH في المحاليل المائية التي تحتوي على تراكيز مختلفة من الرصاص تم الحصول على الجدول (5). ومن خلال القيم المبينة فيه نجد أن تغير تركيز الرصاص في الأوساط المائية يؤدي إلى زيادة تغير حامضية هذه الأوساط باستثناء الوسطين ذات التركيز(200–300ملغم/لتر) حيث كانت الزيادة في تغير حامضية الوسط تقريباً متساوية.

تغير تركيز الرصاص في الأوساط المائية خلال مدة التجربة

تم قياس تركيز الرصاص في الأوساط المائية خلال مدة التجربة بأخذ عينة من المحاليل المائية كل يومين طوال فترة التجربة وتحديد نسبة الرصاص في هذه المحاليل باستخدام جهاز الامتصاص الذري. دُونت النتائج في الجدول (6). من الجدول نلاحظ قدرة النبات على امتصاص الرصاص بنسبة جيدة حتى بعد وصوله إلى مرحلة الذبول التام لذلك يمكن أن نقول إن هذا النبات انتقائي لعنصر الرصاص. ولإظهار طبيعة علاقة تركيز الرصاص المتبقي بزمن التجربة تمّ رسم مخططات لمتوسط نسب تراكيز العنصر في جميع الأوساط المائية مع تركيزها في تجربة الشاهد خلال مدة التجربة حيث تم حساب نسبة تركيز الرصاص المتبقي في الأوساط المائية المقاسة كل يومين إلى التركيز الأساسي وفقاً للعلاقة: نسبة تركيز العناصر المتبقية =التركيز الحالي/التركيز الأساسي.

رُسم المخطط الذي يبين العلاقة بين متوسطات نسبة تركيز الرصاص المتبقي وزمن التجربة مع عينة الشاهد في الشكل(2). وبالنظر إليه نجد أن علاقة عينة الشاهد ومتوسط نسب تركيز الرصاص المتبقي مع زمن التجربة هي علاقة من الدرجة الثانية أي أن النبات يقوم بامتصاص الرصاص بشكل جيد في بداية التجربة وتنخفض قدرة النبات على امتصاص الرصاص تدريجياً باستمرار التجربة. يلعب تركيز الرصاص المتبقي في المحلول دوراً كبيراً في خفض نسبة الرصاص الممتص فوجود تركيز منخفض منه يجعل نسبته الممتصة من قبل النبات قليلة وما يدعم هذا التفسير هو انخفاض نسبة الرصاص الممتص في تجربة الشاهد التي تحتوي على نسب قليلة جداً من الرصاص نما فيها النبات بشكل ممتاز. ويمكن أن يضاف إلى هذا التأثير تأثير الرصاص نفسه على النبات وتثبيط نمو هذا النبات مما يسبب خفض قدرته على امتصاص الرصاص ومراكمته في خلاياه إلى أن يصل التركيز إلى حد معين يتوقف معه امتصاص الرصاص من قبل النبات.

استجابة النبات وقدرته على امتصاص الرصاص

ولتقدير مدى استجابة النبات وقدرته على امتصاص الرصاص تم رسم العلاقة بين تركيزه في بداية التجربه وتركيزه في نهايتها في الشكل (3). من الشكل (3) نجد أن علاقة تركيز المعدن في نهاية التجربة في الوسط المائي مع تركيزه الأساسي هي علاقة خطية أي أنه كلما زاد تركيز الرصاص في الوسط المائي زادت قدرة النبات على امتصاص الرصاص رغم ذبوله.

تركيز الرصاص في قسمي النبات (القسم الجذري والقسم الهوائي)

ولفهم قدرة النبات على امتصاص الرصاص تم هضم أجزاء النبات وتحليلها بجهاز الامتصاص الذري، ويظهر الجدول رقم (7) النتائج التي تم الحصول عليها حيث نلاحظ أن النبات قد راكم الرصاص في قسمه الجذري أكثر منه في قسمه

الهوائي وهذا يتفق مع نتائج دراسات سابقة بينت أن النبات يستطيع أن يراكم الرصاص في جذوره أكثر من أوراقه وحويصلاته[15,13,4]. ويبين الشكل(4) علاقة تركيز الرصاص في القسم الجذري والهوائي للنبات مع التركيز الأساسي للأوساط المائية التي تم استنبات النبات فيها. ومنه نلاحظ أن نسبة الرصاص في النبات بقسميه (الجذري والهوائي) تتزايد مع زيادة تركيز الرصاص في الأوساط المائية فكلما زاد تركيز الرصاص في الأوساط المائية زاد تركيز الرصاص المتراكم في النبات بقسميه (الجذري والهوائي)، كما نلاحظ أن هذه العلاقة بين تركيز الرصاص في الأوساط المائية في بداية التجربة وتركيز الرصاص في قسمي النبات (الجذري والهوائي) في نهاية التجربة هي علاقة خطية من الدرجة الأولى لكلا القسمين، ونجد أن ميل هذه العلاقة الخطية للقسم الهوائي(0.014) أقل منها للقسم الجذري (0.035) أي أن النبات استطاع أن يراكم الرصاص في قسمه الجذري بشكل أكبر من مراكمته للرصاص في قسمه الهوائي.

نتائج تجربة الكادميوم

التغيرات المورفولوجية الحاصلة للنبات

لتقدير قدرة النبات على مقاومة وجود الكادميوم أجريت التجربة خلال الفترة الواقعة بين (2008/7/30-2008/8/10) باستخدام خمسة تراكيز من الكادميوم و كانت درجة حرارة الجو تتراوح بين 30–35 ْم. تم إيقاف التجربة بعد 11يوم نتيجة موت معظم النباتات المستنبتة في هذه الأوساط. ومن خلال مراقبة التغيرات المورفولوجية الحاصلة للنبات تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (8). حيث يلاحظ من خلال هذا الجدول نجد أن النبات استطاع النمو بشكل جيد بوجود الكادميوم فقط عند التراكيز المنخفضة (3.07ملغم/لتر) لمدة تسعة أيام ثم بدأت أوراقه بالاصفرار. في حين أن النباتات المستنبتة في الأوساط المائية ذات التركيز (50ملغم/لتر وما فوق) قد ماتت بعد تسعة أيام. مما سبق نستطيع القول أن النبات لا يستطيع العيش والنمو بشكل جيد في الأوساط المائية التي تحوي الكادميوم بتراكيز فوق 3ملغم/لتر نظراً لسمية هذا العنصر بالنسبة لهذا النبات. وهذه النتيجة تتوافق مع نتائج دراسات سابقة بينت أن العتبة السامة لمعدن الكادميوم بالنسبة لهذا النبات هي 2.5 ملغم/لتر [16,14].

تأثير تراكيز الكادميوم المختلفة على نمو النبات وقيم pH الأوساط المائية

تمت مراقبة تأثير تركيز الكادميوم في الأوساط المائية على درجة الحامضية وقدرة النبات على النمو في هذه الأوساط إذ قيست حامضية الأوساط المائية ووُزنت النباتات المستخدمة في بداية التجربة ونهايتها. ويظهر الجدول(9) أن وزن النبات لعينة الشاهد قد زاد بنسبة 181% في حين أن النسبة المئوية لزيادة وزن النبات المستنبت في الوسط المائي ذو التركيز 3.07 ملغم/لتر كانت بحدود 87% وكانت للنباتات المستنبتة في الأوساط المائية ذات التركيز 15ملغم/لتر بحدود 13%. ومن خلال الجدول (8) نجد أن النبات في هذه الأوساط لم يستطع المحافظة على شكله ولونه الأخضر إلا أن نموه كان أقل منه في الأوساط ذات التراكيز الأقل. مما سبق نستطيع القول إنه كلما زاد تركيز الكادميوم في الوسط المائي كلما كانت النسبة المئوية لزيادة وزن النبات أقل؛ أي أن زيادة تركيز الكادميوم في الأوساط المائية يكون كعامل مثبط لنمو هذا النبات. من خلال الشكل (5) نلاحظ أن النسبة المئوية لزيادة وزن النبات كانت كبيرة جداً بالنسبة لعينة الشاهد وتتناقص هذه النسبة بشكل كبير كلما زاد تركيز الكادميوم في الأوساط المائية. عند إجراء التقييم الإحصائي للنسبة المئوية لزيادة وزن النباتات عند درجة موثوقية 95% حصلنا على الجدول (10) الذي يبين الفروق المعنوية بين زيادة النسبة المئوية لوزن النبات المستنبت في

الأوساط المائية بتغير تركيز الكادميوم في هذه الأوساط.

من خلال التقييم الإحصائي للنتائج نجد أنه يوجد فرق معنوي بين زيادة نسبة نمو النباتات التي استنبتت في الوسط المائي الخالي من الكادميوم وبقية الأوساط التي تحتوي على هذا العنصر. كما نجد أن هناك فرقاً معنوياً بين النباتات التي استنبتت في الوسط الذي يحتوي على كادميوم بتركيز 3.07 ملغم/لتر وبقية الأوساط التي تحتوي على كادميوم بتركيز 15 مغ/ليتر وأعلى؛ بالمقابل نجد أنه لا يوجد فرق معنوي بين نسبة نمو النبات في الأوساط المائية ذات التراكيز التي تتراوح بين (15ملغم/لتر و 50ملغم/لتر) وكذلك بين نسبة نمو النباتات التي استنبتت في أوساط مائية تحتوي على كادميوم بتراكيز تتراوح بين(32.5 ملغم/لتر و61.93 ملغم/لتر). ومن خلال هذا التقييم الإجصائي نجد أن الاختلاف في تراكيز الكادميوم في الأوساط المائية يكون له أثر واضح على تغير نمو النبات عند وجوده بتراكيز منخفضة ومع زيادة تركيز هذا العنصر يصبح تأثير التغير في تركيزه أقل أثراً وذلك نظراً لموت النبات.

أما عند إجراء التقييم الإحصائي لتغير درجة حامضية الأوساط المائية وجد أنه لا يوجد فرق معنوي بين جميع القيم أي أن تغير درجة الحامضية كان نفسه في كل الأوساط المائية.

تغير تركيز الكادميوم في الأوساط المائية خلال مدة التجربة

تم قياس تركيز الكادميوم في الأوساط المائية خلال مدة التجربة بأخذ عينة من المحاليل المائية كل يومين طوال فترة التجربة وتحديد نسبة الكادميوم في هذه المحاليل باستخدام جهاز الامتصاص الذري ودُونت النتائج في الجدول (11) الذي بين قدرة النبات على امتصاص الكادميوم بنسبة قليلة وخاصة عند التراكيز المرتفعة للكادميوم فكلما زاد تركيز الكادميوم في الأوساط المائية قلت قدرة النبات على امتصاص الكادميوم وهذا يمكن تفسيره أن الكادميوم يقوم بدور المثبط للنبات لامتصاص العناصر المغذية. ولإظهار طبيعة العلاقة بين تركيز العناصر المتبقية وزمن التجربة تمّ رسم مخطط لمتوسط نسب تراكيز العنصر في جميع الأوساط المائية مع تركيزها في تجربة الشاهد خلال مدة التجربة حيث تم حساب نسبة تركيز الكادميوم المتبقي في الأوساط المائية المقاسة كل يومين إلى التركيز الأساسي وفقاً للعلاقة: نسبة تركيز العناصر المتبقية =التركيز الحالي /التركيز الأساسي.

وتم رسم المخطط الذي يبين العلاقة بين متوسطات نسبة تركيز الكادميوم المتبقي وزمن التجربة مع عينة الشاهد في الشكل (6). من الشكل(6) نجد أن علاقة عينة الشاهد ومتوسط نسب تركيز الكادميوم المتبقي مع زمن التجربة هي علاقة خطية ولكن نلاحظ أن ميل علاقة عينة الشاهد كانت 0.05في حين أنه لمتوسط نسب تركيز الكادميوم المتبقي 0.026 وهذا يدل أن وجود الكادميوم بتراكيز مرتفعة في الأوساط المائية يقلل من قدرة النبات على امتصاص هذا العنصر أي أن النبات له قدرة ضعيفة على امتصاص الكادميوم.

استجابة النبات وقدرته على امتصاص الكادميوم

لتقدير مدى استجابة النبات وقدرته على امتصاص الكادميوم تم رسم العلاقة بين تركيزه في بداية التجربه وتركيزه في نهايتها في الشكل (7). وفيه نجد أن علاقة تركيز المعدن في بداية ونهاية التجربة هي علاقة خطية. أي أنه كلما زاد تركيز الكادميوم في الوسط المائي زادت قدرة النبات على امتصاص الكادميوم. وهذه النتيجة منطقية فزيادة نسبة الكادميوم في الوسط ستتيح للنبات إمكانية امتصاص كميات أكبر من الكادميوم وتركيزها في خلاياه شرط أن يكون قادراً على تحمل هذه التراكيز. ولكن

بالمقارنة مع الشكل (3) نلاحظ أن ميل العلاقة كان بالنسبة للرصاص 0.461 في حين أنها للكادميوم هي 0.863 ومنه نلاحظ أن النبات يستطيع خفض الرصاص من الأوساط المائية أكثر من قدرته على تخفيض الكادميوم من هذه الأوساط وهذا بغض النظر عن تراكيز الرصاص الكبيرة المستخدمة في التجربة مقارنة بتراكيز الكادميوم. ومنه نجد أن لهذا النبات قدرة كبيرة على إزالة الرصاص من المحاليل المائية بعكس قدرة النبات على إزالة الكادميوم الذي يثبط نمو هذا النبات ويسبب موته حتى عند وجوده بتراكيز منخفضة في هذه الأوساط [17,15,11].

تركيز الكادميوم في قسمي النبات(القسم الجذري والقسم الهوائي)

لفهم قدرة النبات على امتصاص الكادميوم ومراكمته في أجزائه تم هضم وتحليل أجزاء النبات بجهاز الامتصاص الذري. ويظهر الجدول (12) النتائج التي تم الحصول عليها. من الجدول(12) نلاحظ أن تركيز الكادميوم متساو تقريباً في قسمي النبات (القسم الجذري والقسم الهوائي) يوضح الشكلان (8–9) العلاقة بين تركيز الكادميوم في القسم الجذري والقسم الهوائي (على التوالي) مع التركيز الأساسي للكادميوم في الأوساط المائية. ومن خلال الشكلين المذكورين نلاحظ أن العلاقة من الدرجة الثانية لكلا المخططين، وأن النقطتين الأخيرتين في كلا الخطين تقريباً متساوية وهذا يمكن تفسيره بأن النبات راكم الكادميوم إلى تركيز محدد(1.2×10^4ملغم/لتر) وبعدها توقف النبات عن مراكمة الكادميوم في أجزائه وهذا ما أدى إلى الموت المبكر للنبات.

الاستنتاجات والتوصيات

1. تشيرالنتائج الأولية إلى قدرة النبات على امتصاص الرصاص و الكادميوم من مياه الصرف الصناعي الملوثة بهذه العناصر ولكن بكفاءة امتصاص كبيرة لعنصر الرصاص.

2. ترتبط قدرة النبات على امتصاص الرصاص و الكادميوم بتركيز هذه العناصر في الأوساط المائية التي ينمو فيها النبات.

3. علاقة امتصاص النبات للرصاص و للكادميوم مع الزمن هي علاقة خطية ولكن يظهر جلياً من النتائج ميل النبات إلى امتصاص الرصاص أكثر من الكادميوم.

4.عدم قدرة النبات على تحمل التراكيز العالية من الرصاص فقد استطاع النبات تحمل الرصاص حتى تركيز 100مغ/ليتر أما الكادميوم فقد أظهر سمية واضحة على النبات خلال تسعة أيام.

المصادر

1. Jayaweeraa, M. W.; Kasturiarachia, J. C.; Kularatea, R. K. A.; Wijeyekoon, S. L. J.*"Contribution of water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) grown under different nutrient conditions to Fe-removal mechanisms in constructed wetlands*", Environmental Management 87, 450–460,2008.
2. Nesic, N; Jovanovic, L. *"Potential Use of Water Hyacinth (E. CRASSIPENS) for Wastewater Treatment in Serbia"*, Center for multidisciplinary studies, University of Belgrade,2005.
3. Snyder, K. V. W.; Sjwp J. U.S .*"Removal of Arsenic from Drinking Water by Water Hyacinths (Eichhornia crassipes)*", Portland, Oregon, October,41-58, 2006.
4. Win ,D.T.; Than, M. and Tun ,S. *"Lead Removal from Industrial Waters by Water Hyacinth*". AU J.T. 6(4): apr,187-192,2003.
5. Sabet, M. D.; Nollet ,M .L. *"Aquatic plants as indicators of heavy metal contamination*", Water Analysis. Peg 440,1997.
6. Mishra, V. K; Tripathi, B. D. *"Concurrent removal and accumulation of heavy metalsby the three aquatic macrophytes*",

13. Soltan, M.E; Rashed ,M.N. *"Laboratory study on the survival of water hyacinth under several condition of heavy metal concentrations*", Environmental Research 7/2, 321–334,2003.

14. Zaranyika , M. F; Mutoko, F; Murhawa, H. *"Uptake of Zn, Co, Fe and Cr by water hycacinth (Eichhornia crassipes) in Lake Chivero*, Zimbabwe", Science of the total environment vol. 153, n.1-2, 117-121, 1994.

15. INGOLE, N. W; BHOLE, A. G. *Removal of heavy metals from aqueous solution by water hyacinth (Eichhornia crassipes),* Aqua - Journal of Water Supply: Research and Technology. Vol. 52, no. 2, 119-128, Mar 2003.

16. S.H. Hasan, M. Talat, S. Rai, *Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (Eichchornia crassipes),* Bioresource Technology, Volume 98, Issue 4, Pages 918-928 ,March 2007.

17. Stratford H. Kay, William T. Halle1 Leon A. Garrard, *Effects of heavy metals on water hyacinths (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms),* Aquatic Toxicology, Volume 5, Issue 2, Pages 117-128, May 1984.

BioresourceTechnology,no.99,7091–7097, 2008.

7. Mishra, V.K; Tripathi, B.D. *"Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (Eichhornia crassipes)*", Hazardous Materials,(Article In Press) , 2008.

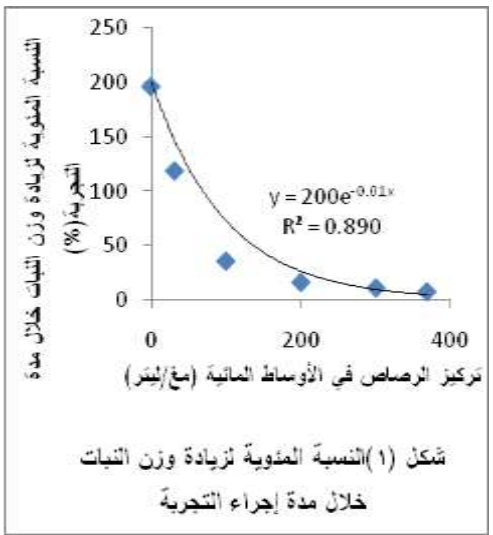
8. Lesage, E; Mundia, C; Rousseau, D.P.L; Van DE Moortel ,A.M.K; DU Laing, G; Meers. E; Tack, F.M.G; DE pauw, N; Verloo, M.G. *,"Sorption of Co, Cu, Ni and Zn from industrial effluents by the submerged aquatic macrophyte Myriophyllum spicatum L"*. Ecological Engineering 3 0 ,320–325, 2007.

9. Gothberg, A; Greger, M; Bengtsson, B.E, *"Accumulation of heavy metals in water spinach (Ipomoea aquatica) cultivated in the Bangkok region*, Thailand", Environmental – Toxicology- and- Chemistry21/9,pag 1934-1939, 2002.

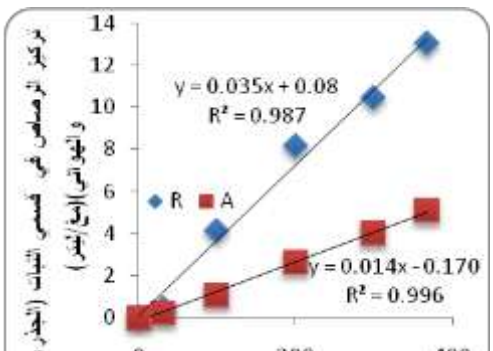
10. Ebel, M; Evangelou, M. W.H; Schaeffer, A. *"Cyanide phytoremediation by water hyacinths (Eichhornia crassipes)*", Chemosphere 66/5,816–823, 2007.

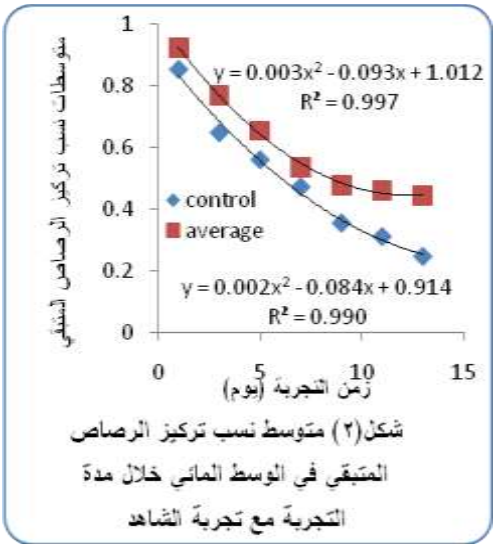
11. Delgado, M; Bigeriego, M; Guaardiola, E. *"Uptake of Zn, Cr and Cd by water hyacinths*" ,Water Research [WATER RES]. Vol. 27, no. 2, 269-272,1993.

12. أ.د. أصفري، أحمد فيصل –معالجة مياه "الفضلات الصناعية"، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي،321–322,1996 .

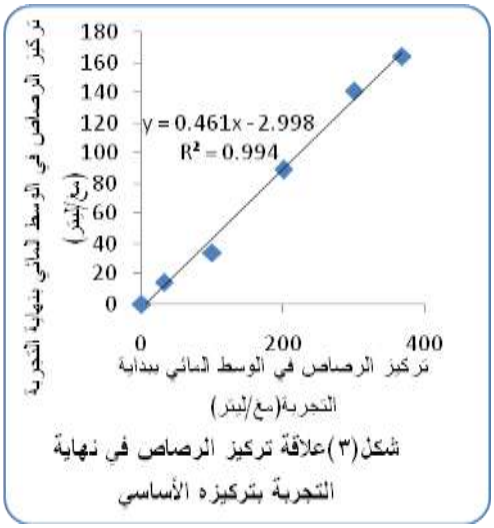


شكل (١)النسبة المئوية لزيادة وزن النبات خلال مدة إجراء التجربة

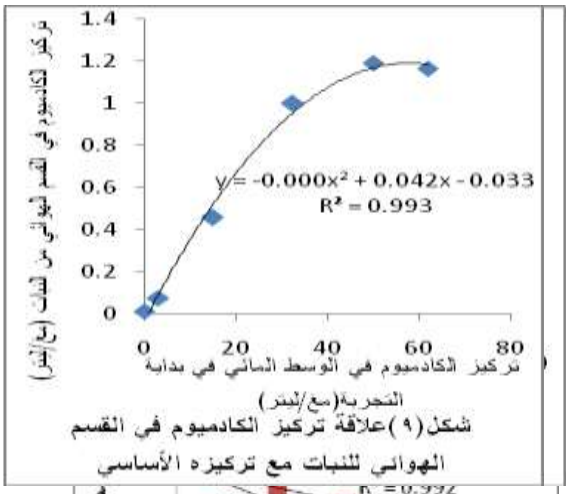




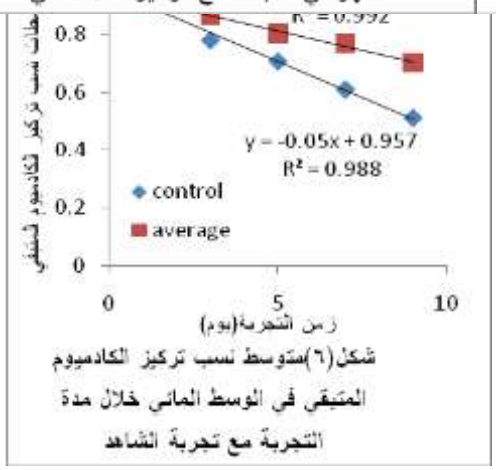
شكل(٢) متوسط نسب تركيز الرصاص المتبقي في الوسط المائي خلال مدة التجربة مع تجربة الشاهد



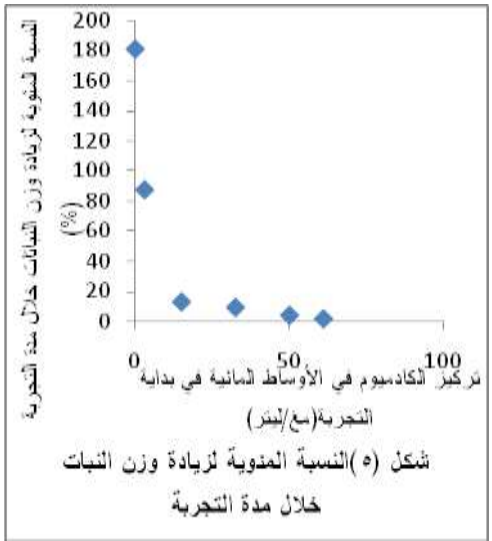
شكل(٣)علاقة تركيز الرصاص في نهاية التجربة بتركيزه الأساسي



شكل(٩)علاقة تركيز الكادميوم في القسم الهوائي للنبات مع تركيزه الأساسي



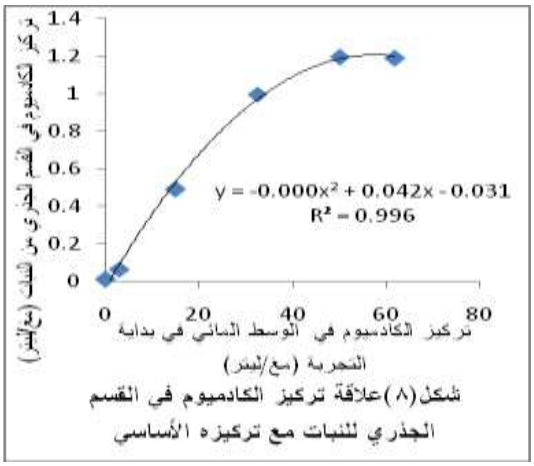
شكل(٦)متوسط نسب تركيز الكادميوم المتبقي في الوسط المائي خلال مدة التجربة مع تجربة الشاهد



شكل (٥)النسبة المئوية لزيادة وزن النبات خلال مدة التجربة

جدول (1) توزع تراكيز المعادن في الأوساط المائية للنباتات وفقاً لتصميم سطوح الاستجابة

sample	تركيز العناصر الثقيلة		
	Pb(ppm)	Cd(ppm)	Mn(ppm)
S0	0	0	0
S1	300	15	5
S2	100	50	5
S3	368.179	32.5	7.5
S4	200	61.93	7.5
S5	300	50	10
S6	200	3.06	7.5
S7	300	50	5
S8	100	15	10
S9	100	50	10
S10	200	32.5	3.29
S11	200	32.5	11.70
S12	300	15	10
S13	200	32.5	7.5
S14	31.821	32.5	7.5
S15	200	32.5	7.5
S16	200	32.5	7.5
S17	200	32.5	7.5
S18	200	32.5	7.5
S19	200	32.5	7.5
S20	100	15	5
S20	100	15	5



شكل(٨)علاقة تركيز الكاديوم في القسم الجذري للنبات مع تركيزه الأساسي

جدول (2): تركيب السماد الورقي المستخدم لتغذية النبات

العنصر	التركيز	العنصر	التركيز
آزوت (N)	12gr/l	Cu	0.03gr/l
فوسفور (P_2O_5)	12gr/l	B	0.3gr/L
بوتاسيوم(K_2O)	12gr/l	Zn	0.15gr/l
Fe	3gr/l	Mn	0.3gr/l
Mg	0.3gr/l	Mo	آثار
Co	آثار	Ni	آثار

جدول (3): تركيز الرصاص في الأوساط المائية المحضرة وحالة النبات خلال إجراء التجربة

Pb	Time(day)

(ppm)	0	1	3	5	7	9	11	13
0	H	H	H	H	H	H	H	H
31.5	H	H	H	H	H	H	H	H
100	H	H	H	H	H	H	H	H
200	H	H	H	H	UY	UY	UB	UB
300	H	H	H	H	UY	UB	UP	UC
368.2	H	H	H	UY	UB	UP	UC	UD

حيث:(Healthy)H النبات بحالة جيدة.

(Unhealthy, and Yellow)UY النبات بحالة غير جيدة مع وجود أوراق صفراء.

(Unhealthy, and Brown)UB النبات بحالة غير جيدة مع وجود أوراق بنية.

(Unhealthy, and Partial wilting)UP النبات بحالة غير جيدة مع ذبول جزئي.

(Unhealthy, and Complete wilting) UCالنبات بحالة غير جيدة مع ذبول كامل ومعظم أوراقه قد ماتت.

(Unhealthy, and deteriorated) UD النبات بحالة غير جيدة مع ذبول كامل وتلف (موت) كامل النبات.

جدول (4) :أوزان النباتات المستخدمة وحامضية الأوساط في بداية ونهاية تجربة الرصاص

Pb (ppm)	pH1	pH2	W1(gr)	W2(gr)	W%
0	7.11±0.01	7.91±0.03	72.58±2.19	214.70±4.77	195.8
31.5	6.59±0.01	7.24±0.01	73.37±2.19	160.11±4.28	118.2
100	5.25±0.03	5.58±0.02	69.01±3.06	93.26±3.83	35.2
200	5.35±0.03	5.54±0.02	63.02±12.95	72.88±14.91	15.6
300	5.43±0.02	5.57±0.02	61.92±11.46	68.44±12.87	10.5
368.2	5.31±0.01	5.37±0.04	72.94±2.68	78.04±2.60	6.9

حيث :pH1 حامضية الوسط في بداية التجربة، pH2 حامضية الوسط في نهاية التجربة

W1 وزن النبات في بداية التجربة ، W2 وزن النبات في نهاية التجربة

W%النسبة المئوية لزيادة الوزن

جدول (5) : تأثير تغير تركيز الرصاص في الأوساط المائية على تغير درجة حامضية هذه الأوساط

C_{Pb} (ppm)	ΔPH
0	a
31.5	b
100	c
200	d
300	d
368.2	e

جدول (6) : تركيز الرصاص في الأوساط المائية خلال مدة التجربة

Pb(ppm)	0	31.5	100	200	300	368. 2
0day	0.034±0.01	32.01±5.01	100.77±5.71	203.87±8.91	302.26±2.11	367.95±5.23
1day	0.029±0.02	29.27±5.23	90.94±5.50	182.48±11.20	285.57±4.02	336.98±5.21
3day	0.022±0.012	21.14±9.12	76.03±9.51	158.06±17.62	241.40±20.50	310.32±10.23
5day	0.019±0.03	18.14±10.62	63.90±11.56	135.58±12.60	199.20±9.69	270.65±11.23
7day	0.016±0.01	16.19±9.36	53.58±9.68	114.99±12.05	162.29±10.20	195.76±10.41
9day	0.012±0.02	15.39±11.23	48.84±10.92	102.13±11.28	132.58±7.54	175.45±9.25
11day	0.011±0.02	14.91±9.23	42.58±9.19	96.61±11.25	141.37±13.78	170.03±13.25
13day	0.008±0.01	14.43±2.63	34.08±2.29	88.75±9.05	141.37±6.16	164.27±8.12

جدول (7): تركيز الرصاص في القسم الجذري والهوائي للنبات

Pb(ppm)	$R\times10^4$ (ppm)	$A\times10^4$ (ppm)
0	0.055±0.001	0.003±0.012
31.5	0.486±0.012	0.213±0.014
100	4.129±0.510	1.079±0.463
200	8.189±0.654	2.653±0.461
300	10.472±0.012	3.995±0.123
368.2	13.041±0.349	5.091±0.321

حيث: R تركيز المعدن في القسم الجذري(Rootal part).

A تركيز المعدن في القسم الهوائي (Arial part).

$R\times10^4$ محسوبة بالµgr/gr dry weigh (ppm).

$A\times10^4$ محسوبة بالµgr/gr dry weigh (ppm).

جدول (8): تركيز الكادميوم في العينات وحالة النبات خلال إجراء التجربة

Cd (ppm)	time(day)						
	0	1	3	5	7	9	11
0	H	H	H	H	H	H	H
3.07	H	H	H	H	H	H	UY
15	H	H	UY	UY	UB	UP	UC
32.5	H	H	UY	UB	UB	UC	UC
50	H	H	UY	UP	UC	UD	-
61.9	H	H	UY	UP	UC	UD	-

جدول (9) أوزان النباتات المستخدمة وحامضية الأوساط في بداية ونهاية تجربة الكادميوم

Cd (ppm)	pH1	pH2	W1(gr)	W2(gr)	%W
0	7.36±0.14	8.06±0.08	106.2±9.0	298.4±9. 7	180.9±9.8
3.07	6.85± 0.04	7.23± 0.06	100.4±1.4	187.9±2.5	87.3± 0.4
15	6.51±0.18	7.15± 0.32	87.5 ±8.6	98.5 ±9.2	12. 7± 1.5
32.5	6.44± 0.03	7.05 ±0.03	86.6± 6.8	94.4±7.7	8.9± 1.2
50	6.22±0.28	6.91± 0.24	66.9± 2.3	69.4± 2.3	3. 8±0.2
61.93	5.81± 0.17	6.40 ± 0.24	77.2±3.4	78.3 ± 3.2	1. 4± 0.4

جدول (10):تأثيرتغير تركيزالكادميوم في الأوساط المائية على تغير النسبة المئويةلزيادةالوزن في هذه الأوساط

C cd (ppm)	W%
0	a

3.07	b
15	c
32.5	cd
50	cd
61.93	d

حيث:C_{Cd}(مغ/ليتر) تركيز الكادميوم في الأوساط المائية في بداية التجربة.

W % النسبة المئوية لزيادة وزن النبات خلال مدة التجربة.

جدول (11) : تركيز الكادميوم في الأوساط المائية خلال مدة التجربة .

Cd (ppm)	0	3.06	15	32.5	50	61.93
0day	0.0042±0.12	3.07±0.013	15.30±0.21	32.52±0.07	50.05±0.105	61.83±0.07
1day	0.0038±0.19	2.76±0.17	13.23±0.19	31.44±0.22	47.28±0.302	59.95±0.07
3day	0.0032±.010	2.63±0.06	11.78±0.23	28.80±0.54	45.19±0.496	58.05±0.14
5day	0.0029±0.11	2.14±.042	11.36±0.17	26.35±0.31	43.325±0.365	55.66±0.58
7day	0.0025±0.02	1.95±0.03	11.02±0.01	24.71±0.65	42.438±0.772	54.72±0.63
9day	0.0021±0.12	1.25±0.02	11.07±0.28	22.37±0.38	40.573±0.425	53.72±0.53
11day	0.0011±0.09	1.07±0.01	10.04±0.10	21.21±0.33	39.39±0.104	53.51±0.46

جدول (12) : تركيز الكادميوم في القسمين الجذري و الهوائي في النبات المستنبتة في الأوساط المائية.

Cd (ppm)	$R\times10^4$ (ppm)	$A\times10^4$ (ppm)
0	0.0124±0.018	0.0115±0.003
3.07	0.0648±0.0039	0.0748±0.0077
15	0.4920±0.176	0.4549±0.335
32.5	0.9960±0.0662	0.9969±0.0336
50	1.1942±0.1613	1.1899±0.0329
61.93	1.1865±0.0916	1.1756±0.1313

حيث: R تركيز المعدن في القسم الجذري(Rootal part).

A تركيز المعدن في القسم الهوائي (Arial part).

$R\times10^4$ محسوبة بالـ µgr/gr dry weigh (ppm).

$A\times10^4$ محسوبة بالـ µgr/gr dry weigh (ppm).